

Цветопеременные эффекты при печати триадными красками на многослойной упаковке из прозрачной пленки полипропилена

Юлия А. Васина	¹	ytimchenko@inbox.ru	 0009-0005-7874-0935
Виктор А. Род	¹	vikdor.andreevich@mail.ru	 0009-0008-8333-4749
Яна В. Авдеева	¹	ioan-na20040913@ya.ru	 0009-0003-8994-0006
Александр П. Кондратов	¹	apkrezerw@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

¹ Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, д. 38, г. Москва, 107023, Россия

Аннотация. Цветное воспроизведение на прозрачных многослойных пленках имеет широкий спектр применений в сфере производства упаковки. В случае использования многослойных пленок в качестве декоративных или защитных элементов в упаковочном производстве могут возникать отклонения при воспроизведении цвета из-за проявления плеохроизма в многослойных полимерных материалах. Цель работы - определение условий получения и измерение параметров цветопеременного эффекта в проходящем поляризованном свете при струйной печати триадными красками на пленочных материалах с эффектом плеохроизма. Объектом исследования явилась модельная стопа Столетова длиной 77 см, шириной 40 см, состоящая из 13 слоев полипропилена. На рассматриваемый образец наносили слои краски пурпурного и желтого цвета различной плотности в форме полос методом струйной печати с отверждением отпечатка УФ излучением и последующей фотофиксацией исследуемых образцов. Цветовое различие ΔE вычислялось путем обработки фотографий программе Paint 3D, с последующим переводом цветовых координат из цветового пространства RGB в систему Lab. В последующем ΔE вычислялось между исходным образцом и образцом, помещенным под стопу Столетова между двумя поляризаторами, а именно между цветом слоя краски и цветом запечатанной части пленки над каждым фрагментом модельной стопы. Результатами работы стало установление качественных и количественных отличий цвета полупрозрачных слоев триадных красок на многослойной пленке полипропилена в натуральном и поляризованном потоках проходящего света, а также определение максимального расчетного отличия, достигнутого для желтого цвета при натуральном и поляризованном освещении под 12 слоями модельной стопы Столетова с плотностью заполнения растрового поля исходного оттиска 50%, максимального отличия голубого цвета от исходного оттиска с плотностью заполнения растрового поля исходного оттиска 50%, достигнутого под 6 слоями модельной стопы, и максимального отличия пурпурного оттиска с плотностью заполнения растрового поля исходного оттиска 50%, достигнутого под 8 слоями модельной стопы Столетова.

Ключевые слова: Плеохроизм, многослойная пленка, полипропилен, поляризованный свет, триадная краска, струйная печать, модельная стопа, защитный элемент.

Color-shifting effects when printing with triadic inks on multilayer packaging made of transparent polypropylene film

Yulia S. Vasina	¹	ytimchenko@inbox.ru	 0009-0005-7874-0935
Viktor A. Rod	¹	vikdor.andreevich@mail.ru	 0009-0008-8333-4749
Yana V. Avdeeva	¹	ioan-na20040913@ya.ru	 0009-0003-8994-0006
Aleksandr P. Kondratov	¹	apkrezerw@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

¹ Moscow Polytechnic University, Bolshaya Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russia.

Abstract. Color reproduction on transparent multilayer films has a wide range of applications in the packaging production. In case of using multi-layer films as decorative or protective elements in packaging production, deviations may occur in color reproduction process due to the pleochroism in multilayer polymeric materials. The purpose of the work is Determination of the conditions of the color effect and measuring the parameters of it in the passing polarized light on film materials with the effect of pleochroism. The object of the study was the model Stoletov pile 77 cm long, 40 cm wide, consisting of 13 layers of polypropylene. Magenta and yellow ink layers were applied to the considered sample in the form of stripes by jet printing UV-curing inks and subsequent photofixation of the examinations was studied. The color difference ΔE was calculated by processing photos in the Paint 3D program, followed by the translation of color coordinates from the RGB color space into the Lab system. Subsequently, the ΔE was calculated between the original sample and the sample placed under the Stoletov pile between two polarized films. The results of the work were the establishment of qualitative and quantitative differences in the color of the translucent layers of CMYK on the multi-layer film of polypropylene in the natural and polarized light, as well as the determination of the maximum calculated difference achieved for yellow with natural and polarized lighting under 12 layers of the Model pile, the maximum difference between the Cyan color with the density of filling the halftone area of the print 50%, reached under 6 layers of the model pile, and the maximum difference between the magenta sample with the density of filling the halftone area 50% reached under 8 layers of the model pile.

Keywords: Pleochroism, multilayer film, polypropylene, polarized light, CMYK printing, inkjet print, model pile, security printing.

Для цитирования

Васина Ю.А., Род В.А., Авдеева Я.В., Кондратов А.П. Цветопеременные эффекты при печати триадными красками на многослойной упаковке из прозрачной пленки полипропилена // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 259–265. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-259-265

For citation

Vasina Yu.A., Rod V.A., Avdeeva Y.V., Kondratov A.P. Color-shifting effects when printing with triadic inks on multilayer packaging made of transparent polypropylene film. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 259–265. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-259-265

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Очевидна необходимость повышения качества и привлекательности полимерной упаковки товаров в условиях конкуренции отечественных и зарубежных производителей. Новые возможности в этом открываются с появлением новых запечатываемых материалов, обладающих особыми механическими и оптическими свойствами. В связи с этим весьма актуальным являются изучение и реализация новых цветовых решений при печати полупрозрачными триадными красками на новых пленочных материалах с эффектом плеохроизма.

Многоцветная маркировка товаров обеспечивает безопасность потребителя и, что не менее важно, защиту материальных и репутационных интересов предприятий производителей продукции [1–3]. Многоцветные оптические метки на этикетках и ярлыках видны невооруженным глазом и способствуют быстрой и надежной идентификации упакованного продукта или изделия [4].

В странах с передовой технологией производства и переработки синтетических полимеров в США и КНР [5,6] разработаны запатентованные пленочные материалы и покрытия, характеризующиеся яркими, изменяющимися в зависимости от угла обзора цветами. Изменения или размытия цвета объектов в зависимости от угла зрения наиболее часто используются для создания светового сигнала человеку об опасности и оперативного извещения о чем-либо (например, наружная реклама и световой сигнал на дороге, меняющий цвет при обзоре из движущегося автомобиля), а также упаковочном производстве и дизайне объектов различного назначения. В случае косого угла образец пленки показывает желто-зеленый, пока есть бумага, а без бумаги желтый. Пример запатентованного цветного материала, показанный в таблице, иллюстрирует различие цветов отпечатка, изготовленного на прозрачной пленке в зависимости от того, есть ли под ним белая бумага или нет (таблица 1).

Таблица 1.

Цвета пленочных полимерных покрытий

Table 1.

Colors of polymer film coatings

Образец Sample	Подложка (бумага) Substrate (Paper)	Цвет при вертикальном падении (90°) Color under vertical illumination (90°)	Цвет в обзоре под углом (30°) Color at angled view (30°)
1	Нет No	Насыщенно-красный Deep red	Желтый Yellow
2	Да Yes	Насыщенно-красный Deep red	Зелено-желтый Green-yellow
3	Нет No	Желтый Yellow	Прозрачный Transparent
4	Да Yes	Желтый Yellow	Фиолетово-белый Violet-white

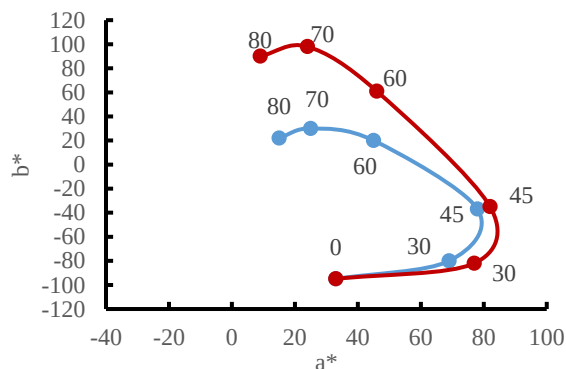


Рисунок 1. Координаты цвета пленок в зависимости от угла зрения [5]

Figure 1. Color coordinates of films depending on the viewing angle [5]

Для изготовления таких многослойных оптически активных пленок методом совместной экструзии используют различные полимерные материалы. Особый интерес представляют двулучепреломляющие полимеры, запатентованные под названием «Модифицированные сополиэфиры и улучшенные многослойные отражающие пленки» [7]. Существует несколько условий, которые должны быть выполнены для изготовления многослойных оптических пленок. Во-первых, эти пленки должны состоять из двух или более

различных полимеров. Во-вторых, один из полимеров, образующих слоистый материал, называемый «первым полимером», должен иметь наибольшее абсолютное значение оптического коэффициента механического напряжения и способен развивать двулучепреломление при растяжении. В-третьих, первый полимер должен быть способен сохранять двупреломление после ориентационной вытяжки, так как его оптические свойства придаются многослойной пленке. В-четвертых, другой полимер, называемый «вторым полимером», должен быть выбран таким образом, чтобы в готовой многослойной пленке его показатель преломления значительно отличался от показателя преломления первого полимера [8,9].

Цель – определение условий получения и измерение параметров цветопеременного эффекта в проходящем поляризованном свете при струйной печати триадными красками на пленочных материалах с эффектом плеохроизма.

Материалы и методы

Многослойные пленки полипропилена имеют в поляризованном свете различную окраску, определяющуюся числом и толщиной слоев. Координаты цвета в цветовом пространстве

(окраска в проходящем и отраженном поляризованном свете) значительно изменяются при размещении окрашенных материалов внутри прозрачных слоев [10,11]. Для проведения исследования изготовлена модельная стопа Столетова длиной 77 см, шириной 40 см из 13 слоев полипропилена. На исследуемый образец стопы Столетова со стороны самого длинного отрезка ленты (№ 1) наносили слои краски пурпурного и желтого цвета различной плотности в форме полосы (рисунок 2 и 3).



Рисунок 2. Схема нанесения краски на многослойную пленку

Figure 2. Order of ink application on a multilayer film

Полосу полупрозрачной краски наносили на пленку методом струйной печати в принтере Epson i3200 с отверждением отпечатка УФ излучением.

Получали полосы краски на пленке с площадью заполнения растрового поля от 10 % до 100 %.

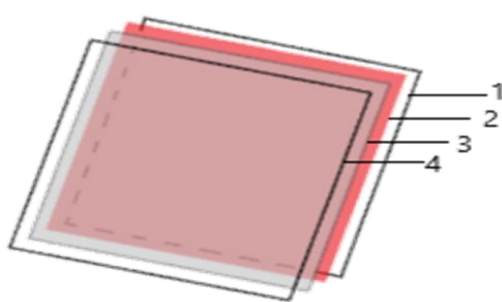
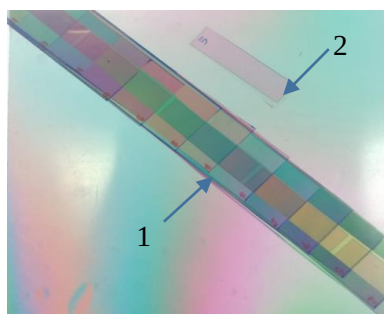
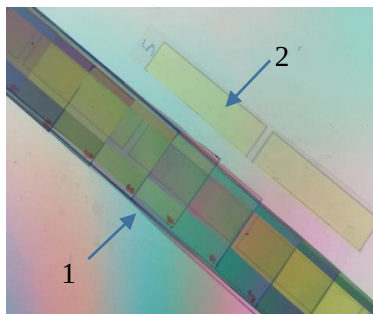


Рисунок 3. Схема укладки пленок в стопе Столетова. 1, 4 – поляризатор; 2 – образец ДОПП пленки со слоем краски; 3 – «n» слой стопы Столетова

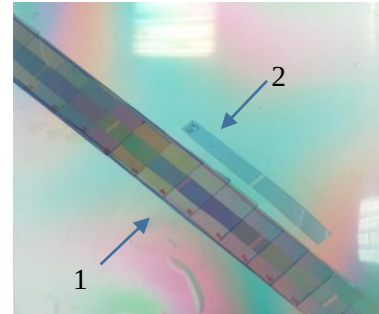
Figure 3. Arrangement of films in the Stoletov pile. 1, 4 – polarizer; 2 – BOPP film sample with ink layer; 3 – «n» layer of the Stoletov pile



a



b



c

Рисунок 4. Фото (на просвет) отпечатков плашек краской голубого (а) пурпурного (b) и желтого (с) цветов на многослойной пленке ДОПП (полоса по центру) с плотностью заполнения 50 %. Вид отпечатков в поляризованном свете (1) и при нормальном освещении (2)

Figure 4. Backlit photo of cyan (a), magenta (b), and yellow (c) ink patches on a multilayer BOPP film (central strip) with 50 % fill density. Views under polarized light (1) and normal lighting (2)

Фотофиксация производилась следующим образом: оптическая ось объектива проходила через центр объекта, а фокальная плоскость фотокамеры при съемке располагалась параллельно поверхности снимаемого объекта. РЗ – цветовой профиль фотокамеры, ее цветовой охват составлял 45,5 % от видимого человеком.

Обработка фотографий произведена в программе Paint 3D, с последующим переводом цветовых координат из цветового пространства RGB в систему Lab, с помощью конвертера. По полученным данным вычислено цветовое различие ΔE [12].

Цветовое различие вычислялось между цветом исходного образца и цветом образца, помещенного под стопу Столетова между двумя поляризаторами. Цветовое различие вычислялось между цветом слоя краски и цветом запечатанной (окрашенной) части пленки (полосы) над каждым фрагментом стопы Столетова, располагаемой между двумя поляризаторами [10].

Результаты и обсуждение

По фотографиям (рисунок 4) в программе Paint 3D определены цветовые характеристики по формуле

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}$$

где L^* – светлота, a^* – координаты красно-зеленого оттенка, b^* – координаты желто-синего оттенка, согласно цветовому пространству CIE1976 $L^* \cdot a^* \cdot b^*$ [12]. Индексы представляют цветовые значения CIELab двух цветов

Вычислено цветовое различие пленок с оттисками голубого, пурпурного и желтого цветов в обычном потоке света (столбец «0») и пакетов из 1–12 пленок ДОПП (столбцы «1–11») в проходящем потоке поляризованного света.

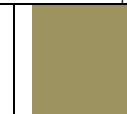
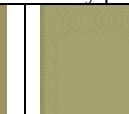
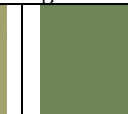
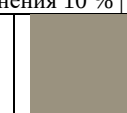
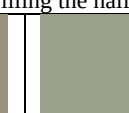
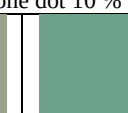
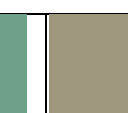
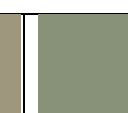
Проходящий поток поляризованного света получен путем расположения пленочного поляризатора и анализатора под углом 45°, часть данных представлена в таблице 2.

Таблица 2.

Вид (фотографии) и координаты цвета оттисков желтой краски на пленке ДОПП
с разной долей площади заполнения растрового поля (%)

Table 2.

Appearance (photographs) and color coordinates of yellow ink impressions on BOPP film
with filling the halftone area of the print (%)

Количество слоев Number of layers								
	0	1	3	4	6	8	9	11
доля площади заполнения 100 % Filling halftone area 100 %								
								
L	65,8	66,3	52,0	53,2	54,9	49,4	51,1	54,2
a	-16,4	-15,7	-12,8	1,0	-17,5	-7,6	-15,5	-15,5
b	48,3	48,3	37,9	42,4	44,9	42,8	43,1	45,4
ΔE		0,9	17,6	22,2	11,5	19,4	15,6	11,9
доля площади заполнения 50 % Fill density percentage 50 %								
								
L	84,3	68,5	54,4	60,9	65,5	52,8	62,8	68,7
a	-6,0	8,0	-26,7	-1,5	-4,2	-11,9	-10,8	-4,9
b	16,9	17,5	17,6	22,7	21,5	16,8	25,6	21,5
ΔE		21,2	36,4	24,6	19,5	32,0	23,8	16,4
доля площади заполнения 10 % Filling the halftone dot 10 %								
								
L	84,7	61,2	59,6	60,9	65,5	62,1	62,5	59,2
a	-0,9	7,3	-22,3	0,5	-4,9	-17,5	-0,5	-5,8
b	3,2	5,1	7,4	9,0	8,8	5,0	11,8	9,6
ΔE		25,0	33,3	24,6	20,5	28,2	23,8	26,8

В таблице представлены модельные изображения и цветовые характеристики оттисков желтой триадной краски на полипропиленовой пленке с долей площади заполнения растрового поля 10, 50 и 100 % соответственно, полученные путем фотографирования образцов пленки ДОПП, последовательно размещенных между слоев модельной стопы Столетова в проходящем потоке линейно-поляризованного света, и последующем программном анализе изображений. Аналогичным образом были проанализированы оптические свойства многослойных пленок, полученных нанесением пурпурной и голубой красок.

По результатам вычислений построен график зависимости цвета отпечатков с максимальной площадью заполнения растрового поля (100 %) при естественном освещении от цвета этих же отпечатков, но в поляризованном свете в многослойной упаковке (пакете) от количества слоев прозрачных пленок ДОПП.

Максимальное различие цвета оттисков с относительной площадью заполнения растрового поля 50 % желтой краской установлено на 12 слоях стопы Столетова $\Delta E = 86,73$ (рисунок 5 и 6).

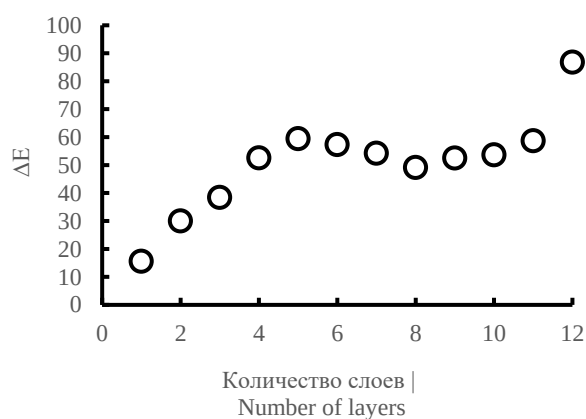


Рисунок 5. Отличие желтого цвета отпечатков со средней долей площади заполнения растрового поля (50 %) при естественном освещении от цвета отпечатков на многослойной пленке в поляризованном свете
Figure 5. Difference in yellow color images with filling the halftone area 50 under natural lighting versus color on multilayer film under polarized light

Цвет слоя краски на моноплёнке без поляризации света Color of the ink layer on a mono-film without light polarization	Цвет отпечатка на многослойной плёнке в поляризованном потоке света Color of the imprint on a multilayer film under polarized light flow	
	5 слоев 5 layers $\Delta E = 58,86$	12 слоев 12 layers $\Delta E = 86,73$
		

Рисунок 6. Цвета отпечатка желтой краской на многослойной плёнке при нормальном освещении и в поляризованном потоке света соответственно

Figure 6. Colors of yellow ink printings on multilayer film under normal lighting and polarized light, respectively

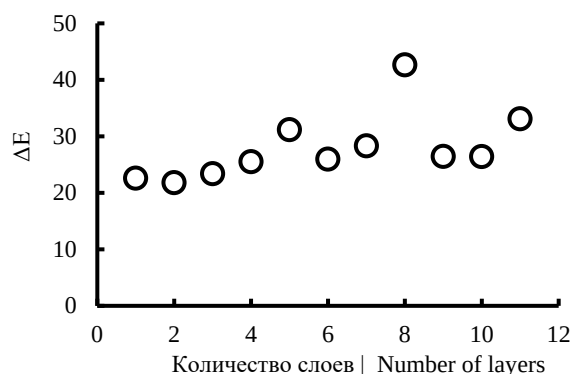


Рисунок 7. График зависимости ΔE пурпурного цвета от количества слоев пленки стопы Столетова (50 % плотность)

Figure 7. Graph of ΔE dependence for magenta color on the number of layers in the Stoletov pile (50 % density)

Максимальное различие цвета оттисков с относительной площадью заполнения растрового поля 50 % пурпурной краской установлено на 8 слоях стопы Столетова $\Delta E = 42,65$ (рисунок 7 и 8).

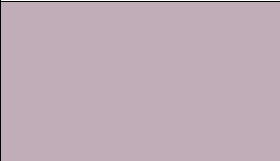
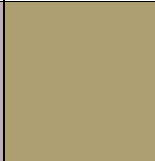
Цвет слоя краски на моноплёнке без поляризации света Color of the ink layer on a mono-film without light polarization	Цвет отпечатка на многослойной плёнке в поляризованном потоке света Color of the imprint on a multilayer film under polarized light flow	
	3 слоя 3 layers $\Delta E = 31,18$	8 слоев 8 layers $\Delta E = 42,65$
		

Рисунок 8. Цвета отпечатка пурпурной краской на многослойной плёнке при нормальном освещении и в поляризованном потоке света соответственно

Figure 8. Colors of magenta ink printings on multilayer film under normal lighting and polarized light, respectively

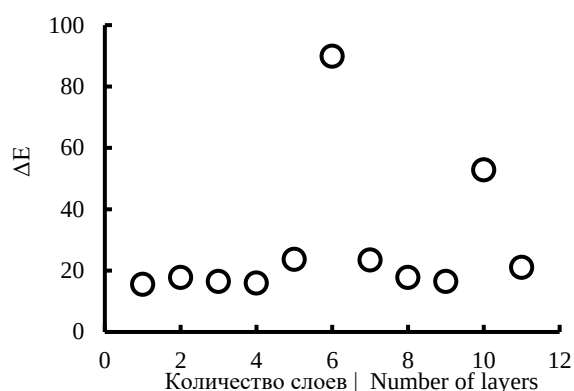


Рисунок 9. График зависимости ΔE голубого цвета от количества слоев пленки стопы Столетова (50 % плотность)

Figure 9. Graph of ΔE dependence for cyan color on the number of layers in the Stoletov pile (50 % density)

Максимальное различие цвета оттисков относительной площадью заполнения растрового поля 50 % голубой краской установлено на 6 слоях стопы Столетова $\Delta E = 89,80$ (рисунок 9 и 10).

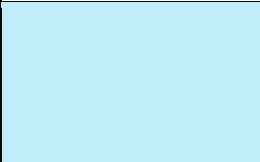
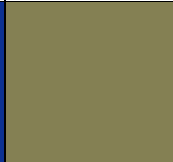
Цвет слоя краски на моноплёнке без поляризации света Color of the ink layer on a mono-film without light polarization	Цвет отпечатка на многослойной плёнке в поляризованном потоке света Color of the imprint on a multilayer film under polarized light flow	
	6 слоев 6 layers $\Delta E = 89,80$	10 слоев 10 layers $\Delta E = 52,80$
		

Рисунок 10. Цвета отпечатка голубой краской на многослойной плёнке при нормальном освещении и в поляризованном потоке света соответственно

Figure 10. Colors of cyan ink impressions on multilayer film under normal lighting and polarized light, respectively

Заключение

Установлены качественные и количественные отличия цвета полупрозрачных слоев триадных красок на многослойной плёнке полипропилена в натуральном и поляризованном потоках проходящего света. Цвет пурпурной краски на 8-слойной плёнке в поляризованном свете выглядит зеленым. Цвет желтой краски в поляризованном свете за 12-слойной плёнкой выглядит лиловым. Цвет голубой краски на 6-слойной плёнке в поляризованном свете выглядит синим.

Светлота и цветовое различие оттисков определенные по системе CIELab инструментально и по фотографиям, совпадают и находятся в периодической зависимости от количества слоев запечатываемой плёнки.

Максимальное расчетное отличие желтого цвета при натуральном и поляризованном освещении достигнуто под 12 слоями модельной стопы Столетова с плотностью заполнения растрового поля исходного оттиска 50 %, максимальное отличие голубого цвета от исходного оттиска с плотностью заполнения растрового

поля исходного оттиска 50 % достигнуто под 6 слоями модельной стопы Столетова, максимальное отличие пурпурного оттиска с плотностью заполнения растрового поля исходного оттиска 50 % от исходного достигнуто под 8 слоями модельной стопы Столетова.

Литература

- 1 Качественная упаковка - важный элемент системы продвижения вашего товара // ЛКМ. 2005. № 11. С. 45.
- 2 Вилкова С.А. Фальсификация бытовых химических товаров: проблемы, виды и способы // ЛКМ. 2003. № 2-3. С. 71.
- 3 Вилкова С.А. Порядок идентификации при выявлении подлинности товаров бытовой химии // ЛКМ. 2003. № 4. С. 36-38.
- 4 Веснина С.Н., Неустроева А.В., Степанюгин К.В. Новые технологии защитных элементов австралийского доллара как средство профилактики фальшивомонетничества // Общество: политика, экономика, право. 2020.
- 5 Пат. CN1293613A (КНР). Цветоизменяющая пленка / Вебер М.Ф., Невитт Т.Дж., Меррилл У.У. № 2001-05-02. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/021721628/publication/CN1293613A>
- 6 Пат. US2003035972A1 (США). Многослойные полимерные пленки и другие оптические тела, которые полезны для изготовления цветных зеркал и поляризаторов. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/021721628/publication/US2003035972A1>
- 7 Oleari C. Optical Thin Films and Coatings // Electronic and Optical Materials. Parma, Italy: Woodhead Publishing Series, 2013. С. 391-424.
- 8 Кричевский Г.Е. Структурная окраска // Химия и жизнь. 2010. № 11. С. 13-16.
- 9 Козенков В.М., Спахов А.А., Беляев В.В., Чаусов Д.Н. Оптически анизотропные и интерференционные средства защиты: свойства, технология, применение // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2016. Т. 16. № 4. С. 9-21.
- 10 Николаев А.А., Ермакова И.Н., Кондратов А.П. Диапазон варьирования цвета многослойных защитных элементов упаковки из полимеров, идентифицируемой в поляризованном свете // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 12. С. 77-83.
- 11 Каманина Н.В., Студенов В.И., Ткачев А.Г. Тонкопленочные поляризаторы света: структурирование объема среды и модификация поверхности // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2020. Т. 20. № 4. С. 78-83.
- 12 Андруцкая О.М. Феерия цвета // ЛКМ. 2015. № 1-2. С. 56-59.
- 13 Kondratov A.P., Nikolaev A.A., Nazarov V.G., Vereshchagin V.Yu., Volinsky A.A. Design and multilevel structuring of shape memory polymers for pleochroism control // Journal of Applied Polymer Science. 2023. Т. 140. № 41. doi: 10.1002/app.54532.
- 14 Li G., Leng M., Wang S., Ke Y., Luo W., Ma H., Guan J., Long Y. Printable structural colors and their emerging applications // Materials Today. 2023. Vol. 69. P. 133-159. doi: 10.1016/j.mattod.2023.08.022.
- 15 Николаев А.А., Кондратов А.П. Скрытая маркировка прозрачной пленки полипропилена // Тонкие химические технологии. 2022. Т. 17. № 4. С. 346-356. doi: 10.32362/2410-6593-2022-17-4-346-356.
- 16 Das B., Mohanty S. A comprehensive review on piezoelectric inks: From concept to application // Sensors and Actuators A: Physical. 2024. Vol. 366. P. 114939. doi: 10.1016/j.sna.2023.114939.
- 17 Rafiei A., Karimi A., Bodaghi M. Polymer Banknotes: A Review of Materials, Design, and Printing // Sustainability. 2023. Vol. 15. No. 4. P. 3736. doi: 10.3390/su15043736.
- 18 The influence of printing substrate on colorimetric properties of thermochromic offset prints // Acta Graphica. 2019. Vol. 29. No. 3. P. 7-13. doi: 10.25027/agj2017.28.v29i3.161.
- 19 Yoon B., Ham D.-Y., Yarimaga O., An H., Lee C.W., Kim J.-M. Inkjet Printing of Conjugated Polymer Precursors on Paper Substrates for Colorimetric Sensing and Flexible Electrothermochromic Display // Advanced Materials. 2011. Vol. 23. No. 46. P. 5492-5497. doi: 10.1002/adma.201103471.
- 20 Solomonov A., Kozell A., Tesler A., Pinkas I., Walensky S., Shimanovich U. Flexible Soft-Printed Polymer Films with Tunable Plasmonic Properties // ACS Materials Au. 2023. Vol. 3. doi: 10.1021/acsmaterialsau.3c00023.

References

- 1 Quality Packaging as an Important Element of Product Promotion Strategy. LKM. 2005. no. 11. p. 45. (in Russian)
- 2 Vilkova S.A. Counterfeiting of Household Chemical Goods: Problems, Types and Methods. LKM. 2003. no. 2-3. p. 71. (in Russian)
- 3 Vilkova S.A. Identification Procedure for Authenticity of Household Chemical Products. LKM. 2003. no. 4. p. 36 38. (in Russian)
- 4 Vesnina S.N., Neustroeva A.V., Stepanyugin K.V. New Security Features Technologies of Australian Dollar as Counterfeit Prevention Measure. Society: Politics, Economics, Law. 2020. (in Russian)
- 5 Weber M.F., Nevitt T.J., Merrill W.W. Color-Changing Film. Patent CN1293613A, 2001-05-02. Available at: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/021721628/publication/CN1293613A>
- 6 Color Shifting Film Articles (Multilayer Polymer Films and Other Optical Bodies Useful for Making Colored Mirrors and Polarizers). Patent US2003035972A1. Available at: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/021721628/publication/US2003035972A1>

- 7 Oleari C. Optical Thin Films and Coatings. In: Electronic and Optical Materials. Parma, Italy: Woodhead Publishing Series, 2013. p. 391-424.
- 8 Krichevsky G.E. Structural Coloring. Chemistry and Life. 2010. no. 11. p. 13-16. (in Russian)
- 9 Kozenkov V.M., Spakhov A.A., Belyaev V.V., Chausov D.N. Optically Anisotropic and Interference Security Features: Properties, Technology, Applications. Liquid Crystals and Their Practical Applications. 2016. vol. 16, no. 4. p. 9-21. (in Russian)
- 10 Nikolaev A.A., Ermakova I.N., Kondratov A.P. Color Variation Range of Multilayer Polymer Packaging Security Elements Identifiable in Polarized Light. Proceedings of Tula State University. Technical Sciences. 2017. no. 12. p. 77-83. (in Russian)
- 11 Kamanina N.V., Studentov V.I., Tkachev A.G. Thin-Film Light Polarizers: Medium Structuring and Surface Modification. Liquid Crystals and Their Practical Applications. 2020. vol. 20, no. 4. p. 78-83. (in Russian)
- 12 Andruskaya O.M. Color Spectacle. LKM. 2015. no. 1-2. p. 56-59. (in Russian)
- 13 Kondratov A.P., Nikolaev A.A., Nazarov V.G., Vereshchagin V.Yu., Volinsky A.A. Design and Multilevel Structuring of Shape Memory Polymers for Pleochroism Control. Journal of Applied Polymer Science. 2023. vol. 140, no. 41. doi: 10.1002/app.54532.
- 14 Li G., Leng M., Wang S., Ke Y., Luo W., Ma H., Guan J., Long Y. Printable Structural Colors and Their Emerging Applications. Materials Today. 2023. vol. 69. p. 133-159. doi: 10.1016/j.mattod.2023.08.022.
- 15 Nikolaev A.A., Kondratov A.P. Hidden Marking of Transparent Polypropylene Film. Fine Chemical Technologies. 2022. vol. 17, no. 4. p. 346-356. doi: 10.32362/2410-6593-2022-17-4-346-356. (in Russian)
- 16 Das B., Mohanty S. A Comprehensive Review on Piezoelectric Inks: From Concept to Application. Sensors and Actuators A: Physical. 2024. vol. 366. p. 114939. doi: 10.1016/j.sna.2023.114939.
- 17 Rafiei A., Karimi A., Bodaghi M. Polymer Banknotes: A Review of Materials, Design, and Printing. Sustainability. 2023. vol. 15, no. 4. p. 3736. doi: 10.3390/su15043736.
- 18 The Influence of Printing Substrate on Colorimetric Properties of Thermochromic Offset Prints. Acta Graphica. 2019. vol. 29, no. 3. p. 7-13. doi: 10.25027/agj2017.28.v29i3.161.
- 19 Yoon B., Ham D.-Y., Yarimaga O., An H., Lee C.W., Kim J.-M. Inkjet Printing of Conjugated Polymer Precursors on Paper Substrates for Colorimetric Sensing and Flexible Electrothermochromic Display. Advanced Materials. 2011. vol. 23, no. 46. p. 5492-5497. doi: 10.1002/adma.201103471.
- 20 Solomonov A., Kozell A., Tesler A., Pinkas I., Walensky S., Shimanovich U. Flexible Soft-Printed Polymer Films with Tunable Plasmonic Properties. ACS Materials Au. 2023. vol. 3. doi: 10.1021/acsmaterialsau.3c00023.

Сведения об авторах

Юлия А. Васина к.т.н., доцент, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, д. 38, г. Москва, 107023, Россия, ytimchenko@inbox.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-7874-0935>

Виктор А. Род студент, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, д. 38, г. Москва, 107023, Россия, vikdor.andreevich@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-8333-4749>

Яна В. Авдеева студент, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, д. 38, г. Москва, 107023, Россия, ioan-na20040913@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-8994-0006>

Александр П. Кондратов д.т.н., профессор, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, д. 38, г. Москва, 107023, Россия, apkrezerv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Yulia S. Vasina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, innovative materials printmedia industry department, Moscow Polytechnic University, Bolshaya Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russia, ytimchenko@inbox.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-7874-0935>

Viktor A. Rod student, innovative materials printmedia industry department, Moscow Polytechnic University, Bolshaya Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russia, vikdor.andreevich@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0008-8333-4749>

Yana V. Avdeeva student, innovative materials printmedia industry department, Moscow Polytechnic University, Bolshaya Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russia, ioan-na20040913@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-8994-0006>

Aleksandr P. Kondratov Dr. Sci. (Engin.), professor, innovative materials printmedia industry department, Moscow Polytechnic University, Bolshaya Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russia, apkrezerv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/03/2025	После редакции 18/04/2025	Принята в печать 20/04/2025
Received 11/03/2025	Accepted in revised 18/04/2025	Accepted 20/04/2025