

Многослойные полимерные оболочки для скрытой маркировки зеркальных изделий

Александра Ю. Погиба	¹	pogiba.a@ya.ru	 0009-0008-6550-2892
Владислав Ю. Верещагин	¹	slavaver@ya.ru	 0000-0002-1344-4888
Виктор А. Род	¹	vikdor.andreevich@mail.ru	 0009-0008-8333-4749
Александр П. Кондратов	¹	apkrezerw@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

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

Аннотация. Поляризация света, отраженного от зеркальной поверхности стеклянной, пластмассовой или металлической тары, фольги или этикетки из металлизированной пленки позволяет наблюдать в полимерных многослойных покрытиях эффект плеохроизма и использовать его в публичной (открытой) и скрытой (защитной) маркировке товаров. Анизотропные оптически активные полимерные пленки двух типов, используемые для маркировки прозрачных оболочек и упаковки получают путем линейной и двухосной ориентационной вытяжки. Линейная ориентация при производстве полимерных плёнок создаёт «эффект памяти формы» и используется для изготовления внешнего слоя оболочки, который сжимает и фиксирует её многослойную структуру при термоусадке на цилиндрической конической или иной криволинейной поверхности изделий с зеркальной поверхностью. Установлено, что коэффициент пропускания обычного и поляризованного света термоусадочной плёнкой поливинилхлорида «памятью формы» существенно различается и в зависимости от длины волны света и уровня внутренних напряжений в пленке снижается в процессе её усадки в несколько раз. При исследовании оптических свойств комбинированных полимерных плёнок в условиях термостимулируемой усадки обнаружены яркие цветные эффекты и парадокс влияния масштабного фактора на прозрачность пленки поливинилхлорида для потока света, отражённого от зеркальной поверхности. Поляризация света, отраженного от зеркальной поверхности, позволяет использовать многоцветный эффект плеохроизма для привлечения внимания покупателя к товару и скрытой (защитной) маркировки упаковки путем штрихового кодирования информации о товаре. Показана возможность считывания информации, вводимой в многослойную оболочку путем высечки штрихового кода в среднем слое двухосно ориентационной пленки полипропилена, с использованием видеокамеры и программного обеспечения смартфонов. Плеохроизм многослойной оболочки, формируемой путем термостимулируемой усадки оболочек или цилиндрических этикеток зависит от уровня внутренних напряжений во внешнем слое термоусадочной плёнки поливинилхлорида. Оптимальный уровень внутренних напряжений для усадки и фиксации оболочек на изделиях задается в диапазоне 1-4 МПа путем реализации свободной усадки в диапазоне 10-60% от максимальной усадки без ограничения размеров пленки.

Ключевые слова: пленка, деформация, термоусадка, поливинилхлорид; упаковка, фотометрия, плеохроизм, поляризованный свет, цветовое различие; штрих-код.

Multilayer polymer films for covert marking of mirrored products

Aleksandra Yu. Pogiba	¹	pogiba.a@ya.ru	 0009-0008-6550-2892
Vladislav Yu. Vereshchagin	¹	slavaver@ya.ru	 0000-0002-1344-4888
Viktor A. Rod	¹	vikdor.andreevich@mail.ru	 0009-0008-8333-4749
Aleksandr P. Kondratov	¹	apkrezerw@mail.ru	 0000-0001-6118-0808

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

Abstract. The polarization of light reflected from the mirror-like surfaces of glass, plastic, or metal containers, or from foil or metallized film labels, produces pleochroism effects in polymer multilayer coatings. This optical phenomenon can be utilized for both open and hidden product markings. Two types of anisotropic optically active polymer films used for marking transparent coatings and packaging are produced by linear and biaxial stretching. Linear stretching during the production of polymer films creates a shape memory effect and is used to manufacture the outer layer of the coating. This layer compresses and fixes the multilayer structure during heat shrinkage onto cylindrical, conical, or other curved mirror-like surfaces. It has been established that the optical transmission coefficients of regular and polarized light through a shape-memory polyvinyl chloride (PVC) shrink film differ significantly. Depending on the light wavelength and the stress in the film, the transmission decreases several times during the film shrinkage process. In the study of the optical properties of composite polymer films undergoing thermally induced shrinkage, striking color phenomena and a paradoxical effect of the scale factor on the transparency of PVC film for light reflected from mirror surfaces were observed. The polarization of reflected light enables the use of multicolor pleochroism as both eye-catching visual features for consumer engagement and hidden security elements capable of encoding product information in a barcode-like format for discreet package authentication. The feasibility of reading information embedded within a multilayer film has been demonstrated by incorporating a barcode into the middle layer of a biaxially oriented polypropylene film. This embedded data can be accurately captured and decoded using a smartphone camera in combination with a dedicated software application. The pleochroism observed in the multilayer film formed through thermally induced shrinkage of sleeves or cylindrical labels depends on the level of internal stress present in the outer layer of the PVC shrink film. The optimal internal stress is 1-4 MPa for the film shrinkage and fixation on products, corresponding to the 5-65% of the maximum shrinkage strain.

Keywords: film, deformation, heat shrinkage, polyvinyl chloride, packaging, photometry, pleochroism, polarized light, color difference, barcode.

Для цитирования

Погиба А.Ю., Верещагин В.Ю., Род В.А., Кондратов А.П. Многослойные полимерные оболочки для скрытой маркировки зеркальных изделий // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 2. С. 186–195. doi:10.20914/2310-1202-2025-2-186-195

For citation

Pogiba A.Yu., Vereshchagin V.Yu., Rod V.A., Kondratov A.P. Multilayer polymer films for covert marking of mirrored products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET], 2025. vol. 87. no. 2. pp. 186–195. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-2-186-195

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

Введение

При увеличении популярности дистанционного (онлайн) выбора промышленных товаров, напитков и скоропортящихся продуктов питания на marketplace в стеклянной, металлической и полимерной таре с доставкой к местам потребления, не оборудованных средствами проверки подлинности товара важное значение приобретает их оптическая маркировка.

Фирменная упаковка с логотипом производителя и известные средства маркировки, основанные на полиграфических технологиях и использовании разноцветных полимерных материалов недостаточно эффективны в борьбе с контрафактным производством и подделкой товаров. Использование голограмм, микроперфорации, цветной люминесцентной [1] и/или цветоперменной [2] маркировки этикеток требует наличия у предприятий занимающихся индивидуальной упаковкой продуктов сложного оборудования, дорогостоящих красителей и поэтому не пригодно для применения в розничной торговле и доставке товаров на дом.

В условиях интенсивного развития информационных технологий особую актуальность приобретают исследования в области новых материалов для цифровой маркировки, способов скрытой записи и хранения информации. Одним из перспективных направлений в данной сфере является разработка оптических носителей с повышенной степенью защиты от несанкционированного копирования и фальсификации.

Программируемое оптическое шифрование возможно с использованием жидкокристаллических эластомеров с контролируемой толщиной. Структурные цвета генерируются посредством взаимодействия света с микро- или наноструктурами в разнотолщинном диэлектрическом материале. В ненапряженном состоянии образцы пленки жидкокристаллических эластомеров с различной толщиной демонстрируют схожие оптические свойства. При приложении равномерной силы растяжения более тонкий образец испытывает большее растягивающее напряжение, что приводит значительному сдвигу длины волны по сравнению с более толстым. Этот дифференциальный механохромный отклик позволяет осуществлять сложный контроль нескольких длин волн при равной силе растяжения и обеспечивает кодирование информации [3].

Ранее было изобретено и запатентовано применение для маркировки и упаковки товаров эластичных пленочных полимерных материалов с «памятью формы» [5–6], способных за счет термоусадки прочно фиксировать этикетки,

ярлыки и торговые марки на товарах. В современной литературе описаны новые разные подходы к использованию полимерных пленок в качестве носителя информации и методы добавления информации в полимерные материалы, например, с использованием эффекта флуоресценции. В [1, 7] описано использование сопряженного полимера на основе поли(пара)фенилена для хранения информации с применением оптического метода записи. Ключевой особенностью разработанного материала является возможность формирования после УФ-облучения участков с различными флуоресцентными свойствами, включая многоцветную флуоресценцию и состояния типа "включено-выключено". Существенным преимуществом данной технологии является невидимость записанной информации при обычном освещении, что обеспечивает определенный уровень защиты кодированных данных. В статье рассматриваются физические и химические механизмы быстрых изменений флуоресценции, происходящих под воздействием ультрафиолетового излучения, а также демонстрируются многоцветные микромасштабные изображения и скрытые QR-коды, записанные на гибких полимерных пленках. В зависимости от методики подготовки, записанные структуры сохраняют стабильность после воздействия воды и фонового УФ-излучения окружающей среды.

Новый подход к созданию флуоресцентных структур для кодирования информации представлен в статье [8]. Авторы разработали биосовместимые наночастицы на основе пептидов, которые при сворачивании во вторичную β -структуру демонстрируют интенсивную и настраиваемую флуоресценцию в широком спектральном диапазоне с квантовым выходом до 30%. Особенностью данных нанодотов является значительный необратимый эффект фотообесцвечивания, связанный с разрушением межмолекулярных водородных связей β -структуры под воздействием света. Исследователи продемонстрировали возможность создания высокоразрешающей долговременной оптической памяти. Технология позволяет записывать фотообесцвеченные структуры, штрих-коды и изображения высокого разрешения.

Добавление информации происходит и с добавлением хромофоров. В статье [9] авторы разработали трехуровневую систему защиты на основе QR-кодов, интегрирующую цифровые полимеры со стимул-чувствительными хромофорами (родамин В, родамин 6G и спиропиран). Ключевой особенностью предложенного подхода является скрытое состояние штрих-кода, который проявляется только при определенных

стимулах и может быть сканирован с помощью смартфона, что обеспечивает первый и второй уровни защиты. Третий уровень защиты представлен зашифрованной информацией в структуре цифровых полимеров, которая может быть расшифрована только с использованием tandemной масс-спектрометрии. Эта технология защиты от подделок требует использования дорогостоящей и сложной в эксплуатации аппаратуры.

Практическое применение для скрытой записи информации и защитной маркировки изделий возможно с использованием динамически реконфигурируемого цвета упаковочных материалов в которых оптические отклики можно настраивать путем изменения показателя преломления, рельефа поверхности [10–12] и размеров [13, 14] локальных зон. Настройка размеров локальных зон оптических устройств с помощью полимеров с памятью формы представляет наибольший интерес, вследствие короткого времени отклика на внешнее воздействие при записи информации. Термоусадочные пленки с памятью формы используются для формирования одномерных и двумерных штриховых кодов. Прозрачные полимерные пленки с «памятью формы» на зеркальных поверхностях благодаря своим оптическим свойствам могут быть использованы в качестве носителя информации, однако эти наиболее экономичные новые способы маркировки и записи скрытой информации предполагают наличие ДВУХ светофильтров для поляризации света на источнике излучения и средствах идентификации маркировки [15].

В настоящем исследовании показана возможность исключения из процесса идентификации товаров по скрытой маркировке и / или считывания информации из невидимого логотипа или штрихового кода светофильтра-поляризатора, или специального источника поляризованного света.

Материалы и методы

Коммерчески доступные термоусадочные с «памятью формы» пленки поливинилхлорида различных производителей: АО «Дон-полимер», толщиной 70 ± 10 мкм, «Dongil Chemical», толщиной $50 \pm 3,5$ мкм, «Klockner Pentaplast», толщиной 45 ± 5 мкм. Пленки поливинилхлорида обладают высокими механическими характеристиками и широко применяются для изготовления упаковки товаров и продуктов [16].

Коммерчески доступные биоксально ориентированные пленки изотактического полипропилена (BOPP): прозрачная марки HGW-40 толщиной 45 ± 5 мкм и металлизированная HMGW.M-20 толщиной 25 ± 5 мкм.

Поляризованный световой луч формировался и анализировался с помощью поляризационной пленки NPF F1205DU (Япония), обеспечивающей степень поляризации света 95,8%.

Для изучения оптических характеристик из пленок вырезали ленты различной длины, которые собирали в многослойные пакеты с последовательным увеличением длины (стопа Столетова). Пакеты помещались на изделия, имеющие гладкие непрозрачные отражающие поверхности (зеркала): алюминиевой фольги, стеклянного зеркала, металлизированной пленки BOPP. Цветные эффекты получали, варьируя количество слоев в пакете. Фотографирование и измерение координат цвета производили спектрофотометром X-Rite i1Pro.

Цвет многослойных пленок в нормальном и поляризованном свете оценивали с использованием координат равномерного цветового пространства $L^*a^*b^*$, а также по величине цветового различия ΔE и контраста (формула 1, 2).

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (1)$$

$$PCS = \frac{L_2 - L_1}{L_2} 100\% \quad (2)$$

Здесь ΔL – разность значений светлоты, Δa – разность цвета по красно-зеленому компоненту, а Δb – разность цвета по желто-синему компоненту в соответствии с цветовым пространством CIELAB.

Для измерения внутренних напряжений в плёнке с «памятью формы» образцы в форме лент, вырезанных поперек направления экструзии, фиксировали в зажимах цифрового малоинерционного динамометра с функцией записи максимального усилия (рисунок 1.)

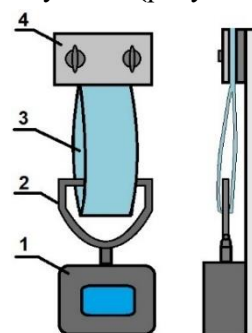


Рисунок 1. Схема динамометра для измерения силы термоусадки с регулируемой долей «свободной» термоусадки: 1 – динамометр, 2 – держатель пленки – регулятор «свободной» термоусадки, 3 – лента из пленки; 4 – зажим (струбцина) для фиксации концов образца пленки

Figure 1. Diagram of a dynamometer for measuring the shrink force with an adjustable proportion of “free” shrinkage: 1 – dynamometer, 2 – film holder – “free” shrinkage regulator, 3 – film strip, 4 – clamp (screw clamp) for fixing the ends of the film sample.

Образец пленки поливинилхлорида с «памятью формы» в форме ленты 200 x 40 мм складывают вдвое (рисунок 1, поз. 2) и укладывают средней частью на держатель пленки – регулятор «свободной» термоусадки, соединенный с измерителем силы усадки (рисунок 1, поз. 1). Концы ленты зажимают металлической струбциной (рисунок 1, поз. 4) и оплавливают газовой горелкой для надежной фиксации длины образца в устройстве. При нагревании образца в таком положении свободная усадка отсутствует и измеритель силы усадки фиксирует максимум внутренних напряжений в образце пленки. В процессе выполнения задачи по уменьшению уровня внутренних напряжений образцы перед термообработкой укладывают средней частью на держатель (рисунок 1, поз. 2) с зазором. Величина зазора, при котором отсутствует напряжение после термоусадки ленты соответствует 46% длины образца между шпилькой и зажимами. Изменяя размер зазора,

получали образцы термоусадочной пленки, имеющие различный уровень внутренних напряжений предназначенные для повторной термоусадки без зазора и изучения оптических эффектов измерения цвета и оценки плеохроизма в поляризованном потоке света.

Результаты и обсуждения

Многослойные прозрачные окрашенные триадной краской и бесцветные термоусадочные пленки поливинилхлорида приобретают в поляризованном свете различную окраску, определяющуюся тремя равнозначными факторами: цветом и толщиной слоя краски, числом слоев пленки и углом наблюдения. Соотношения этих факторов является предметом настоящего исследования, выполненного с целью скрытой записи информации (маркировки) на гибкой полимерной упаковке товаров и продуктов массового потребления.



(a)

3 слоя ПП синего цвета режима пленка-поляризатор

3 layers PP blue color mode film-polarizer

	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
L	32	53	59	64	70	72	69	65	57	53	31
A	-5	1	-12	-87	-82	-18	-68	-90	-39	14	-7
b	-18	-19	-46	0	38	22	36	20	-41	-12	11
Цвет Color											

(b)

Рисунок 2. Фотографии в поляризованном потоке света (координаты цвета) под различными углами пакетов пленок из 10 и 3 х слоев пленки поливинилхлорида (соответственно). Бесцветные под прямым углом (a) и окрашенные [2] голубой триадной краской под различными углами наблюдения (b)

Figure 2. Photographs in polarized light (color coordinates) at different angles of packages made from 10-layer and 3-layer polyvinyl chloride films, respectively. Colorless at a right angle (a) and colored [2] with blue triad dye at different observation angles (b)

Причиной появления и изменения цвета пакета пленок, а также явления плеохроизма, являются внутренние напряжения в полимере «заторможенные» в производстве термоусадочных упаковочных материалов путем «холодной» вытяжки при температуре ниже температуры стеклования термопласта.

По методике термообработки пленок с фиксированными размерами (рисунок 1) приготовлены 10 образцов пленки ПВХ с памятью формы, отличающиеся уровнем внутренних напряжений. Снижение внутренних напряжений в пленках, обладающих эффектом «память формы» исследовали по методике, предложенной в работе [17]. Величина внутреннего напряжения в пленках измерена в зависимости от доли

свободной усадки (рисунок 3). Измерялась величина внутренних напряжений в ПВХ-пленках в зависимости от степени свободной усадки в приборе (рисунок 1) при кратковременном «быстром» нагревании до температуры ниже температуры стеклования термопласта.

По мере уменьшения внутренних напряжений в пленке поливинилхлорида при частичной термоусадке изменяются ее оптические свойства. Когда внутреннее напряжение в пленке поливинилхлорида падает ниже 1 МПа, различие цвета (ΔE) между двумя слоями пленки ВОРР под ней в многослойном пакете достигает 20 единиц. Такого уровня цветового контраста между внутренними слоями достаточно для записи информации на многослойной оболочке путем

высечки (перфорации) одного из слоев ВОРР – пленки. Поскольку внутреннее напряжение продолжает снижаться ниже 1 МПа, контраст и разница в цвете слоев ВОРР в местах перфорации продолжают увеличиваться на фиг. 4. Однако на этом этапе внешняя термоусадочная пленка из ПВХ теряет способность удерживать этикетку на контейнере. Этикетка может расслаиваться и отделяться от банки (контейнера с проуктом) во время транспортировки. Поэтому степень свободной усадки должна быть ограничена 10–60%.

Например, если на приборе (рисунок 1.) держатель 4 расположен на небольшом расстоянии от перегиба образца пленки и зазор составляет 0,05 его длины то свободная усадка пленки при нагревании составит 5%, а доля усадки образца от максимально возможного

сокращения размеров пленки без ограничения ее длины составит 10%. Динамометр поз. 1 измерит силу сжатия пленки соответствующую напряжению $3,5 \pm 0,5$ МПа. Если зазор между держателем и местом перегиба образца пленки составляет 0,3 его длины то свободная усадка пленки при нагревании составит 60% и напряжение в пленке после термоусадки будет минимальным $1 \pm 0,5$ МПа (рисунок 3). Внутреннее напряжение менее 1 МПа в пленке поливинилхлорида образующей внешний слой оболочки негативно влияет на её фиксацию на зеркальной поверхности цилиндрической тары и изделий с криволинейной поверхностью.

Размещение пленок на зеркальной поверхности обуславливает изменение цвета многослойного пакета в поляризованном свете.

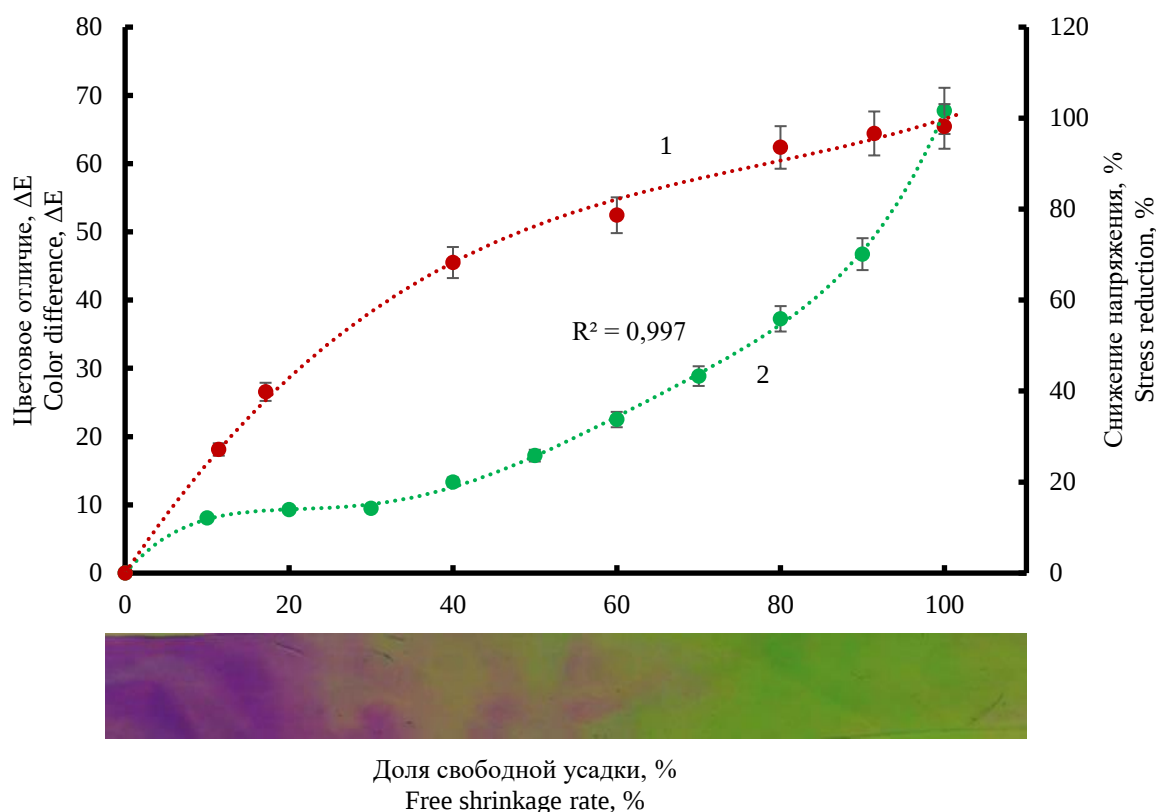


Рисунок 3. 1 – Нормированное снижение внутренних напряжений в ТУ пленке ПВХ с памятью формы в результате свободной усадки. 2 – Изменение цвета в поляризованном свете оболочки при градиентной усадке внешнего слоя из пленки ПВХ

Figure 3. Normalized reduction of internal stresses in shape memory PVC shrink film as a result of free shrinkage. Color change of the shell in polarized light during the gradient shrinkage of the outer layer made of PVC film

Уровень внутренних напряжений в пленке поливинилхлорида с памятью формы зависит от величины свободной усадки пленки при нагревании и непропорционально деформации снижается до нуля при полном сокращении длины образцов (рисунок 3).

Для количественного изучения и наглядной демонстрации существенной зависимости цвета прозрачных многослойных оболочек от свободной термоусадки разработана методика получения образцов с градиентом внутренних напряжений (рисунок 4). Это адекватная

физическая модель производственного процесса аппликации этикеток, колереток и колпачков из термоусадочной пленки на таре с помощью промышленных агрегатов типа BS-2020A Hualian [18].

Для моделирования процесса аппликации из пленки ПВХ сформировали рукав, длина окружности которого соответствует большему сечению конуса (рисунок 4).

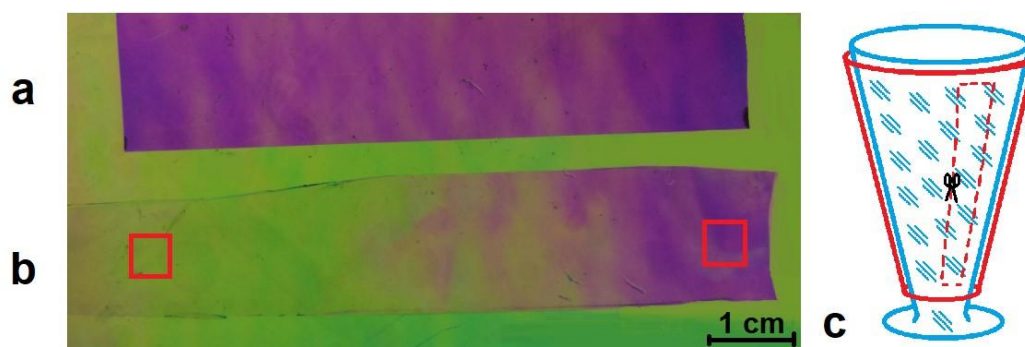


Рисунок 4. Фото в проходящем поляризованном свете образцов, вырезанных из многослойной прозрачной оболочки до термоусадки на конусе (а) и после градиентной усадки (б). Схема термоусадки РУКАВА на конусе (с)

Figure 4. Photographs in transmitted polarized light of samples cut from the multilayer transparent film before heat shrinking on a cone (a) and after gradient shrinkage (b). Diagram of the sleeve heat-shrinking process on a cone (c)

Рукав одевали на стеклянный конус (колбу). Собранная конструкция из полимера и стекла нагревали потоком горячего воздуха или погружением в воду при температуре 75 ± 5 °C.

Пакет из двух анизотропных пленок полипропилена (BOPP) и пленки поливинилхлорида с памятью формы представляет собой полно-размерную модель прозрачной многослойной оболочки зеркальных объектов (товаров, емкостей) с функцией скрытой маркировки и записи цифровой информации.

Фотографии многослойной прозрачной оболочки в проходящем поляризованном свете после градиентной усадки внешнего слоя пленки поливинилхлорида иллюстрируют необычный оптический эффект увеличения прозрачности термоусадочной пленки поливинилхлорида и «исчезновения» ее «окраски» в составе многослойной оболочки (рисунок 4).

Для количественного изучения этого оптического эффекта провели спектроскопическое исследование прозрачности термоусадочной пленки в обычном и проходящем поляризованном свете после частичной усадки (рисунок 5 и 6).

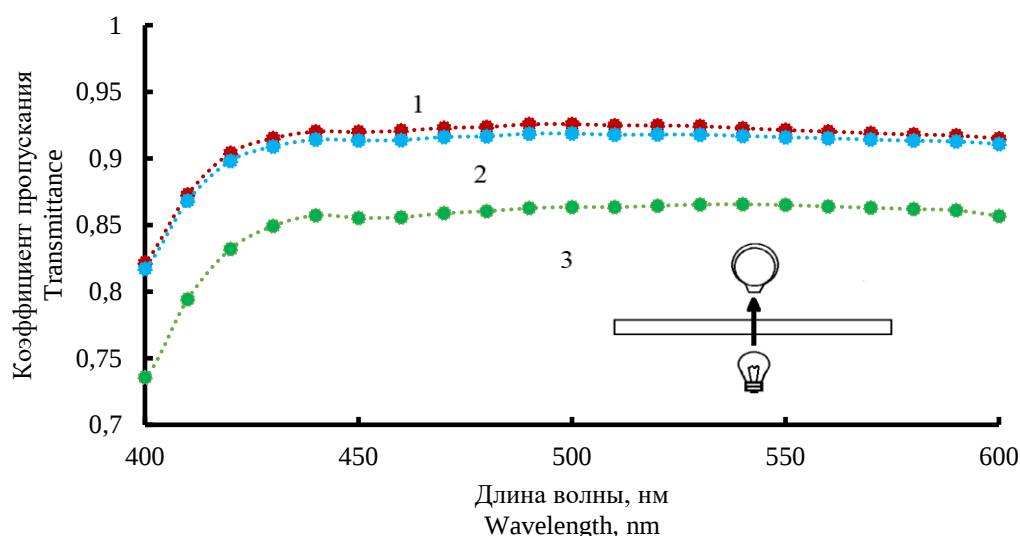


Рисунок 5. Спектры прозрачности пленки с разным уровнем внутреннего напряжения: 1 – пленка до усадки, 2 – усадка 5%, 3 – усадка 90%

Figure 5. Transmittance spectra of the film with different levels of internal stress: 1 – film before shrinkage, 2 – 5% shrinkage, 3 – 90% shrinkage

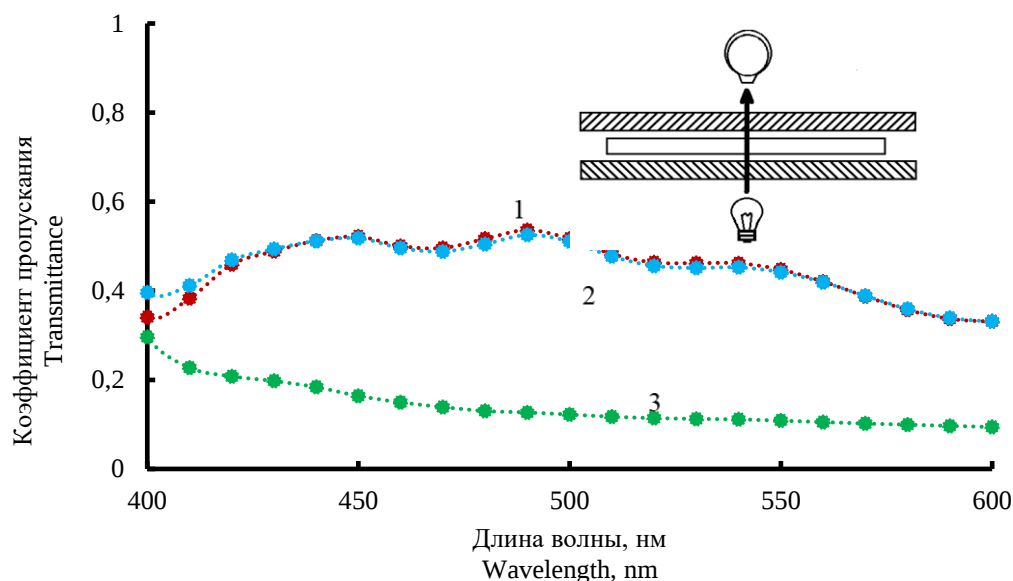


Рисунок 6. Спектры прозрачности пленки с разным уровнем внутреннего напряжения в поляризованном потоке света 1 – пленка до усадки, 2 – усадка 5%, 3 – усадка 90%

Figure 6. Transmittance spectra of the film under polarized light at different levels of internal stress: 1 – film before shrinkage, 2 – 5% shrinkage, 3 – 90% shrinkage

Изменение цвета и прозрачности многослойной оболочки в процессе усадки ТУ пленки ПВХ имеет важное практическое значение для использования прозрачных полимерных плёнок с «памятью формы» при записи информации на зеркальной таре [19].

Согласно предложенному техническому решению [20] термоусадочная пленка используется в качестве внешнего слоя колпачка

(фиксирующего покрытия). С увеличением степени усадки пленки ПВХ теряются её цветовые характеристики в отраженном поляризованном потоке (ПВХ становится прозрачным). Чем он прозрачнее, тем меньше он влияет на цветовую характеристику расположенных под ним 2 слоев ВОРР из которых формируется штриховые и пробельные элементы штрихового кода.

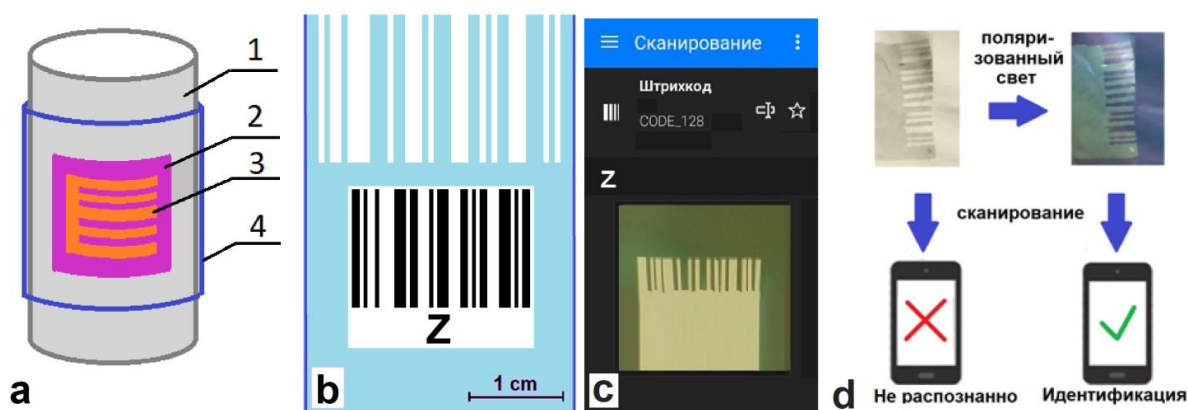


Рисунок 7. а – схема многослойной термоусадочной этикетки из прозрачной пленки поливинилхлорида (1) с «вкладышем» из двух слоев пленки ВОРР (3,4) на стальной банке с полированной поверхностью; б – штриховой код, высеченный из пленки ВОРР с информационной меткой «Z»; в – окно русской программы «QR-сканер» с результатом распознавания штрих-кода «Z» в поляризованном свете

Figure 7. a – diagram of a multilayer heat-shrinkable label made of transparent polyvinyl chloride (PVC) film (1) with an “insert” of two layers of BOPP film (3, 4) on a steel can with a polished surface; b – barcode cut out from BOPP film with an informational tag “Z”; c – window of the Russian program “QR Scanner” showing the result of recognizing the “Z” barcode in polarized light

Колпачок из пленки с усадкой 25% изготовлен из нескольких слоев – из металлизированной пленки BOPP, отражающей свет и среднего слоя с высечками в форме информационных символов – линейного штрихового кода из анизотропной двусло-ориентированной пленки полипропилена толщиной 20 мкм (рисунок 7). При наблюдении колпачка через поляризационный фильтр или сквозь поляризационные очки информационный символ выглядит цветным на белом фоне,

т. е. проявляется в оранжевом, розовом или фиолетовом цвете в зависимости от угла обозрения (таблица 1). При обычном освещении без поляризаторов информационный символ – линейный штрихового кода не имеет цвета, прозрачен и поэтому не заметен (скрыт от наблюдателя). Таким образом, в устройстве оболочки, упаковки или колпачка может быть реализована функция скрытой маркировки.

Таблица 1.

Цвет (*) в CIELAB, контраст и цветовое различие оболочек на различных поверхностях

Table 1.

Color (*) in CIELAB, contrast, and color difference of the films on various surfaces

Маркировка зеркальной тары Marking of mirror containers		Цвет МОДУЛЕЙ ШК* в CIELAB Color (*) in CIELAB						ΔE
		Пробел Space			Штрих Bar			
Фольга Al + BOPP + BOPP + ПВХ	до усадки before shrinkage	12.4	7.1	2.3	28.8	-1.1	-1.3	18.7
	после усадки after shrinkage	49.1	6.4	1.9	67.1	-12	0.2	25.5
Метализ. BOPP + 2 BOPP + ПВХ	до усадки before shrinkage	26.2	17.5	-10	48.3	-8.1	20.7	45.8
	после усадки after shrinkage	42.9	-7.3	-8.9	62.1	1.8	20.4	36.2

Таблица 2.

Координаты цвета, контраст и цветовое различие МОДУЛЕЙ ШК (barcode elements)

Table 2.

Color coordinates, contrast, and color difference of barcode element modules

Позиция элемента кода Code Element Position	Координаты цвета Color Coordinates			Контраст Contrast	Цветовое различие ΔE Color Difference ΔE
	L*	a*	b*		
1 (штрих) bar	87	-4	12	44,8	45,19
4 (пробел) space	48	-15	-8		
2 (штрих) bar	86	-4	10	44,1	44,09
5 (пробел) space	48	-14	-10		
3 (штрих) bar	79	-6	6	41,7	38,01
6 (пробел) space	46	-16	-10		

Видно, что контраст и цветовое различие штриховых и пробельных элементов ШК превышает порог чувствительности глаз человека [15] более чем в 10 раз (таблица 2) и является достаточным для того чтобы штриховой код высеченный в среднем слое прозрачной оболочки зеркальной тары, этикетки или упаковки был легко обнаружен невооруженным глазом и, при необходимости, считан сканером в поляризованном свете.

Заключение

1 Поляризация света, отраженного от зеркальной поверхности стеклянной или металлической тары, фольги или этикетки из металлизированной пленки позволяет использовать многоцветный эффект плеохроизма для привлечения внимания покупателя к товару и скрытой (защитной) маркировки упаковки путем штрихового кодирования информации о товаре.

2 Скрытая маркировка оболочек или упаковки товаров осуществляется размещением (аппликацией) или высечкой плоской фигуры товарного знака или штрихового кода в анизотропной пленке полипропилена, уложенной на зеркальной поверхности между несколькими слоями пленки полипропилена и термоусадочной пленки поливинилхлорида.

3 Плеохроизм многослойной оболочки, формируемой путем термостимулируемой усадки оболочек или цилиндрических этикеток зависит от уровня внутренних напряжений, который задается в диапазоне $1 - 4 \pm 0,5$ МПа нормированной долей свободной усадки 5–65%.

4 Обнаружен парадокс влияния масштаба фактора на прозрачность пленки

поливинилхлорида для потока света, отраженного от зеркальной поверхности.

При свободной усадке и снижении уровня внутренних напряжений во внешнем слое цилиндрической оболочки из термоусадочной пленки поливинилхлорида толщина возрастает по мере сокращения их диаметра до 1,8 раза. При этом ее прозрачность в поляризованном свете снижается в 4 раза. Однако в составе многослойной оболочки прозрачность внешнего слоя пленки поливинилхлорида для потока поляризованного света, отраженного от зеркальной поверхности, существенно увеличивается по мере усадки. Сквозь термоусадочный слой оболочки, проявляется цветная маркировка и увеличивается контраст внутренних слоев.

Литература

- 1 Медведев Р.П., Подковырина Ю.С., Скорынина А.А. Применение люминофора из фосфогипса в качестве люминесцентного наполнителя для полимеров // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. Т. 82. № 1 (83). С. 219–224.
- 2 Васина Ю.А., Род В.А., Авдеева Я.В. и др. Цветопеременные эффекты при печати триадными красками на многослойной упаковке из прозрачной пленки полипропилена // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2025. Т. 8. № 2. С. (В печати).
- 3 Nam S., Woo S., Park J.Y. et al. Programmable optical encryption using thickness-controlled stretchable chiral liquid crystal elastomers // *Light: Science & Applications*. 2025. Vol. 14. № 1. P. 136.
- 4 Patent 3563973 US, IPC B29C61/06. Articles with polymeric memory and method of constructing same / Arditti S.J., Avedikian S.Z., Bernstein B.S. publ. 16.02.1971.
- 5 Patent 1075704 GB, IPC B29C48/90. Process and apparatus for producing elastic memory articles / Wray Pierre Edward. publ. 12.07.1967.
- 6 Patent 3144398 US, IPC B29C61/06. Heat-shrinkable Polyethylene / Rainer W.C., Redding E.M., Hitov J.J. et al. publ. 11.08.1964.
- 7 Liu X., Kleybolte M.E., Hantro M. et al. A Fluorescent Polymer for Facile One-Step Writing of Polychromic Hidden Information in Flexible Films // *Advanced Functional Materials*. 2024. Vol. 34. № 37. P. 2402033.
- 8 Rosenbaum P., Barhom H., Inberg A. et al. Hidden imaging in thin polymer films with embedded fluorescent peptide nanodots // *Optics Express*. 2024. Vol. 32. № 3. P. 4485–4497.
- 9 Huang X., Liang Z., Yang X. et al. Multilevel Anti-counterfeiting Barcode with Enhanced Information Encryption Based on Stimulus-Responsive Digital Polymers // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2024. Vol. 16. № 33. P. 43075–43082.
- 10 Ding C., Liu Y., Wang H. et al. Tunable balanced liquid crystal phase shifter based on spoof surface plasmon polaritons with common-mode suppression // *Liquid Crystals*. 2020. Vol. 47. № 11. P. 1612–1623.
- 11 Dong W., Liu H., Behera J.K. et al. Wide bandgap phase change material tuned visible photonics // *Advanced Functional Materials*. 2019. Vol. 29. № 6. P. 1806181.
- 12 Franklin D., Chen Y., Vazquez-Guardado A. et al. Polarization-independent actively tunable colour generation on imprinted plasmonic surfaces // *Nature Communications*. 2015. Vol. 6. P. 7337.
- 13 Mizuno A., Ono A. Dynamic control of the interparticle distance in a self-assembled Ag nanocube monolayer for plasmonic color modulation // *ACS Applied Nano Materials*. 2021. Vol. 4. № 9. P. 9721–9728. doi: 10.1021/acsanm.1c02089
- 14 Cataldi U., Caputo R., Kurylyak Y. et al. Growing gold nanoparticles on a flexible substrate to enable simple mechanical control of their plasmonic coupling // *Journal of Materials Chemistry C*. 2014. Vol. 2. № 37. P. 7927–7933.
- 15 Kondratov A.P., Nikolaev A.A., Nazarov V.G. et al. Design and multilevel structuring of shape memory polymers for pleochroism control // *Journal of Applied Polymer Science*. 2023. Vol. 140. № 41. P. e54532.
- 16 Седых В.А., Жучков А.В. Технические свойства упаковочных пленок на основе ПВХ // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 2 (56). С. 141–146.
- 17 Kondratov A.P., Cherkasov E.P., Paley V. et al. Recording, storage, and reproduction of information on polyvinyl chloride films using shape memory effects // *Polymers*. 2021. Vol. 13. № 11. P. 1802.
- 18 VF650 Shrink Sleeve Applicator // Accraply. URL: https://www.accraply.com/docs/default-source/default-document-library/sleeving/grahamsleevit_vf650.pdf (дата обращения: 22.05.2025).
- 19 Patent 2013193758 JP, IPC B65D41/62. Shrink cap and container using the same / Ozawa Tatsuro, Furuichi Kozue. publ. 30.09.2013.
- 20 Пат. 2025101494 Российская Федерация. Термоусадочный колпачок / Погиба А.Ю. заявл. 24.01.2025.

References

- 1 Medvedev R.P., Podkovyrina Y.S., Skorynina A.A. The use of phosphor from phosphogypsum as a luminescent filler for polymers. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2020. vol. 82. no. 1(83). pp. 219–224. (in Russian)
- 2 Vasina Yu.A., Rod V.A., Avdeeva Ya.V., Kondratov A.P. Color-changing effects when printing with triad inks on multilayer packaging made of transparent polypropylene film. *Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2025. vol. 8. no. 2. (in Russian)

- 3 Nam S., Woo S., Park J.Y., Choi S.S. Programmable optical encryption using thickness-controlled stretchable chiral liquid crystal elastomers. *Light: Science & Applications*. 2025. vol. 14. no. 1. p. 136. doi:10.1038/s41377-025-01633-7
- 4 Arditti S.J., Avedikian S.Z., Bernstein B.S. Patent US 3563973. Articles with polymeric memory and method of constructing the same. 1971.
- 5 Wray Pierre Edward. Patent GB 1075704. Process and apparatus for producing elastic memory articles. 1967.
- 6 Rainer W.C., Redding E.M., Hitov J.J., Sloan A.W., Stewart W.D. Patent US 3144398. Heat-shrinkable Polyethylene. 1964.
- 7 Liu X., Kleybolte M.E., Hantro M., Butler C., Vagin S.I. et al. A Fluorescent Polymer for Facile One-Step Writing of Polychromic Hidden Information in Flexible Films. *Advanced Functional Materials*. 2024. vol. 34. no. 37. p. 2402033. doi: 10.1002/adfm.202402033
- 8 Rosenbaum P., Barhom H., Inberg A., Lapsker I., Rosenman G. et al. Hidden imaging in thin polymer films with embedded fluorescent peptide nanodots. *Optics Express*. 2024. vol. 32. no. 3. pp. 4485–4497. doi:10.1364/OE.515847
- 9 Huang X., Liang Z., Yang X., Piao M., Huang Z. et al. Multilevel Anti-counterfeiting Barcode with Enhanced Information Encryption Based on Stimulus-Responsive Digital Polymers. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2024. vol. 16. no. 33. pp. 43075–43082. doi: 10.1021/acsami.4c06945
- 10 Ding C. et al. Tunable balanced liquid crystal phase shifter based on spoof surface plasmon polaritons with common-mode suppression. *Liquid Crystals*. 2020. vol. 47. no. 11. pp. 1612–1623. doi:10.1080/02678292.2020.1733118
- 11 Dong W., Liu H., Behera J.K., Lu L., Ng R.J.H. et al. Wide bandgap phase change material tuned visible photonics. *Advanced Functional Materials*. 2019. vol. 29. no. 6. p. 1806181. doi: 10.1002/adfm.201806181
- 12 Franklin D., Chen Y., Vazquez-Guardado A., Modak S., Boroumand J. et al. Polarization-independent actively tunable color generation on imprinted plasmonic surfaces. *Nature communications*. 2015. vol. 6. p. 7337. doi: 10.1038/ncomms8337
- 13 Mizuno A., Ono A. Dynamic control of the interparticle distance in a self-assembled Ag nanocube monolayer for plasmonic color modulation. *ACS Applied Nano Materials*. 2021. vol. 4. no. 9. pp. 9721–9728. doi: 10.1021/acsanm.1c02089
- 14 Cataldi U., Caputo R., Kurylyak Y., Klein G., Chekini M. et al. Growing gold nanoparticles on a flexible substrate to enable simple mechanical control of their plasmonic coupling. *Journal of Materials Chemistry C*. 2014. vol. 2. no. 37. pp. 7927–7933. doi: 10.1039/C4TC01153B
- 15 Kondratov A.P., Nikolaev A.A., Nazarov V.G., Vereshchagin V.Y., Volinsky A.A. Design and multilevel structuring of shape memory polymers for pleochroism control. *Journal of Applied Polymer Science*. 2023. vol. 140. no. 41. p. e54532. doi: 10.1002/app.54532
- 16 Sedykh V.A., Zhuchkov A.V. Technical properties of PVC-based packaging films. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2013. no. 2(56). pp. 141–146. (in Russian)
- 17 Kondratov A.P., Cherkasov E.P., Paley V., Volinsky A.A. Recording, storage, and reproduction of information on polyvinyl chloride films using shape memory effects. *Polymers*. 2021. vol. 13. no. 11. p. 1802. doi:10.3390/polym13111802
- 18 VF650 Shrink Sleeve Applicator. URL: https://www.acccaply.com/docs/default-source/default-document-library/sleeving/grahamsleeve_vf650.pdf (in Russian)
- 19 Ozawa Tatsuro, Furuichi Kozue. Patent JP 2013193758. Shrink cap and container using the same. 2013.
- 20 Pogiba A.Yu. Patent RU 2025101494. Heat-shrinkable cap. 2025. (in Russian)

Сведения об авторах

Александра Ю. Погиба преподаватель, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, pogiba.a@ya.ru

<https://orcid.org/0009-0008-6550-2892>

Владислав Ю. Верещагин к.т.н., доцент, кафедра инфокогнитивных технологий, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, slavaver@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1344-4888>

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

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

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

Aleksandra Yu. Pogiba lecturer, innovative materials of printmediaindustry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, pogiba.a@ya.ru

<https://orcid.org/0009-0008-6550-2892>

Vladislav Yu. Vereshchagin Cand. Sci. (Tech.), associate professor, infocognitive technologies department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, slavaver@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1344-4888>

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

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

Aleksandr P. Kondratov Dr. Sci. (Tech.), professor, innovative materials of printmediaindustry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya, 38, Moscow, 107023, Russia, apkrezer@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 17/04/2025	Принята в печать 29/04/2026
Received 11/03/2025	Accepted in revised 17/04/2025	Accepted 29/04/2026