



Design of Stained-Glass Windows and Coatings
for Windows in Decorative Illumination of
Buildings from Polymer Materials with
Interference in Polarized Light

Alexander Nikolaev and Alexander Kondratov

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

May 16, 2020

Design of stained-glass windows and coatings for windows in decorative illumination of buildings from polymer materials with interference in polarized light

А.А.Николаев, А.П.Кондратов

Московский политехнический университет

107023, Российская Федерация, Москва, ул. БольшаяСеменовская, 38

e-mail: nikolaevaleksandr1992@gmail.com

Abstract

Проведено исследование возможности использования полимерных пленок в качестве материала цветопеременных витражей и покрытий для окон декоративной подсветки зданий. Установлен диапазон варьирования цвета многослойных полимерных пленок в поляризованном свете путем обработки их поверхности пленок органическими растворителями при соединении слоев и нанесении разноцветных прозрачных изображений.

Keywords: films; optical properties; dynamic light scattering; properties and characterization; color; polymer films.

1 Introduction

Витражи принято относить к элементам объектов градостроительства и произведениям декоративно-прикладного искусства. Как строительный объект витраж следует рассматривать с позиций материаловедения и экономики. Как произведение декоративно-прикладного искусства витраж должен обладать и наполнять строение оригинальным цветовыми и световыми акцентами. Самое главное свойство витража — это его гармоничное сочетание с архитектурой и интерьером. Витраж должен являться органическим продолжением композиции строительного объекта, соответствовать цветовым и пластическим характеристикам всего ансамбля строительного сооружения [1]. Традиционно витражи собираются из кусочков цветного стекла, которые собираются в единую картину механическими или клеящими способами крепления [2].

В работе предлагается способ изготовления витражей и художественного оформления окон и стекол с использованием полимерных материалов с явлением двойного лучепреломления [3]. В некоторых полимерных материалах эти цвета получаются однородными и допустимые изменения толщины полимера не сказываются на видимом цвете, в некоторых изменение толщин вызывает видимое изменение цвета характеризуемое количественно параметрами цветового различия и контраста [4,5].

Ранее рассматривались полимерные термоусадочные пленки и явление плеохроизма (изменение цвета пленки в поляризованном свете под различными углами). Также было известно, каким образом термическое воздействие и длительное облучение солнечным светом изменяет цветовые характеристики полимерных материалов [6].

Проблема составления многослойного пакета полимерных пленок и дальнейшего использования многослойной системы в витражах состоит в том, что слои не скреплены между собой и существует граница раздела фаз «полимер-воздух» влияющая на ее оптические характеристики. Один из способов скрепления двух материалов между собой — использование жидких адгезивов (клея). Для того, чтобы определить, какие адгезионные материалы целесообразно использовать при соединении слоев, а также использовать воздействие жидкости на полимерные пленки как «инструмент художника» следует

экспериментально установить изменение цвета полимерных пленок в поляризованном свете под воздействием органических растворителей.

Цель работы – исследование возможности варьирования цвета многослойных полимерных пленок в поляризованном свете и соединения слоев при конструировании витражей путем обработки поверхности пленок органическими растворителями.

2 Materials and methods

В качестве полимерного материала витражей и экранов для декоративной подсветки зданий использовали термоусадочную пленку поливинилхлорида толщиной 60 ± 3 мкм производства фирмы «Дон-Полимер» (Россия). В качестве поляризатора и анализатора использовалась поляризационная пленка NPF линейной поляризации компании NITTO DENKO (Япония).

В качестве растворителей поливинилхлорида использовали две органические жидкости: «а» – тетрагидрофуран (ЧДА); «б» – циклогексанон (ЧДА). Нанесение жидкости на внешние поверхности слоев собранных в пакет лент проводилось способом трафаретной печати полосы шириной 5 мм. После нанесения слоя органической жидкости – пакет пленок выдерживали в нормальных условиях для диффузии растворителей в полимер и частичного испарения. Оценку цвета пакета пленок проводили в проходящем поляризованном свете. Для этого укладывали его на просмотровый стол с приклеенной поляризованной пленкой на поверхности окна проходящего естественного света. Цвет пакета в проходящем свете фиксировался с помощью цифровой фотокамеры на смартфоне с цветовым профилем DisplayP3. Камера смартфона с поляризационной пленкой была расположена и закреплена под углом в 90° по отношению к оси поляризатора.

Для спектрофотометрических измерений использовали программное обеспечение, которое высчитывало цветовые координаты получившихся фрагментов фотографий в системе CIE L*a*b*. Изменение цвета при наложении нескольких слоев пленки и после воздействия жидкости оценивали по величинам цветового различия ΔE и контраста k смежных участков по формулам (1 и 2):

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (1)$$

$$k = \left| \frac{L_n^* - L_{n-1}^*}{L_{n-1}^*} \right| \quad (2)$$

где a^* и b^* – координаты в цветовом пространстве $L^*a^*b^*$.

L_1^* и L_2^* – светлота смежных участков пакета пленок в поляризованном свете, L_n – светлота участка пакета пленок из n слоев, L_{n-1} – светлота смежного участка пакета пленок из $n-1$ слоев, L_{nL} – светлота участка пакета пленок из n слоев после обработки жидкостью.

3 Results and discussions

Пакет плёнок поливинилхлорида в проходящем поляризованном свете представлен на рисунке 1. Контраст и характеристики цветового различия смежных участков многослойного пакета пленок (табл. 1) определены в системе координат цветового пространства $L^*a^*b^*$. Данные цветовых координат отдельных участков пакета пленок, получены с помощью программы Adobe Photoshop, с использованием цветового профиля DisplayP3.



Рисунок 1. Многослойная полимерная пленка поливинилхлорида в проходящем поляризованном свете (количество слоев возрастает слева направо от 1 до 8)

Видно, что максимум изменений цвета смежных участков многослойного пакета пленок, определяемый по величине контраста (субъективная оценка) и максимум изменений цвета смежных участков по величине $\Delta E_{(n \div n-1)}$ (объективная оценка) не совпадают. Контраст имеет наибольшее значение (**0,834**) при переходе от 4 слоя пленки к 5-му. Цветовое различие максимально (**130,6**) между 3-ым и 4-ым слоями. Глаз человека различает разность цветных оттенков при значениях ΔE более 4 [7].

N слоев	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta E_{(n \div n-1)}$	–	6,5	63,0	130,6	84,8	72,9	114,1	100,1
$ K_{(n \div n-1)} $	–	0,036	0,245	0,336	0,834	0,014	0,319	0,099

Таблица 1. Условные цветовые характеристики (CIE L*a*b*) и цветового различия смежных участков многослойного пакета пленки поливинилхлорида (рис. 1)

Для исследования влияния органических растворителей на цвет многослойных пленок поливинилхлорида собирали идентичные многослойные пакеты, на которые наносили слой жидкости с помощью полиграфической техники одним движением ракеля по трафаретной форме [8]. На фотографиях (рис.2), полученных в поляризованном свете видно, что обе органические жидкости существенно меняют цвет слоистого полимерного материала в проходящем поляризованном свете, что, по-видимому, обусловлено снижением уровня внутренних напряжений и перестройкой надмолекулярной структуры термоусадочных пленок поливинилхлорида [9].

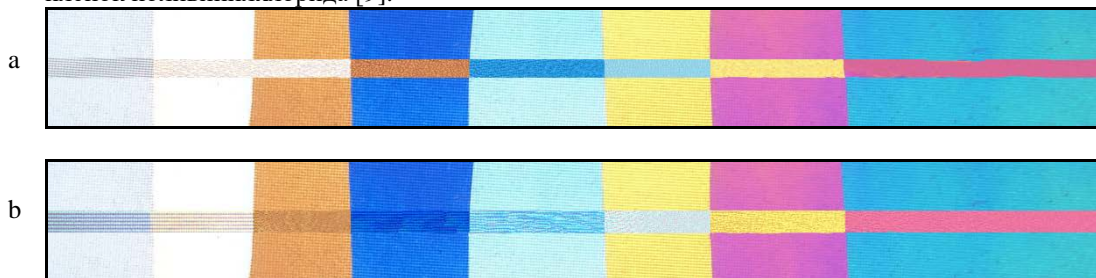


Рисунок 2. Вид пакета пленок поливинилхлорида в проходящем поляризованном свете после нанесения на внешний слой жидкости: а – тетрагидрофурана, б – циклогексана

По результатам измерения цветовых координат построена диаграмма скачкообразного изменения светлоты в пакете пленок L^* на смежных участках, на которые воздействовали органическими жидкостями (рис. 3). По диаграмме видно, что светлота пакетов после воздействия растворителя существенно изменяется и периодически достигает уровня светлоты необработанного жидкостью пакета пленки, но с иным числом слоев. После обработки тетрагидрофураном (синие точки) светлота пакета в 3-х слоях пленки совпадает со светлотой «сухого» пакета из 2-х пленок (красные точки). После обработки пакета пленок циклогексаном (зеленые точки) – нарушение периода чередования максимумов и минимумов светлоты наблюдается лишь в пакетах, собранных из 7 слоев.

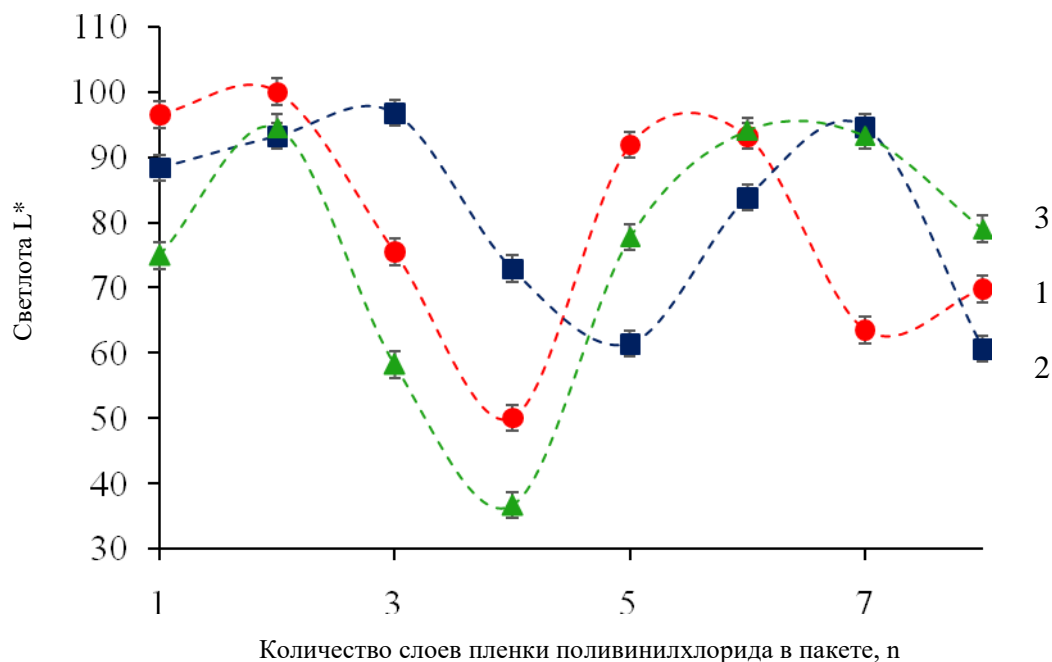


Рисунок 3. Светлота пакетов пленок с числом слоев от 1 до 8.1 – светлота пакетов пленок поливинилхлорида без обработки; 2 – тоже после обработки тетрагидрофураном; 3 – тоже после обработки циклогексаном

При визуальной оценке цвета пакета пленки поливинилхлорида подвергнутой обработке тетрагидрофураном внешних слоев (рис. 2а) можно заметить, что цвета обработанных участков с числом слоев более 3-х соответствуют цвету предыдущего участка с меньшим числом «сухих» слоев без обработки. Этот эффект «псевдопрозрачности» внешнего слоя для поляризованного света, возникающий после обработки растворителем представляет практический интерес для решения художественных задач при конструировании витражей и заслуживает инструментального исследования. Для количественной оценки цвета и «псевдопрозрачности» по фотографиям пакетов измерены координаты цвета полос и рассчитаны цветовые различия $\Delta E_{(n-n1)}$ между обработанными и необработанными участками пакета пленок с одинаковым числом слоев (табл. 2, рис 4) и между участком пакета с n слоев пленки обработанной тетрагидрофураном и предыдущим участком пакета ($n-1$) «сухих» слоев пленки поливинилхлорида (табл. 3).

Количество слоев, n	1	2	3	4	5	6	7	8
тетрагидрафуран	8.1	13.9	56.1	125.1	52.9	77.5	102.6	102.3
циклогексанон	27.5	17.8	22.7	20.3	24.1	63.0	120.2	103.3

Таблица 2. Цветовое различие ΔE между обработанным и необработанным жидкостями участками пакета пленок

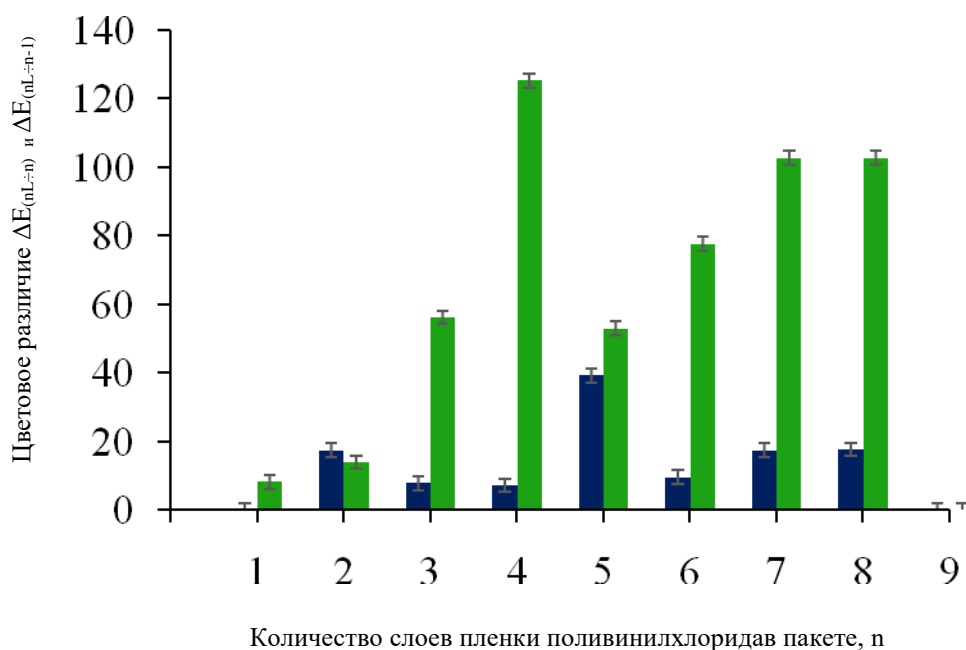


Рисунок 4. Цветовое различие участков пакета из n слоев пленки, обработанного и пакета из n слоев пленки необработанного тетрагидрофураном ($\Delta E_{(nL\div n)}$ - зеленые столбцы), а также цветовое различие пакета пленки из n слоев, обработанного и сухого пакета из n-1 слоев ($\Delta E_{(nL\div n-1)}$ - синие столбцы).

Сравнение результатов вычислений цветового различия представленных на рисунке 4 и в таблицах 2, 3 позволяет оценить диапазон изменений цвета, достигаемого нанесением жидкостей на внешний слой пакета пленок и эффект «псевдопрозрачности» внешнего слоя. «Псевдопрозрачность» 3-го и 4-го внешних слоев пакета пленки после нанесения тетрагидрофурана, определяемая величиной цветового различия со смежными участками из 2 и 3-х слоев – $\Delta E_{(nL\div n-1)}$ находится на уровне чувствительности глаз человека (≈ 7). А цветовое различие $\Delta E_{(nL\div n)}$ между обработанными необработанным тетрагидрофураном пакетами пленок на участке с 4 слоями на два порядка выше (≥ 125) и практически достигает максимального значения цветового различия смежных участков сухих многослойных пакетов пленки поливинилхлорида (табл. 1). Такой диапазон цветового различия является достаточным для воплощения в цвете различных художественных решений при конструировании витражей [10]. Для усиления эффекта воздействия жидкости на цвет пакетов полимерных пленок целесообразно применять химическую модификацию поверхности газообразными реагентами [11] для локального изменения ее структуры и лиофильности [12].

N слоев	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta E_{(nL\div n-1)}$	-	17,4	7,7	7,1	39,1	9,5	17,4	17,6

Таблица 3. Цветовое различие участков пакетов из n слоев после обработки тетрагидрофураном от цвета «сухих» пакетов с числом слоев n-1. Оценка «псевдопрозрачности» внешнего слоя пленки.

4 Conclusion

Обнаружен оптический эффект возникновения «псевдопрозрачности» внешнего слоя пакета пленок поливинилхлорида в поляризованном свете после обработки их поверхности органическими растворителями, позволяющий осуществлять в широких пределах варьирование цвета материала для витражей и окон подсветки строительных сооружений. Диапазон варьирования цвета материала достигает 125 единиц, что на 2 десятичных порядка превосходит чувствительность глаз человека. Идентичность или близость оттенков цвета многослойных пленок с различным количеством слоев, один из которых обработан органическим растворителем, расширяет возможности компьютерного моделирования витражей перед изготовлением с использованием клея и/или органической жидкости-растворителя поливинилхлорида и художественного оформления прозрачных элементов строительных конструкций.

References

1. Hideyuki Tanaka, Takeshi Yasuda, Katsuhiko Fujita, and Tetsuo Tsutsui // *Transparent Image Sensors Using an Organic Multilayer Photodiode*// *Adv. Mater.* 2006, № 18. P. 2230–2233
2. DomínguezRodés, M. del C., &CañellasMartínez, S. *Materials for stained glass windows in catalonian documentation (14th and 15th centuries)*/ *Journal of Cultural Heritage*, 9, e85–e88
3. A.P. Kondratov *New Materials for Light Strain-optical Panels*, *Light & Engineering Svetotekhnika* Vol. 22, No. 3, pp. 74-77, 2014
4. A.P. Kondratov, V.Yakubov, A.A. Volinsky, *Recording digital color information on transparent polyethylene films by thermal treatment* // *Applied Optics*, Vol. 58, No. 1, 2019 pp 172-176
5. A.A.Nikolaev, I.V.Nagornova, A.P.Kondratov, *Contactless monitoring method both carbon-chain thermoplastic thickness and microstructure inhomogeneity as applicable to the blown type extruders*// *Journal of Physics Conference Series* 1260: 032029 August 2019 with 19
6. A.P. Kondratov, A.A.Nikolaev, M.A. Kondratova., *The influence of solar radiation on the parameters of the polymer type test pattern, designed to adjust the optical aircraft equipment* // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. Volume 476
7. A. Hadzary. *What are the limits of human vision?* BBC Future/ *Ultimate limits*, *Biology*/ 27th July 2015
8. A.V. Lozitskaya, A.P.Kondratov, V.A. Baranov, E.P.Cherkasov. *Printed load cells on clothing made of fire-protective fabric*// *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Volume 714
9. L.G. Varepo, I.N. Ermakova, I.V. Nagornova, A.P. Kondratov, *Diagnostics of transparent polymer coatings of metal items*, *AIP Conference Proceedings* 1876, 020080 (2017); *American Institute of Physics*
10. Iman Ibrahim ElSayad. *Color and translucency of finished and unfinished esthetic restorative materials after staining and bleaching*. *The Saudi Dental Journal*/ Volume 30, Issue 3, July 2018, Pages 219-225
11. Nazarov V.G., Stolyarov V.P., Doronin F.A., Evdokimov A.G., Rytikov G.O., Brevnov P.N., Zabolotnov A.S., Novokshonova L.A., Berlin A.A. *Comparison of the Effects of Some Modification Methods on the Characteristics of Ultrahigh-Molecular-Weight Polyethylene and Composites on Its Basis* *Polymer Science - Series A*, 61(3), 2019, pp. 325-333
12. Nazarov V.G., Doronin F.A., Evdokimov A.G., Rytikov G.O., Stolyarov V.P. *Oxyfluorination-Controlled Variations in the Wettability of Polymer Film Surfaces* // *Colloid Journal*, 2019, Vol.81, No. 2, pp. 146–157