

УДК 628.921:628.925.2

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКРЫТИЙ ОКОННЫХ СТЕКОЛ ПО СВЕТОПРОПУСКАНИЮ

CLASSIFICATION OF COATINGS OF WINDOW GLASS ON LIGHT TRANSMISSION

Е.В. КОРКИНА, И.А. ШМАРОВ, В.Г. ГАГАРИН
E.V. KORKINA, I.A. SHMAROV, V.G. GAGARIN

(Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук)
(Research Institute of Construction Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences)
E-mail: elena.v.korkina@gmail.com; shmarovigor@yandex.ru; gagarinvg@yandex.ru

Рассмотрена методика определения спектрального пропускания электромагнитного излучения образцами стекол со специальными покрытиями, в том числе низкоэмиссионными. Показано, что исследованные покрытия пропускают ультрафиолетовое излучение и не препятствуют инсоляции. Проведена классификация покрытий по характеру светопропускания с учетом спектральной чувствительности глаза. Введено понятие показателя равномерности спектра, по которому проведена оценка исследованных покрытий и определены покрытия, пропускающие видимый свет наиболее равномерно для восприятия. Данный показатель может быть использован как характеристика покрытия при выборе остекления.

The method of determining the spectral transmittance of electromagnetic radiation with samples of glass panes with special coatings, including low-emissivity. It is shown that the studied coatings pass ultraviolet radiation and do not prevent of insolation. Performed classification of coatings according to the nature of light transmission taking into account the spectral sensitivity of the eye. Introduced the notion

of indicator of the uniformity of the spectrum, on which performed the evaluation of the investigated coatings and determined coating that transmits visible light most equally for the perception. This indicator can be used as coating characteristic for the selection of glazing.

Ключевые слова: низкоэмиссионные покрытия, показатель равномерности спектра, инсоляция, коэффициент светопропускания.

Keywords: low-emissivity coverage, an indicator of the uniformity of the spectrum, insolation, light transmission rate.

С целью энергосбережения в современных окнах используются стеклопакеты со стеклами, имеющими покрытия с низкоэмиссионными, солнцезащитными или мультифункциональными свойствами. Такие стекла применяются в стеклопакете в качестве наружного или внутреннего стекла, при этом покрытие обращено внутрь стеклопакета. В настоящее время имеется большой ассортимент выпускаемых стекол такого назначения. Применяемые покрытия обеспечивают энергосбережение, но снижают светопропускание остекления, что должно учитываться на этапе выбора заполнения светопроемов при проектировании помещений зданий [1], [2]. Исследованию светопропускания оконных стекол с энергосберегающими покрытиями посвящены работы [3...5]. Также представляет собой интерес спектральное пропускание света энергосберегающими покрытиями, так как естественное освещение полного спектра оказывает благоприятное воздействие на здоровье человека [6...8]. Однако отсутствуют подходы к систематизации исследований светопропускания покрытий, направленные на формирование базовых характеристик для практического выбора остекления. В связи с этим целью настоящей работы является формирование одной из таких характеристик, для чего были поставлены и решены задачи по определению спектрального пропускания света энергосберегающими покрытиями, оценке равномерности пропускания света и предложена их классификация.

Определение коэффициента светопропускания покрытия проводится в несколько шагов. Вначале измеряется спектральный коэффициент светопропускания образцов

стекол без покрытий и с покрытиями. В настоящей работе определение светопропускания стекол проводилось в НИИСФ РААСН с использованием спектрофотометра СФ-256 УВИ со специализированным программным обеспечением. В камеру спектрофотометра помещались образцы исследуемых стекол. Измерение спектрального коэффициента светопропускания проводили в диапазоне длин волн от 190 до 1100 нм с шагом 10 нм. Вывод результатов измерений осуществляли в специализированном программном обеспечении в виде графика и таблицы со значениями спектрального коэффициента светопропускания при соответствующих значениях длин волн.

Энергосберегающие покрытия представляют собой электропроводные слои, светопропускание которых описывается методами нелинейной оптики [3], [9]. Поэтому для практических целей можно ввести величину условного коэффициента светопропускания покрытия $\tau_{\text{усл}}$, рассмотренного в [5]. Данный коэффициент рассчитывается как частное от деления спектрального коэффициента светопропускания стекла с покрытием на соответствующий спектральный коэффициент стекла без покрытия:

$$\tau'_{\text{усл}}(\lambda) = \tau_{\text{СП}}(\lambda) / \tau_{\text{БП}}(\lambda). \quad (1)$$

С целью получения условных коэффициентов светопропускания покрытий были проведены измерения спектральных коэффициентов пропускания электромагнитного излучения в диапазоне длин волн 190...1100 нм образцов стекол с низкоэмис-

сионными покрытиями, мультифункциональными (то есть с низкоэмиссионными и солнцезащитными свойствами одновременно) твердыми и мягкими покрытиями и солнцезащитными покрытиями и стекол без покрытий. Для проведения измерений и расчетов были рассмотрены образцы стекол с покрытиями различного назначения,

представленные в табл. 1 (образцы стекол с энергосберегающими покрытиями). Образцы стекол без покрытий имели толщину, соответствующую толщине образцов стекол с покрытиями. Полученные данные были обработаны в соответствии с формулой (1).

Т а б л и ц а 1

Производство	Низкоэмиссионные		Мультифункциональные		Солнцезащитные
	твердые	мягкие	твердые	мягкие	
Pilkington	К - покрытие	Optitherm S3	Eclipse Advantage (EA), EA ever gray, EA ever green, EA arctic blue	Suncool 70/40	-
AGC	-	-	-	StopRAYNeo	-
Guardian	-	Climaguard N, Clima Guard Titan	-	ClimaGuardSolar	SunGuadrSolar Silver 20, Sun Guard Solar Silver 35/26

Данные по спектральному пропусканию электромагнитного излучения различными типами покрытий $\tau'_{\text{Пусл}}(\lambda)$ обрабатывали по методике [10] для получения интегрального условного коэффициента светопропускания покрытия по формуле:

$$\tau'_v = \frac{\sum_{\lambda=380\text{нм}}^{780\text{нм}} \tau'_{\text{Пусл}}(\lambda) D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380\text{нм}}^{780\text{нм}} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda}, \quad (2)$$

где D_{λ} – относительное спектральное распределение мощности стандартного источника света D_{65} ; $\tau'_{\text{Пусл}}(\lambda)$ – условный спектральный коэффициент пропускания покрытия; $V(\lambda)$ – спектральная эффективность освещения для дневного зрения, характеризующая стандартного наблюдателя для фотометрии; величина $D_{\lambda} V(\lambda)$ принимается в соответствии с [10]; $\Delta\lambda$ – интервал длин волн.

Как следует из формулы (1), условный коэффициент светопропускания τ'_v рассчитывается с учетом относительной спектральной чувствительности глаза. Таким образом, расчетное значение τ'_v адаптиро-

вано к восприятию света, прошедшего через остекление, стандартным наблюдателем.

При проектировании помещений важно обеспечить необходимую инсоляцию. Исследованию пропускания остеклением ультрафиолетового (УФ) излучения и его влиянию на соблюдение инсоляционного режима посвящена работа [11]. С целью определения доли электромагнитного излучения, пропускаемой покрытиями в УФ-А диапазоне от 315 до 380 нм, был рассчитан коэффициент пропускания УФ-А излучения покрытиями $\tau'_{\text{УФ-А}}$ по аналогии с расчетом коэффициента τ'_v . Согласно [10] коэффициент ультрафиолетового пропускания покрытия можно рассчитать по формуле:

$$\tau'_{\text{УФ-А}} = \frac{\sum_{\lambda=315\text{нм}}^{380\text{нм}} \tau'_{\text{Пусл}}(\lambda) S_{\lambda} \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=315\text{нм}}^{380\text{нм}} S_{\lambda} \Delta\lambda}, \quad (3)$$

где S_{λ} – относительное спектральное распределение УФ-А излучения, принимается в соответствии с [10].

По формуле (2) был проведен расчет условных интегральных коэффициентов

пропускания покрытий для каждого типа покрытия в видимом диапазоне τ'_v . Результаты вычислений τ'_v для рассматриваемых покрытий представлены в табл. 2. Как видно из полученных значений, покрытия понижают светопропускание остекления, значит их влиянием нельзя пренебрегать.

Т а б л и ц а 2

Покрытие	τ'_v	τ'_{UV-A}
Optitherm S3	0,96	0,41
Climaguard N	0,97	0,65
Clima Guard Titan	0,85	0,74
Eclipse Advantage	0,75	0,39
EA Ever green	0,56	0,10
EA Ever gray	0,36	0,10
EA Arctic blue	0,43	0,10
К -покрытие	0,92	0,64
Suncool 70/40	0,93	0,30
StopRAYNeo	0,74	0,26
ClimaGuardSolar	0,79	0,37
Sun GuardSolar Silver 35/26	0,44	0,47
SunGuadrSolar Silver 20	0,22	0,31

По формуле (3) был проведен расчет условного интегрального коэффициента пропускания покрытия в УФ-А диапазоне, результаты также представлены в табл. 2 (условные интегральные коэффициенты пропускания покрытий в видимом диапазоне τ'_v и в УФ-А диапазоне τ'_{UV-A}). Из представленных данных можно сделать вывод о том, что покрытия пропускают УФ-А излучение и тем самым способствуют инсоляции помещений.

Рассмотрим классификацию по форме распределения коэффициента светопропускания.

Следует предположить, что энергосберегающие покрытия, как и любой материал, имеют способность к различному пропусканию длин волн спектра видимого излучения. Поэтому для определения коэффициентов светопропускания по цветам спектра видимого излучения мы также воспользовались формулой (2), учитывающей спектральную чувствительность глаза стороннего наблюдателя. Полученные коэффициенты имеют следующие обозначения в соответствии с цветами спектра: фиолетовый τ'_{v-v} , синий τ'_{v-bl} , голубой τ'_{v-b2} , зеленый τ'_{v-g} , желтый τ'_{v-y} , оранжевый τ'_{v-o} , красный τ'_{v-r} . По полученным данным о спектральном пропускании света были составлены диаграммы и проведена классификация покрытий по форме распределения коэффициентов светопропускания по цветам спектра, что представлено на рис. 1...4 (рис. 1 – колоколообразная форма распределения коэффициентов светопропускания покрытий; рис. 2 – возрастающая форма; рис. 3 – ниспадающая форма; рис. 4 – смешанная форма).

На спектрах имеется максимум коэффициента пропускания света. В зависимости от того, при какой длине волны (для какого цвета) имеет место этот максимум, предлагается следующая классификация спектров по их виду: колоколообразная, возрастающая, ниспадающая, смешанная, что представлено в табл. 3 (классификация покрытий по форме распределения спектрального коэффициента светопропускания).

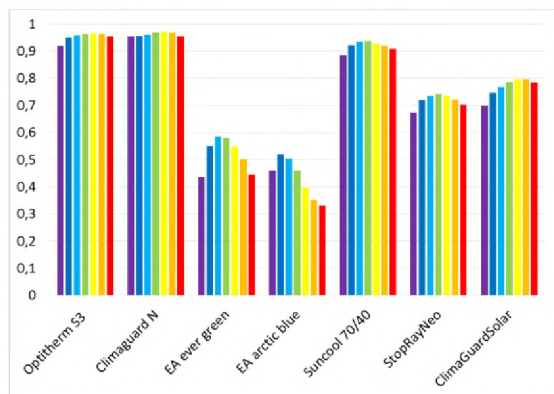


Рис. 1

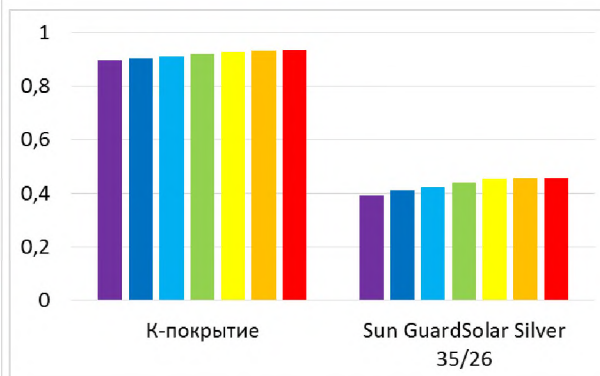


Рис. 2

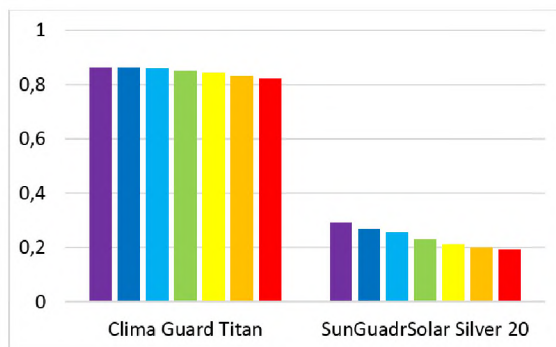


Рис. 3

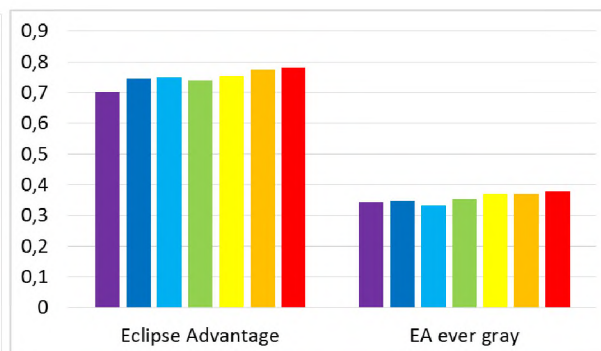


Рис. 4

Т а б л и ц а 4

Форма распределения	Колоколообразная	Смешанная	Возрастающая	Ниспадающая
Покрyтия	Optitherm S3, Climaguard N, Eclipse ever green, Eclipse arctic blue, Suncool 70/40, StopRAyNeo, ClimaGuardSolar	Eclipse edvantage, Eclipse ever gray	К – покрытие, Sun Guard Solar Silver 35/26	Clima Guard Titan, SunGuadrSolar Silver 20

Проанализируем равномерность распределения спектрального коэффициента светопропускания покрытий.

Как видно из диаграмм распределения с учетом спектральной чувствительности глаза (рис. 1...4), цвета спектра передаются покрытиями по-разному. С целью оценки равномерности их передачи было введено понятие показателя равномерности спектра, пропускаемого покрытием и восприни-

маемого сторонним наблюдателем, k_c , рассчитываемого как разность максимального и минимального коэффициентов передачи света различной длины волны покрытием: $k_c = \tau'_{v-max} - \tau'_{v-min}$. Спектральное распределение коэффициента светопропускания покрытия считается тем более равномерным для человеческого глаза, чем ближе значение показателя равномерности спектра к нулю $k_c \rightarrow 0$.

Т а б л и ц а 1

Покрyтие	Максимальный коэффициент пропускания τ'_{v-max} , цвет	Минимальный коэффициент пропускания τ'_{v-min} , цвет	Показатель равномерности спектра k_c
Optitherm S3	0,97 – желтый	0,92 – фиолетовый	0,05
Climaguard N	0,97 – желтый	0,95 – фиолетовый	0,02
Clima Guard Titan	0,86 – фиолетовый	0,82 – красный	0,04
Eclipse edvantage	0,78 – красный	0,70 – фиолетовый	0,08
Eclipse ever green	0,58 – зеленый	0,43 – фиолетовый	0,15
Eclipse ever gray	0,38 – красный	0,33 – голубой	0,05
Eclipse arctic blue	0,52 – синий	0,33 – красный	0,19
К - покрытие	0,93 – синий	0,90 – фиолетовый	0,04
Suncool 70/40	0,94 – зеленый	0,89 – фиолетовый	0,05
StopRayNeo	0,74 – зеленый	0,67 – фиолетовый	0,07
ClimaGuardSolar	0,80 – желтый	0,70 – фиолетовый	0,10
SunGuardSolar Silver 35/26	0,46 – оранжевый	0,39 – фиолетовый	0,07
SunGuadrSolar Silver 20	0,29 – фиолетовый	0,19 – красный	0,10

В табл. 4 приведены значения k_C , $\tau'_{v-\max}$, $\tau'_{v-\min}$ и соответствующие им длины волн цветов спектра, при которых достигаются максимальное и минимальное пропускание для рассматриваемых покрытий.

Оценив значение показателя k_C , можно сказать, что из рассмотренных покрытий наиболее равномерно для человеческого восприятия передают видимый свет низкоэмиссионные покрытия Climaguard N, Clima Guard Titan, К-покрытие, что также видно из диаграмм (рис. 1...4), соответственно. Из данных табл. 4 видно, что покрытия имеют максимум и минимум на различных участках спектра видимого света, что также может быть связано с их декоративным назначением (покрытия EA ever green, EA arctic blue).

ВЫВОДЫ

1. Проведена классификация покрытий по типу распределения их условного спектрального коэффициента светопропускания τ'_v , введено понятие коэффициента равномерности спектра k_C . Для рассмотренных покрытий рассчитаны значения показателя k_C и определены покрытия, обеспечивающие наиболее равномерное для человеческого восприятия спектральное распределение коэффициента светопропускания.

2. Предложенный показатель равномерности спектра k_C может быть использован как характеристика покрытия при подборе типа остекления, например, с декоративной целью при планировании интерьера помещения, для придания архитектурной выразительности фасаду здания [11], а также при медицинских исследованиях влияния спектрального состава света на психофизиологическое состояние людей.

3. На основе проведенных измерений и расчетов можно сделать вывод о том, что исследованные образцы стекол со специальными покрытиями пропускают ультрафиолетовое излучение, а значит не препятствуют инсоляции помещений.

1. Соловьев А.К. Оценка освещения помещений с применением теории светового поля. // Светотехника. – 2013, № 4. С. 66...68.

2. Коркина Е.В. Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам // Жилищное строительство. – 2015, № 6. С. 60...62.

3. Томилиная Е.А. Метод контроля и способы повышения светопропускания стекол оконных блоков: Дис. ...канд. техн. наук. – Новосибирск, 2004.

4. Mazilu M., Miller A., Donchev V.T. Modular method for calculation of transmission and reflection in multilayered structures // Applied Optics. – № 40, 2001. P. 6670...6676.

5. Гагарин В.Г., Коркина Е.В., Шмаров И.А., Пастушков П.П. Исследование влияния мультифункционального покрытия стекла на спектральное пропускание света // Строительство и реконструкция. – 2015, № 2 (58). С. 90...95.

6. Скобарева З.А., Текшеева Л.М. Биологические аспекты гигиенической оценки естественного и искусственного освещения // Светотехника. – 2003, № 4. С. 7.

7. Brainard G.C., Hanifin J.P., Greenson J.M., Byrne B., Glickman G., Gerner E., Rollag M.D. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor // The Journal of Neuroscience. – №21(16), 2001. P.6405...6412.

8. Thapan K., Arendt J., Skene D.J. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans // Journal Physiology. – №535, 2001. P. 261...267.

9. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973.

10. ГОСТ Р 54164–2010 (ИСО 9050:2003). Стекло и изделия из него. Методы определения оптических характеристик. – М.: Стандартинформ, 2010.

11. Куприянов В.Н., Халикова Ф.Р. Пропускание ультрафиолетовой радиации оконными стеклами при различных углах падения луча // Жилищное строительство. – 2012, № 6. С. 64...65.

12. Ауров В.В., Баушева М.Д., Щенетков Н.И. О световом образе высотного здания // Светотехника. – 2014, № 5. С. 60...64.

REFERENCES

1. Solov'ev A.K. Ocenka osveshhenija pomeschenij s primeneniem teorii svetovogo polja. // Svetotekhnika. – 2013, № 4. S. 66...68.

2. Korkina E.V. Kompleksnoe sravnenie okonnyh blokov po svetotekhnicheskim i teplotekhnicheskim parametram // Zhilishhnoe stroi-tel'stvo. – 2015, № 6. S. 60...62.

3. Tomilina E.A. Metod kontrolja i sposoby povyshenija svetopropuskanija stekol okonnyh blokov: Dis. ...kand. tehn. nauk. – Novosibirsk, 2004.

4. Mazilu M., Miller A., Donchev V.T. Modular method for calculation of transmission and reflection in multilayered structures // *Applied Optics*. – № 40, 2001. R. 6670...6676.
5. Gagarin V.G., Korkina E.V., Shmarov I.A., Pastushkov P.P. Issledovanie vlijanija mul'tifunkcional'nogo pokrytija stekla na spektral'noe propuskanie sveta // *Stroitel'stvo i rekonstrukcija*. – 2015, № 2 (58). S. 90...95.
6. Skobareva Z.A., Teksheva L.M. Biologicheskie aspekty gigienicheskoj ocenki estestvennogo i iskusstvennogo osveshhenija // *Svetotehnika*. – 2003, № 4. S. 7.
7. Brainard G.C., Hanifin J.P., Greeson J.M., Byrne B., Glickman G., Gerner E., Rollag M.D. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor // *The Journal of Neuroscience*. – №21(16), 2001. P.6405...6412.
8. Thapan K., Arendt J., Skene D.J. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans // *Journal Physiology*. – №535, 2001. P. 261...267.
9. Born M., Volf J. *Osnovy optiki*. – M.: Nauka, 1973.
10. GOST R 54164–2010 (ISO 9050:2003). *Steklo i izdelija iz nego. Metody opredelenija opticheskikh harakteristik*. – M.: Standartinform, 2010.
11. Kuprijanov V.N., Halikova F.R. Propuskanie ul'trafiol'etovoj radiacii okonnymi steklami pri razlichnyh uglah padenija lucha // *Zhilishhnoe stroitel'stvo*. – 2012, № 6. S. 64...65.
12. Aurov V.V., Bausheva M.D., Shhepetkov N.I. O svetovom obraze vysotnogo zdanija // *Svetotehnika*. – 2014, № 5. S. 60...64.

Рекомендована Ученым советом НИИСФ
РААСН . Поступила 03.04.17.