

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЛЕСКА НЕПРОЗРАЧНЫХ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДРЕВЕСИНЕ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Б.М. Рыбин^{1✉}, И.А. Завражнова¹, Д.Б. Рыбин²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²ООО «Тимберланд», 141805, Московская обл., Дмитровский р-н, рабочий Поселок Некрасовский, ул. Северная, д. 10

rybin@mgul.ac.ru

Существенной проблемой в производстве мебели является объективная оценка отражающих свойств поверхностей покрытий по блеску. На показания приборов оказывает влияние различные факторы: цвет, насыщенность, светлота поверхности, шероховатость исследуемой поверхности покрытия, показатель преломления цветного вещества и т. д. Проведенные расчеты показали незначительность коэффициентов поглощения и отражения видимого излучения для цветных веществ (для различных диапазонов длин волн — не более 10 %). Хотя при отражении света от поверхности цветного вещества наблюдается доминирующий диапазон длин волн видимого спектра излучения, характеризующий цвет, но энергетические характеристики его по отношению к отраженному потоку являются незначительными. Полный отраженный поток характеризует блеск покрытия, а доминирующий цветной поток — цвет вещества. Для цветных веществ невозможно использование показателя преломления в оптических расчетах. При поглощении и отражении видимого спектра излучения от цветных веществ наблюдается аномальная дисперсия (значения показателя преломления изменяются по различным зависимостям внутри полосы поглощения света и за ее пределами). Использование известных блескомеров для оценки блеска непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий требует совершенствования существующих методов или разработка новых, позволяющих решить многофакторную задачу влияния на блеск цвета, насыщенности, светлоты и шероховатости исследуемых поверхностей.

Ключевые слова: блеск непрозрачного цветного покрытия

Ссылка для цитирования: Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б. К вопросу определения блеска непрозрачных защитно-декоративных покрытий на древесине и древесных материалах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 5. С. 102–111. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-102-111

В настоящее время непрозрачные цветные покрытия широко используются в производстве мебели. Как правило, они являются защитно-декоративными на фасадных поверхностях изделий. Материалами для них выступают цветные пленки или жидкие лакокрасочные материалы на основе эмалей и красок. Разнообразие цветовых тонов таких покрытий позволяет создавать интересные поверхности изделий, сочетающиеся по цветовой гамме и улучшающие их внешний вид.

Оценка цвета покрытий не вызывает затруднений, для этого используются колориметры различного вида или атласы цветов. Существенную проблему составляет объективная оценка отражающих свойств по блеску поверхности, поскольку в состав таких покрытий входят полимеры в виде связующих веществ и вещества, несущие цветовые свойства покрытию. Для полимеров отражение света характеризуется френелевским отражением от исследуемой поверхности [1]. В качестве веществ, несущих цветовые свойства, в большинстве случаев используются пигменты и другие вещества, представляющие собой минеральные кристаллы, неорганические и органические

соединения. Отражение света от этих веществ имеет сложный характер. Цветовая составляющая отражения зависит от многих факторов, в том числе и от показателя преломления, который, в свою очередь, зависит от длины волны отражаемого света. Проявление цветности укладывается в представление квантовомеханической теории [2]. Фотоны, т. е. частицы характеризующие цвет, в потоке света взаимодействуют с электронами в молекуле вещества, возбуждают их и вызывают явление цвета. В простом веществе для появления цвета важно состояние электронов отдельных атомов, в кристаллах — пространственное расположение, химическая связь и изменяющееся при этом положение энергетических электронных уровней. В соединениях неорганических веществ важное значение имеет поляризация ионов, приводящая к ионному распределению электронной плотности по сравнению с состоянием электронной оболочки отдельных атомов. В органических молекулах основное значение имеет система связей, создающая «ансамбль» электронов, в котором особая роль отводится π -электронам.

Сложный характер взаимодействия падающего света с веществом, несущим цвет, не позволяет в настоящее время определить зависимость блеска

цветных покрытий от многофакторной системы его отражения. В мировой и отечественной практике отсутствуют методы объективной оценки блеска непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий на различных подложках. Оценка блеска таких покрытий осуществляется путем визуального сравнения контролируемой поверхности покрытия с поверхностью образца.

Цель работы

Цель работы — определение факторов, оказывающих влияние на блеск непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий на древесине и древесных материалах.

Материалы и методы

Для проведения испытаний в экспериментах были использованы непрозрачные цветные защитно-декоративные покрытия, различные по степени отражения света: высокоглянцевые, глянцевые и матовые. Цветовая гамма покрытий охватывала весь спектр видимого излучения.

За основу оценки блеска контролируемых поверхностей был взят метод определения степени отражения света по величине фототока, возбуждаемого в фотоприемнике под действием зеркально отраженных лучей от поверхности покрытия под определенным углом.

В качестве приборов использовались блескомер ФБ-2 и блескомер модели БФБМ-85/85 [1]. В условном обозначении последнего четыре цифры через разделительную черту указывают углы соответственно падения-отражения света, при которых проводится определение блеска. У блескомера ФБ-2 угол падения-отражения света составляет 45°.

Исследуемые защитно-декоративные покрытия различались между собой по степени отражения света за счет наблюдаемых на их поверхностях неровностей. Контроль неровностей по высоте осуществлялся по параметрам шероховатости с помощью профилометра модели 130 [1].

Цветовые характеристики покрытий по длине волны, насыщенности и светлоте определялись с помощью атласа цветов Е.Б. Рабкина [3]. Кроме того, белизна поверхности покрытий контролировалась по блескомеру ФБ-2, а для определения колориметрических характеристик отраженного света от контролируемых поверхностей покрытий использовался универсальный фотометр ФМ-56.

Результаты и обсуждение

Этот раздел статьи состоит из трех частей, в каждой из которых рассматривается конкретная задача. Первоначально дается теоретическое представление поглощения-отражения света от

цветных поверхностей. Затем рассматривается показатель преломления контролируемых цветных покрытий с позиций релятивистской механики. И в заключительной части приводятся результаты исследования некоторых факторов, оказывающих влияние на блеск непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий.

Энергетические характеристики поглощения и отражения видимого спектра электромагнитного излучения. Известно, что если энергия световых волн всей видимой части спектра одинаково поглощается или отражается, то вещество (поверхность) кажется белым или бесцветным. Если же вещество пропускает или отражает преимущественно лучи определенных длин волн, то оно становится окрашенным в тот или иной цвет в зависимости от длины волн излучения, дошедших до наших глаз. Цвет вещества, воспринимаемый, является дополнительным к тому цвету, который поглотило вещество [4].

Согласно соотношению Планка, энергия квантов излучения света, или фотонов, пропорциональна частоте колебаний [5]

$$E = h\nu, \quad (1)$$

где E — энергия излучения, Дж;

h — постоянная Планка ($6,6254 \cdot 10^{-34}$ Дж·с);

ν — частота излучения, c^{-1} .

Число квантов, составляющих 1 моль, равно числу Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$. Учитывая соотношение между частотой ν , длиной волны λ и скоростью света c , соотношение Планка можно записать в виде формулы

$$E = hcN_A/\lambda, \quad (2)$$

где c — скорость света ($3 \cdot 10^8$ м/с);

λ — длина волны излучения, нм.

После подстановки в выражение (2) значений всех известных перечисленных величин с учетом их единиц измерения, получаем формулу для расчета

$$E = 1,196 \cdot 10^8 \cdot 1/\lambda, \text{ Дж/моль.} \quad (3)$$

Спектр видимого электромагнитного излучения по длине волны от 380 нм (фиолетовая область) до 760 нм (красная область) состоит из отдельных цветов. Как правило, определенная цветовая область находится в интервале длин волн. Например, фиолетовый цвет находится в пределах от 380 до 435 нм, голубой — от 435 до 480 нм и т. д.

Для того, чтобы определить энергию электромагнитного излучения в любом диапазоне длин волн видимого спектра, следует решить интеграл [6] приведенной функции (3). После подстановки верхнего и нижнего предела интегрирования [7] функция (3) преобразуется в следующий вид

$$E = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} 1,196 \cdot 10^8 \frac{1}{\lambda} d\lambda =$$

$$= 1,196 \cdot 10^8 (\ln \lambda_{\max} - \ln \lambda_{\min}). \quad (4)$$

Если вещество способно поглощать только кванты определенной длины волны, то этим однозначно определяется цвет вещества. Поглощенный цвет как бы «вычитается» из общего белого луча, и видимый цвет будет дополнительным к поглощенному. Энергия белого цвета E_0 видимого электромагнитного излучения, вычисленная по формуле (4), при интегрировании зависимости в диапазоне длин волн 380...760 нм составляет 82882,8 кДж/моль. Воспользуемся данными [5] по диапазону длин волн видимого спектра излучения, характеризующему определенный цвет, а также данными [8], характеризующими поглощательную способность веществ в определенном диапазоне с возникновением отражательной цветовой характеристики. Интегрируя зависимость (4) в конкретной области спектра, можно рассчитать процентные характеристики для поглощения и отражения света определенного цвета вещества (табл. 1).

Энергия поглощенного цвета определяется для каждого диапазона длин волн. Например, для фиолетовой области в диапазоне длин волн от 380 до 435 нм энергия поглощенного цвета ($E_{\lambda_i}^n$) составила 16146,8 кДж/моль. При энергии белого луча $E_0 = 82882,8$ кДж/моль поглощение фиолетовых лучей составляет 19,48 %, т. е. 80,52 % лучей в этом случае отразится от поверхности вещества. Тогда $E_0 = 82882,8 - 16146,8 = 66736,0$ кДж/моль. В случае поглощения фиолетового цвета, поверхность вещества будет отражать лучи в доминирующей области длин волн от 560 до 580 нм, что соответствует желто-зеленой области видимого спектра электромагнитного излучения.

Для этой области по зависимости (4) можно рассчитать энергию отражения, которая составляет $E_{\lambda_i}^o = 4305,6$ кДж/моль. Зная энергию отраженного цвета желто-зеленой области, можно рассчитать отражение, которое составляет 6,45 %. Подобные вычисления были выполнены для приведенных в табл. 1 вариантов. Расчеты учитывают падающий и поглощенный свет веществом. Считаем, что рассматриваемые вещества обладают значительной толщиной и непрозрачностью. Падающий световой поток не проходит через толщу вещества.

В приведенном табличном примере рассматривается один из вариантов, который предусматривает поглощение зеленого цвета веществом при отражении им пурпурного. Этот цвет не является спектральным, а образуется при смешивании фиолетового и красного в разных пропорциях. Поскольку для пурпурного цвета нет своих значений

диапазона длин волн, его цветовой тон определяется длинами волн того цвета, который располагается на противоположном конце диаметра цветового круга, но со знаком минус. Так цветовой тон пурпурных цветов заключается в диапазоне длин волн от (-)493 до (-)567 нм [9], что соответствует зеленой области видимых лучей света.

Приведенные в табл. 1 данные позволяют сделать следующие выводы. Поглощение видимого электромагнитного излучения веществом в диапазоне различных длин волн имеет разные значения. Так, максимальное его значение 32,9 % приходится на красную область спектра, минимальные значения от 2,45 до 5,19 % относятся к оранжевой, зеленовато-голубой, желтой и желто-зеленой областям спектра. Значения поглощения в областях голубого, зеленого и фиолетового цветов соответственно составляют 14,14; 16,30 и 19,48 %. Приведенные значения поглощения позволяют говорить о значительном отражении падающих лучей видимого спектра электромагнитного излучения. Отражение света составляет более 67,1 %, что соответствует отражению при поглощении веществом красной области спектра. Максимальное его значение 97,55 % соответствует при поглощении веществом оранжевой области спектра.

Расчет энергии отраженного света для каждого диапазона длин волн показал, что максимальное значение отражения составляет 33,87 %. Это относится к диапазону длин волн при поглощении голубовато-зеленого и при отражении веществом красной области спектра.

Приведенные значения выполненных расчетов показывают, что падающие лучи видимого спектра излучения незначительно поглощаются веществом в доминирующем диапазоне длин волн. Но также незначительным в процентном отношении является и отражающая характеристика доминирующих длин волн, характеризующих цвет вещества. Отсюда наблюдается сложный процесс отражения света цветным веществом, заключающийся в том, что в отраженном спектре хотя и наблюдается доминирующая область видимых лучей, но также присутствуют в разных пропорциях все другие, за исключением поглощенных. Это, в свою очередь, оказывает влияние на цветовые характеристики поверхности вещества, а также на отражательную характеристику, связанную с блеском.

Показатель преломления вещества с позиций релятивистской механики. Явление отражения света от поверхностей, обладающих цветом, связано с дисперсией. Оно обусловлено зависимостью показателя преломления вещества от длины (или частоты) волны видимого спектра электромагнитного излучения. Для всех прозрачных веществ показатель преломления возрастает

**Энергия поглощения-отражения видимого электромагнитного излучения
в определенном диапазоне длин волн**

Absorption-reflection energy of visible electromagnetic radiation in a certain wavelength range

Цвет поглощения в диапазоне длин волн, нм	Энергия поглощенного цвета в данном диапазоне длин волн $E_{\lambda, \rho}^{\pi}$, кДж/моль	Поглощение данного диапазона длин волн $\frac{E_{\lambda_i}^{\pi}}{E_{\delta}^{\pi}} \cdot 100, \%$	Энергия отраженного света $E_o = E_{\delta}^{\pi} - E_{\lambda_i}^{\pi}$, кДж/моль	Цвет отражения в диапазоне длин волн, нм	Энергия отраженного цвета в данном диапазоне длин волн $E_{\lambda_i}^o$, кДж/моль	Отражение данного диапазона длин волн $\frac{E_{\lambda_i}^o}{E_o} \cdot 100, \%$
Фиолетовый 380...435	16146,8	19,48	66736,0	Желто-зеленый 560...580	4305,6	6,45
Голубой 435...480	11720,8	14,14	71162,0	Желтый 580...595	2990,0	4,20
Зеленовато-голубой 480...490	2511,6	3,03	80371,2	Оранжевый 595...605	2033,2	2,52
Голубовато-зеленый 490...500	2392,0	2,88	80490,8	Красный 605...760	27268,8	33,87
Зеленый 500...560	13514,8	16,30	69368,0	Пурпурный (-)493...(-)567	13514,8	19,48
Желто-зеленый 560...580	4305,6	5,19	78577,2	Фиолетовый 380...435	16146,8	20,54
Желтый 580...595	2990,0	3,60	79892,8	Голубой 435...480	11720,8	14,67
Оранжевый 595...605	2033,2	2,45	80849,6	Зеленовато-голубой 480...490	2511,6	3,10
Красный 605...760	27268,8	32,90	55614,0	Голубовато-зеленый 490...500	2392,0	4,30

с уменьшением длины волны. Такой характер дисперсии является нормальным [10] и описывается формулой Коши [11]

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4} + \dots, \quad (5)$$

где n — показатель преломления;

a, b, c — постоянные, которые для каждого вещества определяются экспериментально;

λ — длина волны света.

Использование показателя преломления как оптической характеристики цветного вещества для расчета интенсивности отражения видимого излучения от контролируемой поверхности по формулам Френеля является затруднительным [12]. Падающий световой поток видимого спектра излучения содержит в своем составе кванты света, различные по своим характеристикам и, в частности, по длине волны, скорости движения и массе. Кванты света — фотоны воздействуют на поверхностный слой вещества. В результате происходит обмен энергиями, которые приводят к явлениям поглощения — отражения света с возникновением у цветных веществ различных цветов. Обмен энергиями падающего светового потока с веществом поверхностного слоя происходит в результате изменения массы лучистого

потока по отдельным длинам волн. Изменяется наряду с этим скорость фотонов, приводящая к изменению оптических характеристик, и в частности показателя преломления.

Рассмотрим с позиций релятивистской механики факторы, оказывающие влияние на показатель преломления видимого спектра электромагнитного излучения.

Теоретическая Формула Эйнштейна [13], выражающая зависимость массы от скорости, имеет вид

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (6)$$

где m — масса движущейся частицы;

m_o — масса покоящейся частицы в системе координат, по отношению к которой она неподвижна;

v — скорость движущейся частицы;

c — скорость света.

Формулу (6) можно представить в виде

$$m = m_o \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

Используя [14] бином Ньютона для дробных и отрицательных показателей, формулу (7) можно привести к следующему виду, взяв после преобразований только три члена

$$m = m_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \frac{3}{8} \frac{v^4}{c^4} \right). \quad (8)$$

Согласно основным положениям современной физики, изменению энергии какой-либо системы соответствует изменение ее массы [13]. Преобразование формулы (8) дает возможность определить изменение массы Δm

$$\Delta m = m - m_0 = m_0 \frac{v^2}{2c^2} + m_0 \frac{3v^4}{8c^4}. \quad (9)$$

Используя формулы Планка и Эйнштейна [10], изменение энергии от изменения массы можно представить в виде следующей зависимости

$$\Delta m = \frac{\hbar \cdot \nu}{c^2}. \quad (10)$$

Объединяем формулы (9) и (10)

$$\frac{\hbar \nu}{c^2} = m_0 \frac{v^2}{2c^2} + m_0 \frac{3v^4}{8c^4}. \quad (11)$$

Выполнив соответствующие преобразования и подстановки $\nu = v/\lambda$ и $n = c/v$ (показатель преломления), зависимость (11) можно представить в виде

$$\frac{\hbar}{\lambda} = m_0 \frac{v}{2} \left(1 + 0,75 \frac{1}{n^2} \right). \quad (12)$$

Показатель преломления из формулы (12) определяется по выражению

$$n = 0,866 \sqrt{\frac{1}{\frac{2\hbar}{\lambda \nu m_0} - 1}}. \quad (13)$$

Из выражения (13), следует, что показатель преломления зависит от длины волны и импульса частицы ($m_0 \nu$), т. е. произведения массы частицы на скорость движения. Подкоренное выражение должно быть больше 1,154, поскольку показатель преломления больше 1,0.

Если $\frac{2\hbar}{\lambda \nu m_0} > 1$, то $2\hbar > \lambda \nu m_0$. Отсюда из формулы (13) следует, что с увеличением длины волны уменьшается значение дроби $\frac{2\hbar}{\lambda \nu m_0}$.

При этом увеличивается значение подкоренного выражения и вместе с этим увеличивается значение показателя преломления. И наоборот, с уменьшением значения длины волны значение показателя преломления уменьшается. Как было отмечено выше, изменение показателя преломления в зависимости от длины волны приводит

к аномальной дисперсии видимого спектра электромагнитного излучения, что не подтверждает формулу Коши (5).

Аномальная дисперсия может возникать в спектральных областях, соответствующих полосам поглощения вещества. Внутри полос поглощения значение показателя преломления увеличивается с ростом длины волны света. В коротковолновой части полосы поглощения значение показателя преломления обычно уменьшается с увеличением длины волны света. Однако это уменьшение происходит значительно быстрее, чем вне полосы [8]. Некоторое количество света спектрального состава, соответствующего полосе поглощения, распространяется по веществу. В классической теории полного поглощения такой свет по веществу распространяться не может, и в этой области нельзя измерить величину показателя преломления. В длинноволновой части полосы поглощения величина показателя преломления имеет большее значение, чем в коротковолновой, но уменьшается с увеличением длины волны. Таким образом, на краях полосы поглощения дисперсия является нормальной, а в середине полосы поглощения зависимость изменяет свой ход.

Отсюда использование показателя преломления как оптической характеристики цветных веществ в расчетах по определению интенсивности поглощения-отражения света видимого спектра электромагнитного излучения не представляется возможным.

Исследование некоторых факторов, влияющих на блеск непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий. В исследованиях использованы 50 различных образцов цветных защитно-декоративных покрытий. Цветовые характеристики для них были определены с помощью атласа цветов Е.Б. Рабкина. Данные значений некоторых образцов по длине волны, насыщенности и светлоте приведены в табл. 2.

Практически образцы в целом представляют по длине волны все цвета видимого спектра в диапазоне от 700 нм (область красного цвета) до 476 нм (область голубого цвета). Подтверждением цветовых характеристик для всех образцов по атласу цветов являются показатели отражения света по фотометру ФМ-56, определенные для длин волн 639 нм (красная область), 550 нм (зеленая область) и 478 нм (синяя область). Полученные значения по фотометру ФМ-56 согласуются с характеристикой образцов по длине волны отражения света, полученные по атласу цветов. Так, образец «Бордо» по атласу цветов отражает цвет с длиной волны 700 нм. Показатель отражения по фотометру ФМ-56 для красного цвета ($\lambda = 639$ нм) составляет 64,8 %, что говорит о доминирующей длине волны отражения света

Отражательные характеристики цветных непрозрачных защитно-декоративных покрытий

Reflective characteristics of colored opaque protective and decorative coatings

Образец покрытия (условное наименование)	Шероховатость поверхности по параметру R_a , мкм	Показатели цвета по атласу Е.Б. Рабкина			Показатели отражения света по фотометру ФМ-56 разных длин волн, %			Показатели по блескомеру ФБ-2, усл. ед.		Блеск по БФБМ 85/85, усл. ед.
		Длина волны, нм	Насыщенность, %	Светлота, %	639 нм	550 нм	478 нм	Блеск	Белизна	
Бордо	0,035	700	15	11	64,8	13,5	21,7	55	11	60
Красный Soft touch	0,199	650	38	17	79,7	7,2	13,1	4	43	3
Тирольский бук	0,387	614	8	9	44	24	32	11	9	18
Вишня авиола	0,041	600	50	18,5	65,6	21,8	12,9	58	11	59
Антик	0,662	594	33	23,5	58,4	24,5	17,1	10	32	17
Беленый дуб	0,352	589	16	48,5	36,7	32,9	30,4	6	75	2
Лимон NEW	0,179	574	35	32,5	35,8	33,7	30,5	16	46	23
Зеленый чай	0,013	553	20	47	2,9	63,8	33,3	65	60	61
Олива NEW	2,18	547	65	9	36	42,4	21,6	9	13	4
Полынь	0,093	545	32	39,5	24,1	38,7	37,2	10	65	15
Дуб беленый NEW	0,194	485	1,0	12,5	34,3	33,1	33,6	6	48	8
Бирюза	0,090	476	7,5	15	13,5	24,6	61,9	10	12	19

от поверхности этого образца, представляющей красную область видимого излучения. Показатели отражения для этого образца на длинах волн 550 и 478 нм соответственно составили 13,5 и 21,7 %, т. е. наряду с красным цветом отраженный световой поток содержит в некотором количестве зеленый и синий цвета. Это подтверждается ранее полученными значениями данных при рассмотрении энергетических характеристик при поглощении-отражении света от поверхностей цветных веществ (см. табл. 1).

Из 12 образцов, представленных в табл. 2, только на трех данные по фотометру ФМ-56 не подтверждают значения доминирующих длин волн, полученных по атласу цветов. Эти образцы имеют цвета, отнесенные к желтой, желто-зеленой и голубовато-зеленой областям видимого спектра излучения. Для них по фотометру ФМ-56 показатели отражения имеют практически одинаковые значения для красной, зеленой и синей областей спектра. Это связано с тем, что энергетическая отражательная характеристика в области длин волн желтого, желто-зеленого и голубовато-зеленого цвета незначительна и соответственно составляет 4,20; 6,45 и 4,30 % (см. табл. 1). Отраженный свет от поверхности этих образцов составляет более 90 % и представляет набор лучей других длин волн помимо доминирующих по цвету. Можно предположить, что оптическое перемешивание их со светом доминирующей длины волны изменяет насыщенность цвета и светлоту. Это характерно также для областей ви-

димого излучения оранжевого и зеленовато-голубого, где отражательная характеристика в области этих длин волн соответственно составляет 2,52 и 3,10 % (см. табл. 1).

Показатели светлоты поверхности исследуемых образцов, полученные по атласу цветов, хорошо согласуются со значениями белизны поверхности, определенные по блескомеру ФБ-2 (рис. 1).

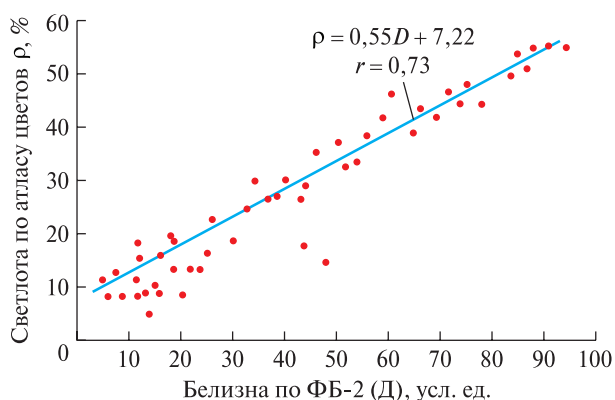


Рис. 1. Зависимость светлоты защитно-декоративного цветного покрытия от белизны поверхности

Fig. 1. Dependence of the lightness of the protective and decorative color coating on the whiteness of the surface

Показатели белизны по блескомеру ФБ-2 и светлоты по атласу цветов характеризуют собственно коэффициент отражения падающих лучей света от исследуемой поверхности покрытия [16–21]. Отсюда между этими показателями наблюдается тесная связь в виде прямолинейной

зависимости со значимым коэффициентом корреляции $r = 0,73$, определенным с использованием методик, изложенных в работах [21–23]. На рис. 1 приведены также значения светлоты-белизны в декартовой системе координат для 50 образцов цветных покрытий. Приведенные точки значений характеризуют минимальный разброс данных. Зависимость в виде прямой линии между светлотой и белизной исследуемой поверхности покрытия облегчает дальнейшее использование этих показателей для характеристики цветных покрытий. Зная один из этих показателей, другой можно всегда определить вычислением по формуле

$$\rho = 0,55 D + 7,22, \quad (14)$$

где ρ — светлота покрытия по атласу цветов, %;
 D — белизна покрытия по ФБ-2, усл. ед.

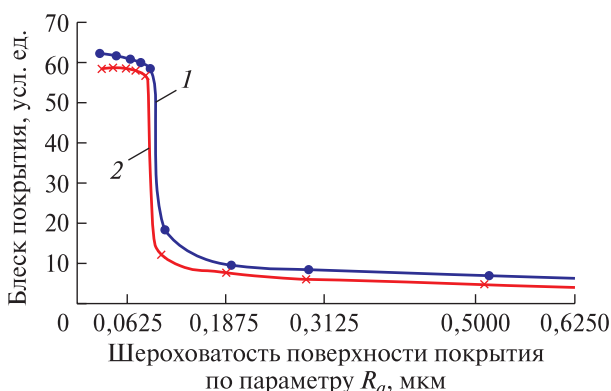


Рис. 2. Зависимость блеска цветного защитно-декоративного покрытия от шероховатости поверхности: 1 — БФБМ 85/85; 2 — ФБ-2

Fig. 2. Dependence of the gloss of a colored protective and decorative coating on the surface roughness: 1 — BFBM 85/85; 2 — FB-2

Блеск исследуемых цветных защитно-декоративных покрытий зависит от многих факторов. Одним из них является шероховатость поверхности [23, 24]. На рис. 2 приведены зависимости блеска цветных защитно-декоративных покрытий от шероховатости поверхности. Шероховатость поверхности контролировалась по параметру R_a . Для этого использовался профилометр модели 130. Блеск покрытий определялся по блескомерам БФБМ 85/85 и ФБ-2. Блескомеры для исследования выбраны не случайно. В настоящее время они используются для определения блеска прозрачных защитно-декоративных покрытий. Углы, под которыми происходит контроль блеска, дают возможность определять отражательную способность исследуемых покрытий при различных коэффициентах отражения света. Так, блескомер ФБ-2 определяет блеск под углом 45° . Коэффициент отражения света, по Френелю [10], при этом угле составляет не более 6 %. Блескомер БФБМ 85/85 определяет блеск под углом 85° .

Коэффициент отражения покрытий под этим углом составляет более 60 %.

Представленные на рис. 2 графики изменения блеска покрытий по блескомерам в зависимости от шероховатости поверхности имеют сходный характер. С увеличением шероховатости поверхности уменьшаются значения блеска по приборам. На рис. 2 линии графиков проходят через диапазоны значений высокоглянцевых (ВГ), глянцевых (ГЛ) и матовых (М) покрытий. Доказано [1, 25], что на ВГ покрытиях высота неровностей, определяемая по параметру шероховатости R_a , должна находиться в диапазоне значений (мкм) $0 \leq R_a \leq 0,0625$. Для глянцевых — $0,0625 \leq R_a \leq 0,3750$ и матовых — $R_a > 0,3750$ мкм.

Приведенные линии графиков для различных блескомеров имеют практически сходный характер изменения блеска покрытий в зависимости от шероховатости исследуемой поверхности. Это наблюдается во всех диапазонах шероховатости поверхности покрытий, что вызывает некоторое сомнение. При значении более 0,0625 мкм, соответствующем высокоглянцевым покрытиям [23], высота неровностей сравнима с половиной длины волны видимого спектра излучения. Блеск покрытий в этом диапазоне неровностей должен незначительно изменяться в пределах значений 59...62 усл. ед. по блескомерам [1], что и показывают графики для диапазона высокоглянцевых покрытий (см. рис. 2). В диапазоне значений глянцевых и матовых покрытий характер поведения графиков должен различаться. Блескомер ФБ-2 определяет блеск покрытия при малом значении коэффициента отражения света. На его показания значительное влияние оказывает диффузная составляющая отражения, характеризующая увеличение шероховатости поверхности покрытия. Отсюда характер изменения блеска покрытий при увеличении шероховатости для этого блескомера будет соответствовать результатам, приведенным на рис. 2.

Блескомер БФБМ 85/85 определяет блеск покрытия при значении коэффициента отражения света примерно 60 %. Диффузная составляющая при углах 85° незначительна по сравнению с зеркальной составляющей, характеризующей блеск покрытия. Значения блеска при использовании этого блескомера также будут уменьшаться с увеличением шероховатости в области глянцевых и матовых покрытий. Как показывает практика [1], блеск уменьшается в пределах 10...15 % по сравнению со значениями блеска высокоглянцевых покрытий. На рис. 2 график показывает значительное уменьшение показаний блеска при увеличении шероховатости поверхности покрытий, что не соответствует практике ранее выполненных исследований и требует дальнейшего

рассмотрения отражения света от цветных покрытий с использованием этого блескомера.

Проведенный анализ полученных результатов использования блескомера ФБ-2 и БФБМ 85/85 показал, что в настоящее время методики применения этих блескомеров недостаточно изучены для определения на их основе блеска непрозрачных, цветных защитно-декоративных покрытий. Предполагаемыми факторами, влияющими на их показания при определении блеска, являются изменяющиеся показатели цвета, насыщенности и светлоты, а также показатель преломления вещества покрытий и шероховатость исследуемой поверхности. Следует провести эксперименты по выявлению зависимостей блеска от этих факторов как по отдельности, так и при совокупном их изменении, что и будет являться основой дальнейших исследований.

Выводы

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике отсутствуют объективные методы оценки блеска непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий. Свет, отраженный поверхностью цветного покрытия в определенном диапазоне длин волн, является дополнительным к поглощенному веществом. При определенной длине волны поглощенного цвета становится известен цвет вещества. Процент отражения цвета в определенном диапазоне длин волн для непрозрачных цветных покрытий составляет от 2,5 до 33 %.

Сложный процесс отражения света цветным веществом заключается в том, что в отраженном спектре хотя и наблюдается доминирующая область видимых лучей, определяющая цвет вещества, но также присутствуют в разных пропорциях все другие, за исключением поглощенных.

Показатель преломления цветных веществ зависит от многих факторов. Доказано, что изменение показателя преломления от длины волны видимого спектра излучения приводит к аномальной дисперсии. Это затрудняет использование показателя преломления как существенного фактора, влияющего на блеск непрозрачных цветных покрытий.

Использование известных блескомеров для оценки блеска непрозрачных цветных защитно-декоративных покрытий требует разработки более детальных методик.

Список литературы

[1] Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б. К вопросу стандартизации метода определения блеска прозрачных лаковых покрытий на древесине и древесных материалах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. № 2. С. 57–67.

[2] Ландсберг Г.С. Общий курс физики. Т. 3. Оптика. М.—Л.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1941. 559 с.

[3] Рабкин Е.Б. Атлас цветов. М.: Государственное издательство медицинской литературы. М.: Медгиз, 1956. 52 с.

[4] Фадеев Г.Н. Химия и цвет: кн. для внеклассного чтения. М.: Просвещение, 1983. 160 с.

[5] Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1972. 256 с.

[6] Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1986. 544 с.

[7] Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: Наука, 1973. 872 с.

[8] Брилл Т. Свет: воздействие на произведения искусства. М.: Мир, 1983. 307 с.

[9] Международный светотехнический словарь. М.: Русский язык, 1979. 278 с.

[10] Борн М., Вульф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 719 с.

[11] Аненко М.И., Араев В.А., Афанасьев В.А. Оптические приборы в машиностроении. Справочник. М.: Машиностроение, 1974. 238 с.

[12] Топорец А.С. Фотометрический метод определения средней высоты микронеровностей шероховатой поверхности // Оптико-механическая промышленность, 1969. № 6. С. 60–64.

[13] Элементарный учебник физики / под ред. Г.С. Ландсберга. Т. 3. Колебания, волны. Оптика. Строение атома. М.: Наука, 1975. 640 с.

[14] Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике. Издание двадцать третье. М.: Наука, 1975. 416 с.

[15] Мельников Ю.Ф. Светотехнические материалы. М.: Высшая школа, 1976. 151 с.

[16] Долгополов В.И. Светотехнические материалы. М.: Энергия, 1972. 168 с.

[17] Миннарт М. Свет и цвет в природе. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. 424 с.

[18] Шаронов В.В. Свет и цвет. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. 311 с.

[19] Фриллинг Г., Ауэр К. Человек — цвет — пространство. М.: Стройиздат, 1973. 141 с.

[20] Рыбин Б.М. Исследование влияния светлоты подложки на показания прибора ФБ-2 при оценке блеска зеркальных лаковых покрытий // Научные труды МЛТИ, 1981. Вып. 140. С. 39–42.

[21] Пижурин А.А. Современные методы исследования технологических процессов в деревообработке. М.: Лесная пром-сть, 1972. 248 с.

[22] Леонтьев Н.А. Техника статистических вычислений. М.: Лесная пром-сть, 1966. 250 с.

[23] Рыбин Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. М.: МГУЛ, 2003. 568 с.

[24] Рыбин Б.М. Оценка блеска прозрачных лаковых покрытий // ИВУЗ Лесной журнал, 1990. № 6. С. 53–58.

[25] Завражнова И.А. Метод оценки и разработка нормативов блеска защитно-декоративных покрытий на древесине и древесных материалах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Москва, 2016. 21 с.

Сведения об авторах

Рыбин Борис Матвеевич✉ — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), rybin@mgul.ac.ru

Завражнова Ирина Анатольевна — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zavrazhnova@mgul.ac.ru

Рыбин Дмитрий Борисович — технолог ООО «Тимберланд», wood@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.03.2022.

Одобрено после рецензирования 11.07.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

DETERMINING GLOSS OF OPAQUE PROTECTIVE AND DECORATIVE COATINGS ON WOOD AND WOOD-BASED MATERIALS

B.M. Rybin¹✉, I.A. Zavrazhnova¹, D.B. Rybin²

¹BMSTU (Mytishchi Branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²Timberland LLC, 10, Severnaya st., 141805, Dmitrovsky District, working village Nekrasovsky, Moscow reg., Russia

rybin@mgul.ac.ru

A significant problem in the production of furniture is an objective assessment of the reflective properties of coating surfaces by gloss. Instrument readings are influenced by various factors such as color, saturation, lightness of the surface, roughness of the coating surface under study, the refractive index of a colored substance, etc. The calculations showed that the coefficients of absorption and reflection of visible radiation for colored substances are insignificant over 10 %. Although when light is reflected from the surface of a colored substance, the dominant wavelength range of the visible radiation spectrum is observed, which characterizes color, but its energy characteristics in relation to the reflected flux are insignificant. The total reflected flux characterizes the gloss of the coating, and the dominant color flux characterizes the color of the substance. For colored substances, it is not possible to use the refractive index in optical calculations. When absorbing and reflecting the visible spectrum of radiation from colored substances, anomalous dispersion is observed (the values of the refractive index change according to various dependencies inside the light absorption band and beyond it). The use of known gloss meters for assessing the gloss of opaque colored protective and decorative coatings requires the improvement of existing methods or the development of new ones that allow solving the multifactorial problem of influencing the gloss of color, saturation, lightness and roughness of the studied surfaces.

Keywords: gloss of opaque color coating


Suggested citation: Rybin B.M., Zavrazhnova I.A., Rybin D.B. *K voprosu opredeleniya bleska neprozrachnykh zaschitno-dekorativnykh pokrytyy na drevesine i drevesnykh materialakh* [Determining gloss of opaque protective and decorative coatings on wood and wood-based materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 5, pp. 102–111. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-102-111

References

- [1] Rybin B.M., Zavrazhnova I.A., Rybin D.B. *K voprosu standartizatsii metoda opredeleniya bleska prozrachnykh lakovykh pokrytyy na drevesine i drevesnykh materialakh* [Method standardization for determining gloss of transparent lacquered coatings on wood and wood materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, no. 2, pp. 57–67.
- [2] Landsberg G.S. *Obshchiy kurs fiziki. T. 3. Optika* [General course of physics. Vol. 3. Optics]. Moscow–Leningrad: State Publishing House of Technical and Theoretical Literature, 1941, 559 p.
- [3] Rabkin E.B. *Atlas tsvetov* [Atlas of flowers]. Moscow: State publishing house of medical literature Medgiz, 1956, 52 p.
- [4] Fadeyev G.N. *Khimiya i tsvet: kn. dlya vneklassnogo chteniya* [Chemistry and color: book for extracurricular reading]. Moscow: Prosveshcheniye, 1983, 160 p.
- [5] Koshkin N.I., Shirkevich M.G. *Spravochnik po elementarnoy fizike*. [Handbook of elementary physics]. Moscow: Science, 1972, 256 p.
- [6] Bronshteyn I.N., Semendiyayev K.A. *Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vtuzov* [Handbook of mathematics for engineers and students of higher educational institutions]. Moscow: Science, 1986, 544 p.
- [7] Vygodskiy M.YA. *Spravochnik po vyshey matematike* [Handbook of higher mathematics. Tenth edition, stereotypical]. Moscow: Science, 1973, 872 p.
- [8] Brill T. *Svet: vozdeystviye na proizvedeniya iskusstva* [Light: the impact on works of art. trans. from English.]. Moscow: Mir, 1983, 307 p.
- [9] *Mezhdunarodnyy svetotekhnicheskii slovar'* [International Lighting Dictionary]. Moscow: Russian language, 1979, 278 p.
- [10] Born M., Vul'f E. *Osnovy optiki* [Fundamentals of optics]. Moscow: Science, 1973, 719 p.
- [11] Anenko M.I., Arayev V.A., Afanas'yev V.A. *Opticheskiye pribory v mashinostroyeni. Spravochnik* [Optical devices in mechanical engineering. Directory]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1974, 238 p.

- [12] Toporets A.S. *Fotometricheskiiy metod opredeleniya sredney vysoty mikronerovnostey sherokhovatoy poverkhnosti* [Photometric method for determining the average height of microroughness of a rough surface]. Moscow: Optical-mechanical industry, 1969, no. 6, pp. 60–64.
- [13] *Elementarnyy uchebnyk fiziki. T. 3. Kolebaniya, volny. Optika. Stroyeniye atoma* [Elementary textbook of physics. Vol. 3. Fluctuations, waves. Optics. The structure of the atom] Ed. G.S. Landsberg. Moscow: Science, 1975, 640 p.
- [14] Vygodskiy M.YA. *Spravochnik po elementarnoy matematike* [Handbook of elementary mathematics]. Moscow: Science, 1975, 416 p.
- [15] Mel'nikov YU.F. *Svetotekhnicheskiye materialy* [Lighting materials]. Moscow: Higher School Publishing House, 1976, 151 p.
- [16] Dolgopopolov V.I. *Svetotekhnicheskiye materialy* [Lighting materials]. Moscow: Energiya, 1972, 168 p.
- [17] Minnart M. *Svet i tsvet v prirod* [Light and color in nature]. Moscow: State publishing house of physical and mathematical literature, 1959, 424 p.
- [18] Sharonov V.V. *Svet i tsvet* [Light and color]. Moscow: State publishing house of physical and mathematical literature, 1961, 311 p.
- [19] Frilling G., Auer K. *Chelovek — tsvet — prostranstvo* [Man — Color — Space]. Moscow: Stroyizdat, 1973, 141 p.
- [20] Rybin B.M. *Issledovaniye vliyaniya svetloty podlozhki na pokazaniya pribora FB-2 pri otsenke bleska zerkal'nykh lakovykh pokrytiy* [Investigation of the influence of the lightness of the substrate on the readings of the FB-2 device when evaluating the gloss of mirror varnish coatings]. Nauch. tr. MLTI [MLTI Sci. Conf.], 1981, v. 140, pp. 39–42.
- [21] Pizhurin A.A. *Sovremennyye metody issledovaniya tekhnologicheskikh protsessov v derevoobrabotke* [Modern methods of research of technological processes in woodworking]. Moscow: Timber industry, 1972, 248 p.
- [22] Leont'yev N.A. *Tekhnika statisticheskikh vychisleniy* [Technique of statistical calculations]. Moscow: Timber industry, 1966, 250 p.
- [23] Rybin B.M. *Tekhnologiya i oborudovaniye zashchitno-dekorativnykh pokrytiy drevesiny i drevesnykh materialov* [Technology and equipment for protective and decorative coatings of wood and wood materials]. Moscow: MGUL, 2003, 568 p.
- [24] Rybin B.M. *Otsenka bleska prozrachnykh lakovykh pokrytiy* [Evaluation of the gloss of transparent lacquer coatings]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 1990, no. 6, pp. 53–58.
- [25] Zavrazhnova I.A. *Metod otsenki i razrabotka normativov bleska zashchitno-dekorativnykh pokrytiy na drevesine i drevesnykh materialakh* [Evaluation method and development of gloss standards for protective and decorative coatings on wood and wood-based materials]. Dis. Cand. Sci. (Tech.) 05.21.05. Moscow, 2016, 21 p.

Authors' information

Rybin Boris Matveevich  — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), rybin@mgul.ac.ru

Zavrazhnova Irina Anatolievna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zavrazhnova@mgul.ac.ru

Rybin Dmitry Borisovich — Technologist of Timberland LLC, wood@yandex.ru

Received 01.03.2022.

Approved after review 11.07.2022.

Accepted for publication 15.08.2022.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest