

УДК 621.321

## **Критерии оценки источников света, способы их измерения и примеры решения частных задач выбора оптимальных источников света**

А.А. Шинов<sup>1</sup>, Л.Л. Попов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

### **Введение**

В данной работе рассматривается повсеместно актуальная задача выбора оптимального источника света. В общем смысле задача понимается как выбор одного оптимального источника из некоторого конечного набора искусственных источников света. Выбор происходит по определённому набору критериев, каждый из которых имеет свой весовой коэффициент в рамках какой-либо конкретной задачи. В зависимости от особенностей частных задач, весовые коэффициенты могут быть выбраны совершенно разными.

В работе приводятся различные критерии оценки источников света, способы их измерения и примеры решения задач выбора оптимального источника света при различных условиях использования.

Критерии были классифицированы по зависимости их значений от спектров источников света на спектрзависимые и спектрнезависимые.

Спектрзависимыми считаются такие критерии, значения которых можно получить, зная спектр излучения исследуемого источника. Остальные критерии считаются спектрнезависимыми.

К спектрзависимым критериям были отнесены: цветопередача [1], комфортность, биологическая активность [2] излучения. К спектрнезависимым: затраты и трудозатраты [3].

Для исследования были измерены спектры 18 ламп различных типов. Вычисления значений критериев проводились на языках программирования C++ и C#. Выбор оптимального источника из имеющихся проводился с использованием языка программирования Python [4].

### **Критерий комфортности**

Человеческое восприятие наиболее чувствительно к жёлто-зелёному участку спектра. Это согласуется с функцией спектра естественного дневного солнечного света (рис. 1).

$$K_k = \frac{\int_{500}^{590} I(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{740} I(\lambda) d\lambda + \int_{590}^{740} I(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

Поэтому критерий комфортности в данной работе определялся как отношение площади комфортной области (жёлто-зелёный участок спектра) к остальной области в пределах видимого участка спектра.

Вычисления значений критерия комфортности проводились по формуле (1) (здесь и далее в работе под  $I$  подразумевается интенсивность излучения).

### **Критерий цветопередачи**

Критерий цветопередачи принято оценивать по международной шкале CRI (Color Rendering Index), однако такая оценка не точна (делается лишь 8 точечных оценок).

Кроме того, существует шкала CQS (Color Quality Scale), разрабатываемая американским институтом NIST (Государственный институт стандартов и технологий), но эта шкала действительно работает лишь для оценки светодиодов, а цветовоспроизведение высокотемпературных ламп и ламп накаливания оценивает необъективно.

В данной работе исследуются спектры излучения источников света и сравниваются со спектром естественного солнечного освещения.

$$K_c = \sqrt{\int_{380}^{740} \left( \frac{\int_{380}^{740} \frac{I(\lambda)}{\int_{380}^{740} I(\lambda) d\lambda} - \frac{I_{solar}(\lambda)}{\int_{380}^{740} I_{solar}(\lambda) d\lambda} \right)^2 d\lambda} \quad (2)$$

А значения критерия цветопередачи вычислялись по формуле (2).

### **Критерий биологической активности**

В 2002 году была открыта функция  $c(\lambda)$  спектральной чувствительности нового типа рецепторов человеческого глаза, не затрагивающих зрительные процессы [5,2]. Пиковое значение этой функции приходится на длину волны 450 нм (рис. 2).

С 2009 года дискретные значения  $c(\lambda)$  с шагом 5 нм стандартизованы DIN (Deutsches Institut für Normung – Немецкий институт по стандартизации) [6].

$$a_{cv} = \frac{\int I(\lambda) * c(\lambda) d\lambda}{\int I(\lambda) * v(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

По формуле (3) в данной работе определялись значения критерия биологической активности  $a_{cv}$ , где  $v(\lambda)$  – функция спектральной чувствительности человеческого глаза [7].

Рецепторы, спектральную чувствительность которых описывает функция  $s(\lambda)$ , отвечают за регулирование циркадных ритмов. Под этим термином следует понимать имеющие суточную периодичность изменения функций организма, как биологических, так и физиологических.

Циркадные ритмы подстраиваются под изменения естественного освещения и влияют на выработку в организме гормона усталости – мелатонина.

### **Спектрoneзависимые критерии**

В обыденных ситуациях большую роль играют вопросы финансовых затрат на используемые источники света. Это не только затраты на их приобретение, но и эксплуатационные затраты. А в задачах, где требуется освещать множество помещений, необходимо учитывать и затраты на содержание обслуживающего персонала.

Затраты на источники в работе высчитывались с учётом их стоимости, срока службы и стоимости потребляемой электроэнергии. Трудозатраты оптимально считать, используя рекуррентное соотношение Беллмана [3], однако можно получить правильные результаты и методом простого перебора.

### **Примеры решаемых задач**

В работе были рассмотрены следующие частные задачи выбора оптимального источника света: для дневного освещения лабораторных помещений в ВУЗе (задача 1), для домашнего вечернего освещения (задача 2) и для освещения заведения общественного питания (задача 3).

Таблица 1. Весовые коэффициенты критериев

	Задача 1	Задача 2	Задача 3
Комфортность	0.35	0.3	0.5
Цветопередача	0.35	0.1	0.1
Био. активность	0.2	0.4	0.3
Затраты	0.1	0.2	0.1

В таблице 1 приводятся выбранные весовые коэффициенты критериев оценки источников света для задач 1, 2 и 3.

### **Полученные результаты**

Проведённые исследования показали следующие результаты: в задаче 1 стабильно высокие показатели у ламп накаливания, однако лучшее итоговое значение показала одна из люминесцентных ламп (но при этом у таких ламп очень большой разброс значений, они могут быть как очень хорошими, так и очень плохими); в задаче 2 стабильно высокие результаты у люминесцентных ламп; в задаче 3 все основные типы ламп (накаливания,

светодиодные, галогенные, люминесцентные) показали хорошие результаты (соответственно, в последней задаче тип источника света не принципиален).

Таблица 2. Нормированные результаты исследований

№ лампы	Тип лампы	Комфортность	Цв.передача	Био.активность	Затраты
1	Люминесц.	0.83	0.98	0.21	0.07
2	Накаливания	0.81	1.00	0.16	1.00
3	Накаливания	0.80	1.00	0.16	1.00
4	Накаливания	0.80	1.00	0.16	1.00
5	Накаливания	0.78	0.95	0.18	1.00
6	Накаливания	0.83	0.97	0.15	1.00
7	Накаливания	0.80	0.49	0.15	1.00
8	Св.диодная	1.00	0.22	0.33	0.04
9	Люминесц.	0.97	0.22	0.17	0.13
10	Люминесц.	0.97	0.22	0.17	0.13
11	Люминесц.	0.96	0.31	0.29	0.07
12	Галогенная	0.90	0.75	0.22	0.39
13	Люминесц.	0.95	0.25	0.43	0.13
14	Накаливания	0.73	0.88	0.33	1.00
15	Св.диодная	0.74	0.45	0.28	0.04
16	Св.диодная	0.89	0.23	1.00	0.04
17	Люминесц.	0.68	0.48	0.27	0.07
18	Люминесц.	0.84	0.34	0.27	0.07

Таблица 3. Показатели оптимальности источников

№ лампы	Тип лампы	Задача 1	Задача 2	Задача 3
1	Люминесц.	0.89	0.85	0.84
2	Накаливания	0.80	0.68	0.76
3	Накаливания	0.80	0.67	0.75
4	Накаливания	0.80	0.67	0.75
5	Накаливания	0.77	0.66	0.73
6	Накаливания	0.80	0.69	0.77
7	Накаливания	0.62	0.63	0.70
8	Св.диодная	0.66	0.78	0.82
9	Люминесц.	0.67	0.82	0.84

10	Люминесц.	0.67	0.82	0.84
11	Люминесц.	0.68	0.79	0.82
12	Галогенная	0.80	0.78	0.82
13	Люминесц.	0.62	0.71	0.76
14	Накаливания	0.70	0.58	0.65
15	Св.диодная	0.65	0.74	0.72
16	Св.диодная	0.49	0.48	0.56
17	Люминесц.	0.64	0.73	0.70
18	Люминесц.	0.65	0.76	0.76

В таблице 2 приведены нормированные значения коэффициентов исследованных ламп. А в таблице 3 получившиеся значения оптимальности источников.

Во всех трёх задачах хуже всех себя показал источник света на синих светодиодах, что объяснимо наибольшей интенсивностью спектра в диапазоне 440÷480 нм.

### **Заключение**

Таким образом, в данной работе рассмотрен механизм выбора оптимального источника света для конкретных помещений и показана зависимость такого выбора от целей освещения.

Описан комплекс критериев, дающий общее системное представление об источнике света. В работе проведено исследование 18 источников света, для каждого получены значения критериев, после чего проведено сравнение с учётом условий частных примеров-задач.

Показано, что для разных целей оптимально подходят разные источники света.

В работе показан способ, используя который, можно из любого набора ламп с известными спектрами в видимом человеческим глазом диапазоне, выбрать источник света, оптимальный для поставленной задачи.

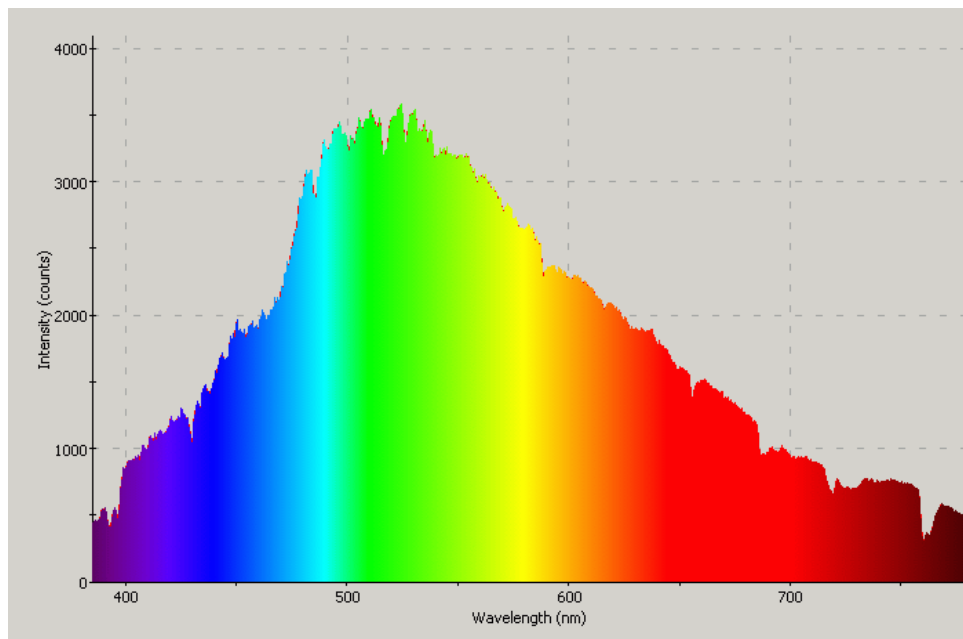


Рис. 1. Естественный дневной свет

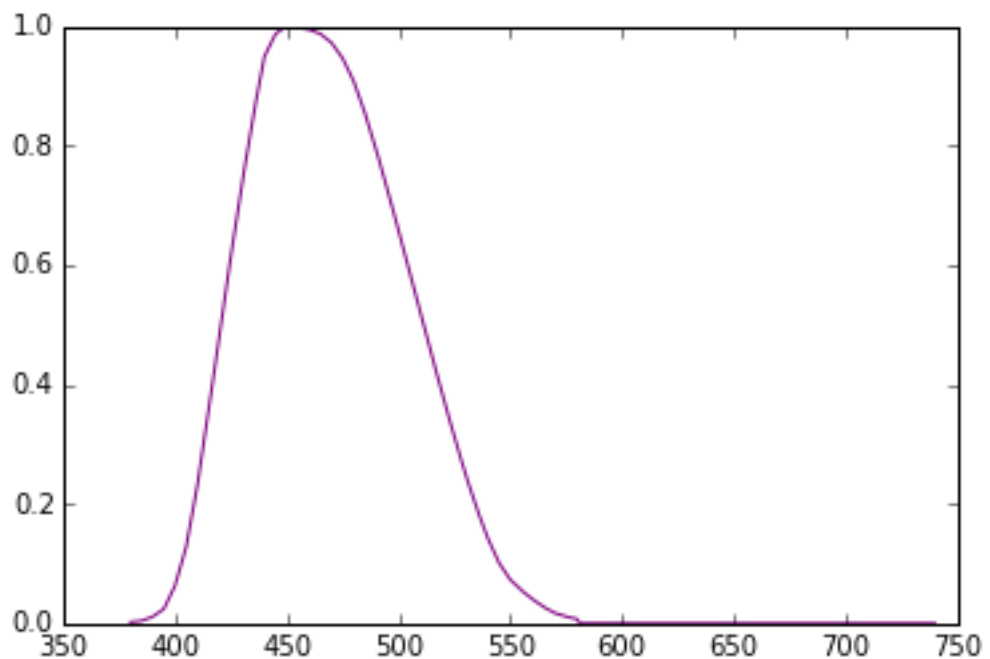


Рис. 2. Функция  $c(\lambda)$

#### Литература

1. *Крыжевич Л.С.* Модель механизма цветоразличия человеческого глаза // Учёные записки: электронный научный журнал курского государственного университета — 2012. — Т. 1, №3(23).
2. *Gall D., Bieske K.* Definition and measurement of circadian radiometric quantities // Light and health «Non-visual effects: proceedings of the CIE symposium». — 2004. — P. 129-132
3. *Визгунов Н.П.* Динамическое программирование в экономических задачах с применением системы MATLAB. — Н.Новгород: ННГУ, 2006. — 50 с.

4. Маккинли У. Python и анализ данных. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 482 с.
5. Gall D. Circadiane Lichtgrößen und deren messtechnische Ermittlung // Licht. – 2002. – V. 54, N 1. – P. 1292–1297
6. DIN V 5031-100 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 100, Über das Auge vermittelt, nichtvisuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren. – 2015. – 32 s.
7. ГОСТ 8.332-2013 ГСИ Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения – М.: Стандартиформ, 2014. – 11 с.