

АНАЛИЗ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Т. Н. Савкова

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Т. В. Алферова

Проблемы рациональной организации освещения определяют выбор источника искусственного света. Использование того или иного источника света в основном

определяется его светотехническими характеристиками: спектром излучения, световым потоком, световой отдачей, цветовой температурой и индексом цветопередачи.

Современные источники света отличаются большим разнообразием, однако их можно разделить на три основные группы: тепловые – лампы накаливания (ЛН), галогенные лампы накаливания (ГЛН); газоразрядные – люминесцентные (ЛЛ), компактные люминесцентные (КЛЛ), индукционные (ИЛ), ртутные (ДРЛ), натриевые (ДНаТ), металлогалогенные (ДРИ) и др.; светоизлучающие диоды – светодиоды (СД).

Газоразрядные источники света представляют собой большую группу ламп, в которых видимое излучение (свет) создается электрическим разрядом в газах или парах металлов, причем это излучение в большинстве случаев имеет разный цвет. Как известно, в люминесцентных лампах первичное ультрафиолетовое излучение преобразуется в видимый свет посредством люминофора. При этом около 1 % УФ пробивается наружу, что обычно не представляет проблемы. По сравнению с лампами накаливания люминесцентные лампы имеют ряд преимуществ: в 4–5 раз большая светоотдача, в 10–15 раз дольше срок службы, спектр излучения люминесцентных источников света больше приближается к привычному для глаза человека солнечному свету.

Однако компактные люминесцентные лампы, применяемые в настольных светильниках, находятся так близко от человека, что пренебрегать УФ-лучами уже нельзя. При длительном воздействии они могут вызвать раздражение кожи, обострить имеющиеся кожные заболевания и спровоцировать новые. Компактные люминесцентные лампы могут давать теплый белый свет (цветовая температура 2700 К), холодный белый (4200 К) и дневной свет (6500 К). Спектр такой лампы линейчатый и состоит из полос в видимой области (рис. 2). Это приводит не только к неправильной цветопередаче, но и к повышенной усталости глаз. У компактных люминесцентных ламп пульсации яркости, досаждавшие в старых лампах, сведены на нет.

Индукционная лампа – электрический источник света, принцип работы которого основан на электромагнитной индукции и газовом разряде для генерации видимого света. Основным отличием от существующих люминесцентных газоразрядных ламп является безэлектродная конструкция – отсутствие термокатодов и нитей накала, что значительно увеличивает срок службы. Индукционная лампа обладает высоким уровнем светового потока после длительного использования и при одинаковой освещенности потребляет на 30–50 % меньше электроэнергии, чем металлогалогенная лампа, на 40–60 % меньше, чем натриевая лампа, в 10–13 раз эффективнее, чем лампа накаливания. Отсутствие мерцаний определяет рабочая частота возбуждения газового разряда, которая составляет 190–250 кГц или единицы мегагерц в зависимости от моделей.

Светодиод, или светоизлучающий диод – полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом или контактом металл-полупроводник, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока. Излучаемый свет лежит в узком диапазоне спектра, его спектральные характеристики зависят от химического состава использованных в нем полупроводников.

Светодиоды являются энергосберегающими источниками света, и их использование позволяет существенно экономить электроэнергию по сравнению с другими лампами.

Светодиоды обладают высокой светоотдачей. Так, обычная лампа накаливания дает до 10 люмен на 1 Вт потребленной энергии, светодиоды – 50 люмен и выше. Сверхяркие светодиоды обеспечивают сильный световой поток, поэтому модули из светодиодов могут применяться не только в декоративных целях, но и для освещения. Чистота цвета излучения светодиодов определяет возможность получения любого цвета и оттенка излучения. Например, чистый синий, чистый белый, оранжевый, сине-зеленый и

десятки других чистых цветов и оттенков, чего нельзя получить, используя лампы накаливания. Малый угол излучения светодиодов – может быть как достоинством, так и недостатком. Светодиоды почти не имеют в излучаемом спектре инфракрасные и ультрафиолетовые составляющие, поэтому значительно эффективнее энергетически, чем тепловые излучатели.

Так как световой поток оценивает глаз человека, то этот поток зависит от кривой чувствительности глаза на разных длинах волн видимого света. Очевидно, что излучение одной и той же мощности воспринимается глазом как более интенсивное, если в его спектре больше зеленого света.

Спектральные характеристики распределения светового потока различных источников света представлены на рис. 1–6.

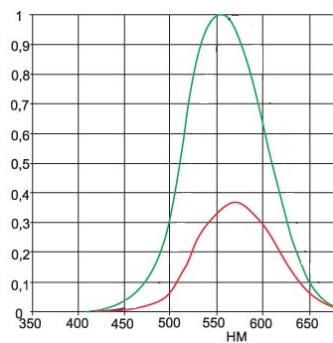


Рис. 1. Для ГЛН с $T = 2780$ К

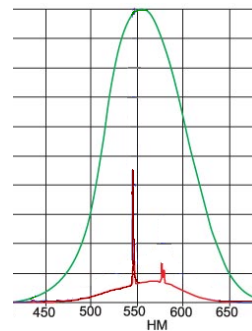


Рис. 2. Для КЛЛ с $T = 6400$ К

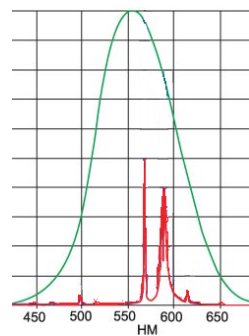


Рис. 3. Для ДНат

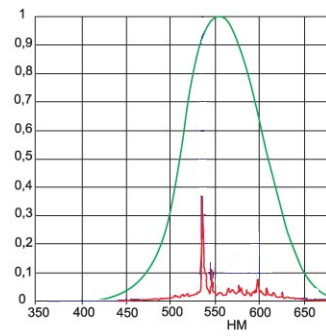


Рис. 4. Для ДРИ с $T = 6700$ К

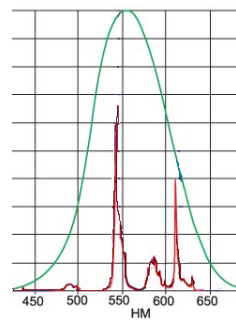


Рис. 5. Для ЛЛ с $T = 4000$ К

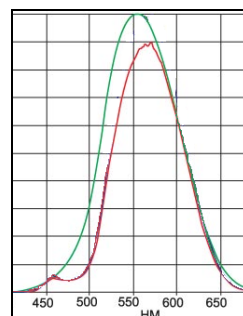


Рис. 6. Для белого светодиода с $T = 3200$ К

На рис. 1–6 за 100 % принята условная энергия, ограниченная указанными диапазонами, которая имеется у кривой видности глаза $V(\lambda)$, т. е. все, что может увидеть глаз. На рисунках изображены соответствующие условные энергии (интегралы под функциями относительного спектрального распределения плотности энергетической яркости) различных источников излучения. Спектры излучения этих источников свернуты с $V(\lambda)$ и пересчитаны в процентном отношении к энергиям тех же диапазонов длин волн у $V(\lambda)$. Таким образом, получается подробная картина распределения энергий источников по длинам волн, по которой можно судить о полноте заполнения всего видимого диапазона энергией излучения, а по отдельным его участкам – о том, насколько близко это излучение к идеальному, содержащему максимум энергии в спектре.

Следует отметить, что лампа накаливания, например, «не добирает» практически половину диапазона. И это видно на рис. 1, где приведено спектральное распределение излучения галогенной лампы.

Металлогалогенная лампа (рис. 4) имеет высокий индекс цветопередачи только благодаря тому, что обладает довольно равномерным, хотя и низким по весовой доле распределением энергии во всем диапазоне. Большое отличие спектра ее излучения от солнечного, близкого по цветовой температуре, состоит в наличии очень узких пиков (полос) высокой интенсивности, вместе с тем обладающих малой интегральной энергией. Тоже характерно и для люминесцентных ламп (рис. 2, 5), спектр которых еще скуднее и на количество пиков, и по распределению их относительно $V(\lambda)$.

Как и «полагается», самую плохую позицию с точки зрения энергетики, воспринимаемой глазом, занимает натриевая лампа ДНат (рис. 3), которая из-за своего спектрального состава излучения вообще не может быть приписана к белому цвету, и поэтому ее нельзя адекватно сравнить с приведенными примерами. Однако именно желтый свет, от спектральных линий натрия наиболее популярен у нас на улицах. Имея практически самый высокий показатель эффективности, свет от ДНат действительно экономически наиболее выгоден. Только следует помнить, что при этом он имеет минимальный индекс цветопередачи (R_a) (если вообще можно применять к такому спектру этот параметр). А по колориметрическим показателям свет от ДНат попадает именно в тот промежуток между характеристиками чувствительности красных и зеленых колбочек, поэтому для равенства восприятия с излучением белого цвета, больше заполняющего интеграл относительно $V(\lambda)$ и требуется его большая интенсивность, а следовательно, и потребление энергии. Из приведенного на рис. 1–6 списка источников света, используемых в освещении, только лишь у светодиода, выполненного по схеме «синий кристалл – люминофор», можно наблюдать значительное приближение описанных величин к кривой видности глаза, по крайней мере, относительно других источников. Спектр излучения белых светодиодов с различными коррелированными цветовыми температурами, особенно низкими (рис. 6), имеет очень высокий процент соответствия $V(\lambda)$ на протяженном участке видимого диапазона, достигая 95 % в области желтого, что говорит о его непрерывности и высокой степени подобия основному естественному источнику. Таким образом, белые светодиоды, используемые для освещения, не только достигли своей эффективности по сравнению с традиционными лампами, но и превзошли их в части комфортности восприятия глазом.

В результате сравнительного анализа светотехнических характеристик существующих источников света (таблица), наилучшими характеристиками обладают индукционные лампы и светодиоды, что определяет перспективность их применения в будущем.

Секция X. Энергоэффективность и диагностика энергооборудования 511

Светотехнические характеристики различных источников света

| Тип лампы | ЛН | ГЛН | ЛЛ | КЛЛ | ДРИ | ДРЛ | ДНАТ | ИЛ | СЛ |
|--------------------------|-----------|------|-----------|-----------|------------|-------|-------|-----------|-----------|
| Мощность, Вт | 200 | 250 | 80 | 25 | 250 | 250 | 250 | 80 | 180 |
| Световой поток, лм | 3150 | 5000 | 4320 | 2000 | 19000 | 13000 | 25000 | 6400 | 11500 |
| Световая отдача, лм/Вт | 15 | 20 | 54 | 80 | 76 | 60 | 100 | 80 | 107 |
| Коэффициент пульсации, % | нет | нет | 23–43 | 1–3 | 30 | 60 | 70 | нет | нет |
| Цветовая температура, К | 2300–2900 | 3000 | 2700–7700 | 2700–6400 | 3000–20000 | 3800 | 2000 | 2700–6500 | 6000–8500 |
| Индекс цветопередачи, Ra | 100 | 100 | 30–70 | 60–98 | 80–95 | 42 | 30 | >80 | >80 |

Литература

1. Кнорринг, Г. М. Осветительные установки / Г. М. Кнорринг. – Л., 1981. – 288 с. : ил.
2. Никифоров, С. Реальный цвет и виртуальный индекс его передачи / С. Никифоров // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 1. – С. 28–38.