

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОСВЕЩЕНИЯ

А.И. Стуков, Е.С. Пупков, А.Ю. Санасарян

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Рассмотрены четыре различных вида ламп: накаливания, люминесцентная, галогенная и светодиодная. Приведены их положительные и отрицательные характеристики. В частности приведены типовые схемы их подключения. Составлены графики зависимости светового потока от мощности различных видов ламп. Произведен их анализ для выявления наиболее эффективного источника света. Для этого был выполнен экономический расчет затрат на электроэнергию в течение года с учетом гарантированного срока службы лампы, а также её стоимости. Был изучен спектр излучения рассматриваемых видов ламп и выявлены варианты, наиболее приближенные к излучению солнца, как самые комфортные для зрительного глаза.

Рассмотрен коэффициент пульсации различных ламп, негативно воздействующий на общее самочувствие человека. Полученные результаты были сравнены с СП 52.13330.2016 и позволили прийти к заключению, что светодиодные лампы не только самые экономически выгодные и надежные, но и обеспечивают наиболее комфортные условия для жилых помещений, особенно в рабочих кабинетах и читальных залах и являются оптимальным источником освещения при надлежащем оформлении и расположении.

Ключевые слова: освещение, световая эмиссия, коэффициент пульсации, спектр.

Ресурсы планеты Земля не безграничны. В связи с этим уже сегодня вопросы обеспечения человечества энергией выходят на первый план.

В сугубо утилитарном плане вопросы энергосбережения, поднимающиеся в нашей стране уже более полувека, комплексно не решены и по сей день.

До сих пор энергозатраты на единицу продукции в РФ превышают общемировые в 4–5 раз. Отчасти это объясняется климатическими особенностями, однако единичные разрозненные попытки снизить энергопотребление за счет повышения тарифов на электрическую и тепловую энергию, ограничение применения ламп накаливания в быту, но привели к заметной экономии.

Необходим системный подход. И в этой системе выпадает звено энергосбережения в процессе строительства, а не только при эксплуатации зданий и сооружений.

В данной работе мы проводим сравнительный анализ эффективности различных источников освещения.

Для сравнения выбраны четыре вида ламп: лампы накаливания, люминесцентные, светодиодные, галогеновые. Рассмотрим характеристики каждой лампы в отдельности.

Лампа накаливания. Основными достоинствами лампы накаливания можно считать невысокую цену, удобство и простоту эксплуатации, она не требует дополнительных устройств. Практически полностью отсутствуют пульсации излучаемого ими светового потока. К недостаткам этого типа световых источников можно отнести: низкое значение световой отдачи, непродолжительный срок службы (1000 часов). При этом срок службы очень сильно зависит от числа включений. Каждое

включение-выключение лампы снижает срок её службы на 1–2 %, т. е. применять их в местах общего пользования весьма неэкономично. Кроме того, при увеличении напряжения всего на 6 % срок службы сокращается вдвое [1].

Галогенная лампа. Безусловными достоинствами галогенных ламп являются: повышенный срок службы (до 4000) часов возможность варьирования разнообразных цветовых оттенков излучаемого света путем добавления в колбу лампы паров галогена. Это позволяет уменьшить скорость испарения вольфрама спирали. Однако к поверхности галогенной лампы нежелательно дотрагиваться руками, так как тепловые пятна могут создать очаги разрушения колбы лампы. Галогенные лампы весьма чувствительны к скачкам напряжения сети, поэтому их включают в электрическую сеть только через стабилизатор напряжения; температура колбы галогенной лампы может достигать значений до 500 градусов Цельсия, поэтому при их установке крайне необходимо следовать нормам противопожарной безопасности, в том числе, обеспечить достаточное расстояние между поверхностями потолочного перекрытия и подвесными потолками [2].

Люминесцентная лампа. Световая отдача люминесцентной лампы в несколько раз больше, чем у лампы накаливания аналогичной мощности. Срок службы люминесцентных ламп около 5 лет при условии ограничения числа включений до 2000, то есть не больше 5 включений в день в течение гарантийного срока 2 года.

Преимущества люминесцентных ламп:

- большая светоотдача, примерно в 4–5 раз превышающая светоотдачу лампы накаливания той же мощности;

Инженерное оборудование зданий и сооружений

- возможность разнообразия световых оттенков;
- рассеянный свет;
- более длительный срок службы (правда, при условии достаточно качественного электропитания, а также соблюдения ограничений на число циклов включения/выключения).

Недостатки люминесцентных ламп:

- высокая степень химической опасности (лампа содержит от 10 мг до 1 г ртути);
- характерное мерцание ламп с частотой питающей сети (применение ЭПРА (электронный пускорегулирующий аппарат) не снимает эту проблему, так как сохраняются пульсации выпрямленного тока с частотой 100 Гц);
- наличие обязательного дополнительного оборудования для пуска лампы – пускорегулирующего аппарата (часто это достаточно громоздкий шумный дроссель с ненадежным стартером или же дорогой ЭПРА) (рис. 1);

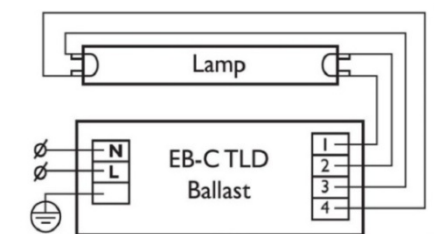


Рис. 1. Электронный пускорегулирующий аппарат

- выход из строя стартера приводит к эффекту «фальстарта» лампы (зрительно это выглядит как повторяющиеся вспышки света, предшествующие стабильному режиму), который заметно сокращает срок службы нитей накала;
- очень низкий коэффициент мощности ламп (Коэффициент мощности – величина, равная отношению активной мощности, потребляемой нагрузкой, к ее полной мощности) [3, 4].

Светодиодная лампа. Светодиодные лампы или светодиодные светильники в качестве источника света используют светодиоды, применяются для бытового, промышленного и уличного освещения. Светодиодная лампа является одним из самых экологически чистых источников света. Принцип свечения светодиодов позволяет применять в производстве и работе самой лампы безопасные компоненты. Светодиодные лампы не используют веществ, содержащих ртуть, поэтому они не представляют опасности в случае выхода из строя или разрушения. Различают законченные устройства – светильники – и элементы для светильников – сменные лампы.

Преимущества светодиодов:

- низкое энергопотребление – не более 10 % от потребления при использовании ламп накаливания;

- долгий срок службы – до 100 000 часов;
- высокий ресурс прочности – ударная и вибрационная устойчивость;
- чистота и разнообразие цветов, направленность излучения;
- низкое рабочее напряжение;
- экологическая и противопожарная безопасность. Они не содержат в своем составе ртути и почти не нагреваются [4, 5].

Полупроводниковые источники света, основаны не на нагреве рабочего тела или переводе его в плазменное состояние за счет нагрева иницирующих элементов. Поэтому тепловая эмиссия их значительно ниже. Это немаловажный фактор для помещений и производств, требующих стабильности и равномерности температурного поля в эксплуатируемой зоне. Например, при производстве высокоточных деталей, элементов электроники, медико-биологических экспериментах, медицинских операциях и даже в садоводстве и овощеводстве, при селекции, гибридизации и выращивании товарной продукции.

Рассмотрим схемы подключения ламп (рис. 2).

Из рисунка видно, что лампа накаливания имеет самую простую схему подключения, в отличие от светодиода. Однако при проблемах с питанием или другими непредвиденными обстоятельствами, светодиодная лампа с дополнительными схемами может лучше справиться, нежели лампа накаливания.

Далее рассмотрим зависимость световой отдачи от мощности для всех видов ламп на рис. 3.

Данные графики позволяют сравнить математические зависимости ламп, так как люминесцентные и галогеновые лампы являются промежуточными, то сравнение проведем относительно светодиодных ламп и ламп накаливания (математическая зависимость мощности от световой передачи):

Зависимость для ламп накаливания:

$$y = 4,582 \ln(x) + 2,551.$$

Зависимость для светодиодных ламп:

$$y = 22,337 \ln(x) + 68,673.$$

Рассмотрим случай, когда $\ln(x) = 0$ (так называемое начало графика логарифмической функции). Начальной точкой для светодиода будет являться 68,673 лм/Вт, для ламп накаливания началом является 2,551 лм/Вт.

Следующим критерием сравнения будет являться крутизна графика. Крутизну графика определяет коэффициент перед натуральным логарифмом, который у светодиода 22,337, у лампы накаливания 4,582, это означает, что график зависимости у светодиодной лампы в разы быстрее изменяется, чем у лампы накаливания. Из данного сравнения можно сделать вывод, что при большей мощности светодиодные лампы будут эффективнее, нежели лампы накаливания.

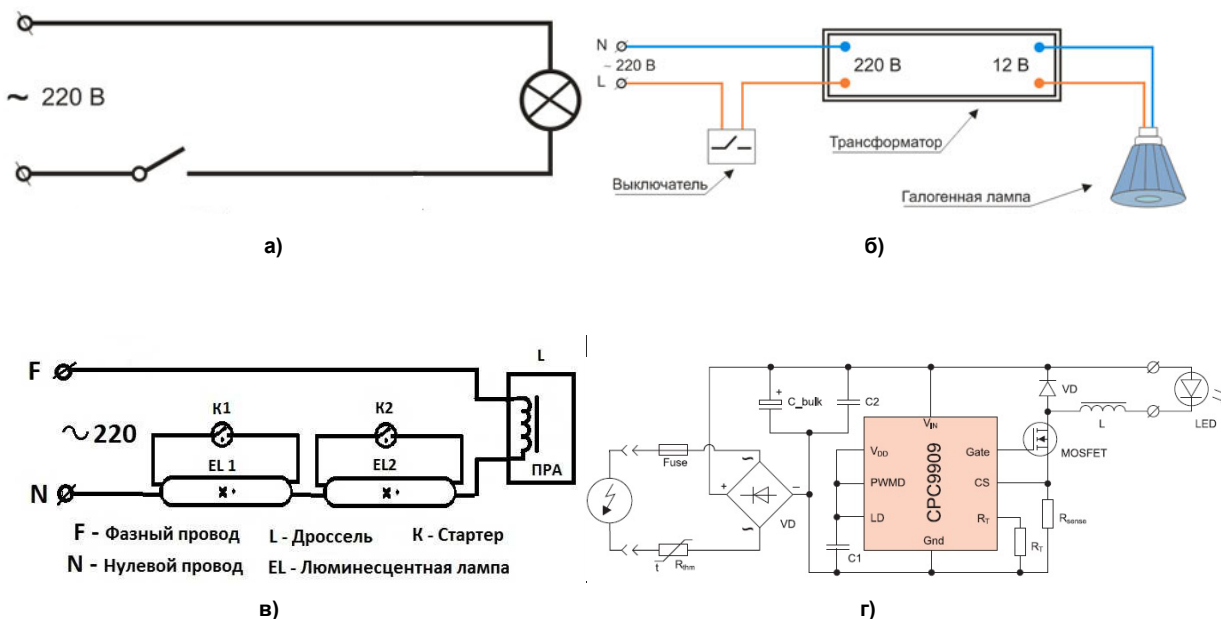


Рис. 2. Схемы подключения ламп (а – лампа накаливания, б – галогенная лампа, в – люминесцентная лампа, г – светодиодная лампа)

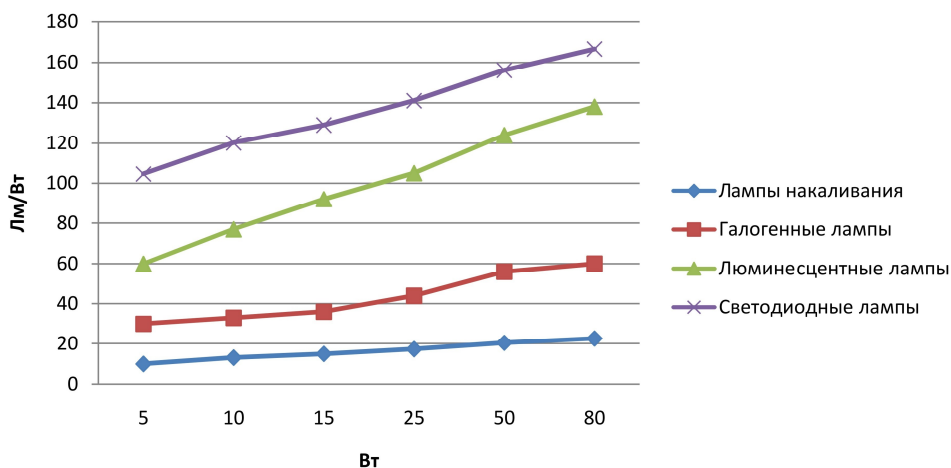


Рис. 3. Зависимость световой отдачи от мощности различных ламп [6–17]

Данные зависимости справедливы для ламп мощностью 1 Вт и выше.

Далее приведем график сравнения затрат на электроэнергию у эквивалентных ламп. Для его составления необходимо произвести расчет необходимых данных, исходные данные представлены в таблице.

Пример расчета:

Тариф на электроэнергию в Челябинске составляет 2,12 рубля за кВт.

Расчет производится при условии что лампа работает 8 часов в день, расчет затрат производится за год.

Сколько лампа работает в год: $250 \cdot 8 = 2000$ часов в год работает лампа. Далее произведем расчет затрат лампы за один час.

Лампа накаливания: $0,075 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ час} \cdot 2,12 = 0,159 \text{ руб.}$

Галогенная лампа: $0,045 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ час} \cdot 2,12 = 0,0954 \text{ руб.}$

Люминесцентная лампа: $0,015 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ час} \cdot 2,12 = 0,0318 \text{ руб.}$

Светодиодная лампа: $0,01 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ час} \cdot 2,12 = 0,0212 \text{ руб.}$

Затраты на электроэнергию одной лампы в год:

Лампа накаливания: $0,15225 \cdot 2000 = 318 \text{ руб.}$

Галогенная лампа: $0,09135 \cdot 2000 = 190,8 \text{ руб.}$

Люминесцентная лампа: $0,03045 \cdot 2000 = 63,6 \text{ руб.}$

Светодиодная лампа: $0,0203 \cdot 2000 = 42,4 \text{ руб.}$

Для наглядности затраты представлены на графике (рис. 4).

Инженерное оборудование зданий и сооружений

Данные для расчета затрат на электроэнергию

Наименование	Лампа накаливания	Галогенная лампа	Люминесцентная лампа	Светодиодная лампа
Мощность, Вт	75	45	15	10
Стоимость, руб.	30	75	140	110
Срок службы, ч	1000	2000	8000	30000

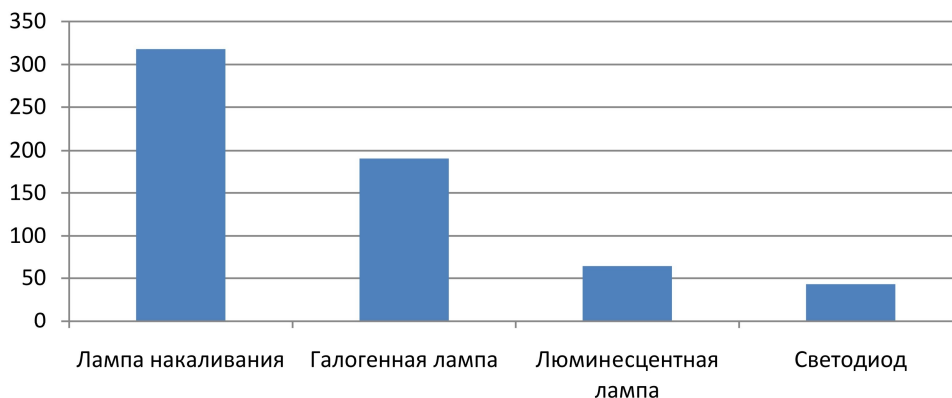


Рис. 4. Затраты на электроэнергию для различных ламп [6–17]

Из графика на рис. 5 видно, что стоимость светодиодных ламп выше, чем у остальных ламп, но если принять во внимание долговечность использования и опасность поломки, затраты на электроэнергию, вытекает явное преимущество и стоимость лампы это компенсирует.

Заключение: при рассмотрении всех данных можно сделать вывод, что светодиодные лампы превосходят все остальные виды ламп представленные в нашей работе. Это позволяет сделать вывод, что необходимо переходить на освещение с помощью светодиодных ламп.

После рассмотрения технических и экономических аспектов также необходимо проанализировать влияние света лампы на здоровье человека, для этого необходимо рассмотреть такие показатели как спектр излучения и коэффициент пульсации.

Как следует из рис. 6, спектр ламп накаливания находится в широком диапазоне длин волн, но сильно отличается от солнечного. Фиолетовые и

синие тона, неблагоприятные для зрения и самочувствия человека, здесь минимальны, и свет лампы накаливания воспринимается как благоприятной. При необходимости отдельные сегменты спектра удаляются применением соответствующих фильтров [19].

Спектр люминесцентных и галогенных ламп сильно отличается от естественного и неблагоприятен для бытового использования в жилых помещениях.

В то же время различные сочетания светодиодных ламп «холодного» и «белого» света позволяют практически без применения корректирующих фильтров получить спектральную характеристику, максимально приближенную к естественному дневному свету или требующуюся для данных специфических условий (операционная, теплица и т. п.).

Кроме того, промышленностью выпускаются светодиоды, работающие в очень узком заданном

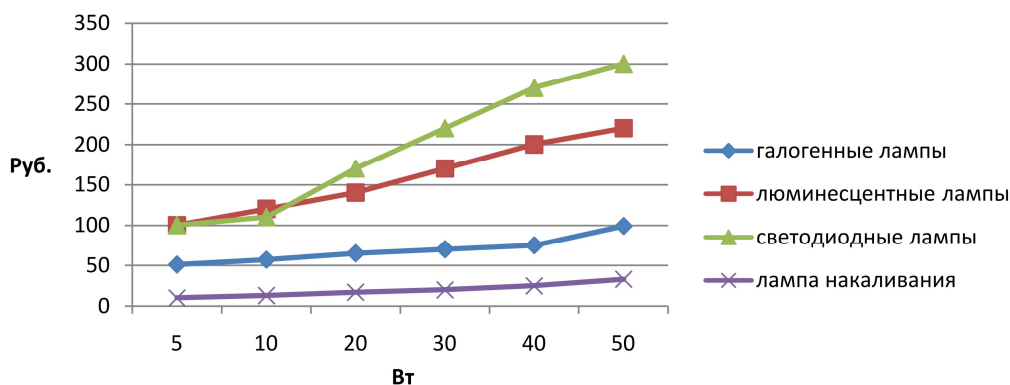


Рис. 5. Отношение цен светодиодных, люминесцентных, накаливания и галогенных ламп

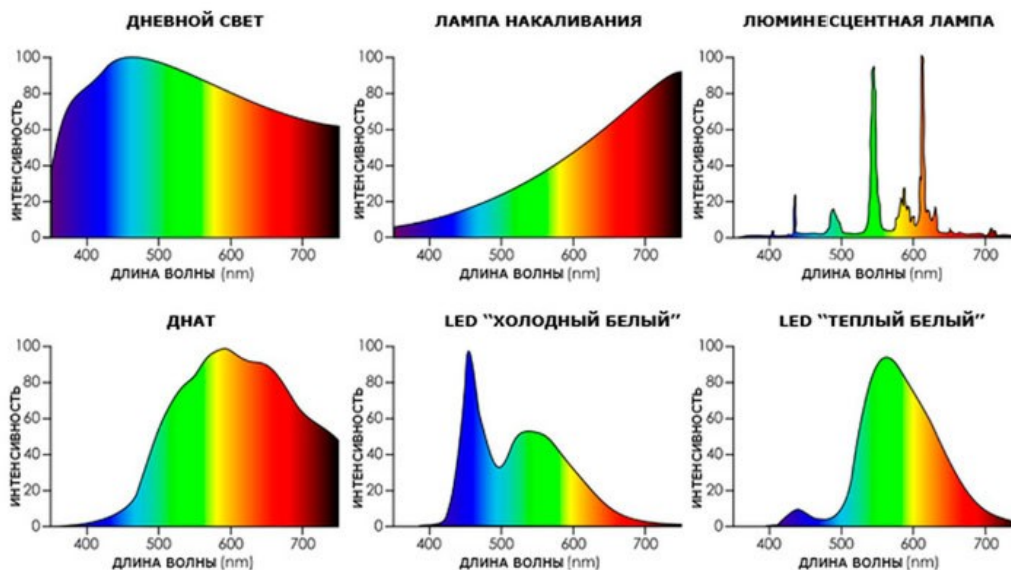


Рис. 6. Спектр излучения различных ламп [18]

спектральном диапазоне – ультрафиолетовом или инфракрасном, например, пульты управления телевизорами и т. п. бытовой техникой. Это открывает практически безграничные возможности в плане создания оптимальной световой гаммы источника освещения.

Коэффициент пульсации. Коэффициент пульсаций освещенности характеризует колебания во времени светового потока, падающего на единицу поверхности. Коэффициент пульсаций освещенности определяется отношением амплитуды колебаний освещенности к их среднему значению [20].

Согласно СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение», нормы коэффициента пульсации колеблются от 5 до 20 процентов.

Коэффициент пульсации:

1. Лампы накаливания (пульсации до 25 %).
2. Люминесцентные лампы (возможны пульсации до 50 %).
3. Светодиодные лампы (возможны пульсации до 4 %).

4 % пульсации у светодиодной лампы достигается за счет дополнительного оборудования, без дополнительного оборудования коэффициент пульсации светодиодной лампы достигает 100 %.

Из данных, приведенных выше, можно сделать вывод, что светодиодная лампа является безопасной для здоровья человека [5, 21].

Литература

1. *Справочная книга для проектирования электрического освещения / под ред. Г.М. Кнорринга.* – Л.: Энергия, 1976. – 384 с.
2. *Варфоломеев, Л.П. Элементарная светотехника / Л.П. Варфоломеев.* – М., 2013. – 288 с.
3. *Рохлин, Г.Н. Разрядные источники света/ перераб. и доп. / Г.Н. Рохлин.* – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 720 с.

4. *Федоров, В.В. Библиотека светотехника / В.В. Федоров.* – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 128 с.

5. *Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга.* – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 472 с.

6. *Каталог продукции компании «Световые технологии».* – М.: МГК Световые технологии, 2017. – 607 с.

7. *Каталог продукции компании «Philips»/Koninklijke Philips N.V,* 2017.– 321 с.

8. *Источники света. Каталог OSRAM 2016-2017/OSRAM, 2016.* – 300 с.

9. *Каталог продукции компании «ASD» / ASD.* – 2017. – № 1. – 30 с.

10. *Каталог продукции компании «ASD» / ASD.* – 2017. – № 2. – 40 с.

11. *Каталог продукции компании «Светопроект» [электронный ресурс]/ Светопроект.* – М., 2017. – Режим доступа: <https://svetoproekt.ru/catalog/>

12. *Каталог продукции компании «LLT» [электронный ресурс].* – LLT-M., 2016.- – http://llt-lighting.ru/products/svetilniki_ofisnye/

13. *Каталог продукции компании «OPTIMA» – OPTIMA-X,* 2017. – <https://www.optimaltd.com.ua/catalog/>

14. *Каталог продукции компании «General Electric Lighting».* – GE Lightning, 2016–2017. – 199 с.

15. *Каталог светодиодных светильников Ардатовского светотехнического завода / ОАО «Ардатовский светотехнический завод».* – Ардатов, 2014. – 302 с.

16. *Каталог продукции компании «ЛидерЛайт» [электронный ресурс]/ ЛидерЛайт.* – М., 2017. – Режим доступа: <http://leadlight.ru/>

17. *Каталог продукции компании «SvetoZone» – М., 2017.* – <http://www.svetozone.ru/catalogue/>

18. *Каталог продукции компании «Элреди» [электронный ресурс]/ Элреди.* – Минск, 2015. – Режим доступа: <http://elredy.by/news/>

19. Принципы зрительной эргономики. Освещение рабочих систем внутри помещений. ГОСТ ИСО 8995-2002.

20. Международный светотехнический словарь / Публикация МКО 1.1.N17-(1970); рус. текст

под общ. ред. д-ра техн. наук Д.Н. Лазарева. – 3-е изд. – М.: Русский язык, 1979. – 280 с.

21. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

Стуков Анатолий Иванович, доцент кафедры строительного производства и теории сооружений, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), stukovai@susu.ru

Пупков Евгений Сергеевич, магистрант кафедры строительного производства и теории сооружений, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), zhenya-pupkov@mail.ru

Санасарян Артур Юрикович, магистрант кафедры строительного производства и теории сооружений, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), artur19_95@mail.ru

Поступила в редакцию 8 декабря 2017 г.

DOI: 10.14529/build180107

COMPARATIVE PERFORMANCE ANALYSIS OF DIFFERENT LIGHTING SOURCES

A.I. Stukov, stukovai@susu.ru

E.S. Pupkov, zhenya-pupkov@mail.ru

A.Yu. Sanasaryan, artur19_95@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

We consider four different types of bulbs: incandescent, fluorescent, halogen and LED. Their positive and negative characteristics are given. In particular, typical schemes of their connection are provided. Charts of dependence of the light flux on the capacity of various kinds of lamps are drawn up. Their analysis is performed to identify the most effective light source. For this economic calculation of electricity costs during one year, taking into account the guaranteed lamp life and its price was performed. We studied the emission spectrum of the considered types of lamps and revealed the variants closest to radiation of the sun as the most comfortable for eyes. The ripple factor of different lamps that negatively affects general human health was considered. The obtained results were compared to SP 52.13330.2016 and allowed us to come to a conclusion that LED lamps are not only the most economically profitable and reliable, but also provide the most comfortable conditions for living quarters, especially in the offices and reading rooms, and are the optimal light source in case of proper design and location.

Keywords: lighting, light emission, ripple factor, range.

References

1. Knoring G.M. *Spravochnaya kniga dlya proektirovaniya elektricheskogo osveshcheniya* [Reference Book for the Design of Electric Lighting]. Leningrad, Energiya Publ., 1976. 384 p.
2. Varfolomeev L.P. *Elementarnaya svetotekhnika* [Basic Lighting]. Moscow, 2013. 288 p.
3. Rokhlin G.N. *Razryadnye istochniki sveta* [Discharge Light Sources]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 720 p.
4. Fedorov V.V. *Biblioteka svetotekhnika* [Library lighting]. Moscow: Energoatomizdat, 1992. 128 p.
5. Ayzenberg Yu.B. *Spravochnaya kniga po svetotekhnike* [Reference Book on Light Engineering]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1995. 472 p.
6. *Katalog produktsii kompanii "Svetovye tekhnologii"* [The Product Catalog of the Company "Svetovye Tekhnologii"]. Moscow, MGK Svetovye tekhnologii Publ., 2017. 607 p.
7. *Katalog produktsii kompanii "Philips"* [The Product Catalog of the Company "Philips"]. Koninklijke Philips N.V. Publ., 2017. 321 p.
8. *Istochniki sveta. Katalog OSRAM 2016–2017* [The Sources of Light. The 2016–2017 Catalog OSRAM]. OSRAM Publ., 2016. 300 p.

9. *Katalog produktzii kompanii "ASD"* [Product Catalog of Company "ASD"]. ASD Publ., 2017, no. 1. 30 p.
10. *Katalog produktzii kompanii "ASD"* [Product Catalog of Company "ASD"]. ASD Publ., 2017, no. 2. 40 p.
11. *Katalog produktzii kompanii "Svetoproekt"* [The Product Catalog of the Company "Svetoproekt"]. Moscow, Svetoproekt, 2017. Available at: <https://svetoproekt.ru/catalog/>
12. *Katalog produktzii kompanii "LLT"* [Product Catalog of Company "LLT"]. Moscow, LLT Publ., 2016. Available at: http://llt-lighting.ru/products/svetilniki_ofisnye/
13. *Katalog produktzii kompanii "OPTIMA"* [Product Catalog of Company "OPTIMA"]. OPTIMA-X Publ., 2017. Available at: <https://www.optimaltd.com.ua/catalog/>
14. *Katalog produktzii kompanii "General Electric Lighting"* [The Product Catalog of the Company "General Electric Lighting"]. GE Lighting, 2016–2017 Publ., 199 p.
15. *Katalog svetodiodnykh svetil'nikov Ardatovskogo svetotekhnicheskogo zavoda* [Directory of Led Lamps Ardatov Light-Engineering Plant]. Ardatov, 2014. 302 p.
16. *Katalog produktzii kompanii "LiderLayt"* [Product Catalog of Company "Liderlayt"]. Moscow, LiderLayt Publ., 2017. Available at: <http://leadlight.ru/>
17. *Katalog produktzii kompanii "SvetoZone"* [Product Catalog of Company "SvetoZone"]. Moscow, SvetoZone Publ., 2017. Available at: <http://www.svetozone.ru/catalogue/>
18. *Katalog produktzii kompanii "Elredi"* [Product Catalog of Company "Elredy"]. Minsk, 2015. Available at: <http://elredy.by/news/>
19. *GOST ISO8995-2002. Printsipy zritel'noy ergonomiki. Osveshchenie rabochikh sistem vnutri pomeshcheniy* [GOST 8995. Principles of Visual Ergonomics. The Lighting System Indoors], 2002.
20. *Mezhdunarodnyy svetotekhnicheskii slovar'* [International Lighting Vocabulary]. Moscow, Russkiy yazyk Publ., 1979. 280 p.
21. SP 52.13330.2016. *Estestvennoe i iskusstvennoe osveshchenie* [Daylighting and Artificial Lighting]. Moscow, 2017.

Received 8 December 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Стуков, А.И. Сравнительный анализ эффективности различных источников освещения / А.И. Стуков, Е.С. Пупков, А.Ю. Санасарян // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 69–75. DOI: 10.14529/build180107

FOR CITATION

Stukov A.I., Pupkov E.S., Sanasaryan A.Yu. Comparative Performance Analysis of Different Lighting Sources. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2018, vol. 18, no. 1, pp. 69–75. (in Russ.). DOI: 10.14529/build180107
