

УДК 91.160.01

**БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ
ПО ДАННЫМ НАУЧНОГО КОМИТЕТА ЕВРОСОЮЗА
И РОССИЙСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**SAFETY OF APPLICATION OF LED LIGHTING
ACCORDING TO SCIENTIFIC COMMITTEE
OF THE EUROPEAN UNION AND THE RUSSIAN RESEARCHES**

И.А. ШМАРОВ, Л.В. БРАЖНИКОВА, А.К. СОЛОВЬЁВ

I.A. SHMAROV, L.V. BRAZHNIKOVA, A.K. SOLOVEV

(Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук,
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

(Research Institute of Building Physics of Russian Academy
of Architecture and Construction Sciences,
National Research Moscow State Construction University)

E-mail: lab22niisf@yandex.ru

В статье рассмотрены вопросы безопасности применения светодиодного освещения. По оценкам Научного комитета по вопросам угроз здоровью, окружающей среде и возникающим угрозам (SCHEER) отсутствуют доказательства прямого отрицательного воздействия излучения светодиодов при обычном использовании (источники света и дисплеи) широкими слоями здорового населения. Исследования российских гигиенистов подтверждают,

что светодиодное освещение не хуже, а по некоторым параметрам зрительной работоспособности лучше люминесцентного освещения. Близость спектрального состава светодиодных источников света к спектру естественного света и непрерывность спектра излучения позволяют считать эти источники света перспективными для совмещенного освещения зданий. Применение светодиодного освещения требует контроля за показателями слепящего действия и пульсацией освещенности.

In article safety issues of application of LED lighting are considered. By estimates of Scientific committee on questions of threats to health, the environment and the arising threats (SCHEER) there are no proofs of direct negative impact of radiation of LEDs at normal use (light sources and displays) wide layers of the healthy population. Researches of the Russian hygienists confirm that LED lighting is not worse, and in some parameters of visual working capacity better than luminescent lighting. The proximity of spectral content of LED light sources to a range of natural light and the continuity of an emission spectrum allows to consider these light sources perspective for the combined lighting of buildings. Application of LED lighting demands control of UGR and an illumination pulsation factor.

Ключевые слова: светодиоды, синий свет, спектр излучения, интенсивность светового излучения, пульсация светового потока, объединенный показатель дискомфорта.

Keywords: LEDs, blue light, emission spectrum, intensity of luminous radiation, pulsation of a luminous flux, integrated indicator of discomfort.

Светодиоды – инновационные источники света, захватившие рынок информационных и рекламных устройств, в настоящее время уверенно занимают рынок искусственного освещения. В средствах массовой информации и научной периодике постоянно поднимается вопрос – не является ли излучение светодиодов опасным для здоровья человека. Информационное пространство заполнено противоположными отзывами и мнениями. Наряду с серьезными исследованиями появляются публикации, носящие элементы конъюнктуры и конкурентной борьбы.

Научный комитет по вопросам угроз здоровью, окружающей среде и возникающим угрозам (SCHEER) по запросу Европейской Комиссии провел предварительную оценку потенциальной опасности светодиодов (LED) для здоровья человека [1]. На основе анализа опубликованных научных исследований оценивались все источники светодиодного излучения – от дисплеев телевизоров и мобильных устройств до систем искусственного освещения. Ниже приводятся выводы о влиянии на человека наиболее важ-

ных характеристик светодиодного освещения, к которым пришли научный комитет SCHEER и российские разработчики санитарно-эпидемиологических норм и сводов правил по освещению.

Влияние спектрального состава

Светодиоды являются источниками светового излучения. Световое излучение не проникает в тело человека, а наиболее восприимчивыми к световому воздействию являются глаза и кожа. Опасности, связанные с воздействием факторов риска светового излучения – это сложная взаимосвязь длины волны светового излучения и условий его воздействия. Наиболее наглядную оценку воздействия светового излучения светодиода на человека удобно проводить, сравнивая спектральный состав излучения светодиода со спектральным составом известного источника света в условиях равенства световых потоков. На рис. 1 представлено сопоставление спектра лампы накаливания, используемой человечеством для освещения более ста лет, и современного светодиодного источника света.

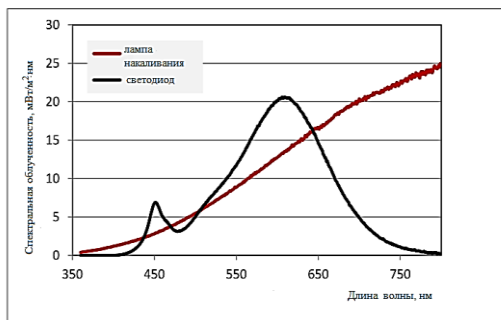


Рис. 1

Следует отметить, что люминесцентные лампы, широкое применение которых со второй половины XX века ознаменовало собой революцию в технике искусственного освещения помещений, имеют линейчатый спектр излучения. Влияние линейчатого спектра на здоровье глаз человека и его самого в целом так и не было исследовано до конца. В то же время светодиоды так же, как и естественный свет, имеют непрерывный спектр излучения. Это уже говорит о том, что совместное использование светодиодов и естественного света (совмещенное освещение) для освещения помещений имеет большие перспективы.

В видимой части спектра наибольшее воздействие на глаза и кожу людей оказывает излучение синей части спектра, поскольку оно обладает наибольшей энергией по сравнению с другими частями видимого спектра. Ультрафиолетовое излучение, обладающее большей энергией, чем синий свет в спектре светодиодов, используемых в быту для освещения, отсутствует.

По данным SCHEER уровень риска фотохимического воздействия синего света на сетчатку глаза от бытового светодиодного освещения составляет от 10 до 20% от соответствующих предельно допустимых уровней воздействия, установленных Международной комиссией по защите от неионизирующих излучений (ICNIRP) при условии нахождения под воздействием более 3 часов [2]. Для сравнения: 14% от данного уровня соответствует лампе накаливания средней мощности.

Влияние интенсивности светового излучения

Воздействие светового излучения на кожу и ткани зависит от облученности ($\text{Вт}/\text{м}^2$)

или освещенности ($\text{лм}/\text{м}^2$, или люкс). Эффект от фотохимических процессов зависит не только от облученности, но и от длительности воздействия светового излучения на объект. Произведение этих двух факторов и позволяет посчитать дозу экспозиции ($\text{Дж}/\text{м}^2$) или дозу облученности ($\text{Дж}/\text{м}^2\text{ср}$). Человек в течение дня подвержен воздействию светового излучения от различных источников, включая светодиоды. Для того чтобы оценить потенциальную угрозу для здоровья, связанную со светодиодами, необходимо принимать во внимание воздействие светового излучения в комплексе. Для многих людей, работающих вне помещений, будет преобладать воздействие естественного светового излучения, то есть воздействие светового излучения светодиодов будет незначительным в сравнении с воздействием естественного света вне помещения.

Проведенный SCHEER аналитический обзор позволил сделать выводы, что существующие научные исследования не приводят доказательств угрозы повреждения глаз или кожи и угрозе здоровью человека, связанных со светодиодами, при условии, что уровень воздействия ниже установленного ICNIRP предельно допустимого уровня.

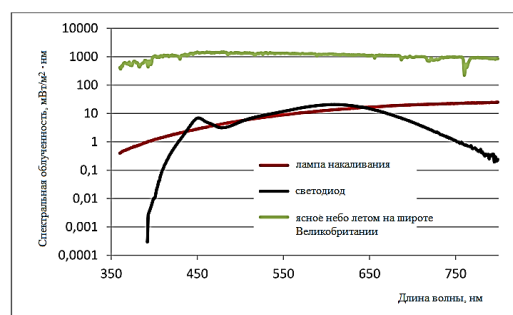


Рис. 2

Необходимо сравнить интенсивность и спектральный состав излучения светодиода с естественным освещением, в условиях которого сформировался человек. На рис. 2 приведена в абсолютных величинах интенсивность спектрального состава излучения светодиода, лампы накаливания и ясного неба летом (без учета прямого солнечного излучения). График на рис. 2 в отличие от приведенного графика на рис. 1 по оси ординат имеет логарифмический масштаб. Прослеживается, что в видимом диапазоне спектра

спектральная облученность от ясного неба примерно на два порядка выше, чем от светодиодной лампы или лампы накаливания в значительном интервале спектра, в том числе и в области синего света.

В докладе SCHEER отмечено, что люди с дегенеративными и сосудистыми заболеваниями сетчатки могут быть более восприимчивыми к световому излучению светодиодов, чем широкие слои населения, но риск считается сходным с другими источниками света со сходными характеристиками излучения.

Влияние условий наблюдения

Из-за точечного характера излучения и высокой яркости большинства светодиодных источников освещения излучаемый ими свет приводит к дискомфорту.

Наихудшие условия складываются при прямом взгляде на источник светодиодного излучения, например, при взгляде на яркий светильник или светодиодную лампу. Если источник безопасен для прямого взгляда, он будет безопасен при всех условиях наблюдения на том же расстоянии. В связи с этим возрастает значимость показателей слепящего действия искусственного освещения: объединенного показателя дискомфорта, UGR – для освещения помещений, коэффициента блескости, R_G – для освещения работ, выполняемых вне зданий и спортивных сооружений, порогового приращения яркости T_I – для наружного освещения улиц. Данные показатели в случае применения светодиодного освещения установлены международными [3], [4] и российскими нормами [5], [6] и подлежат обязательному расчету. Методика расчета объединенного показателя дискомфорта UGR приведена в ГОСТ 33392–2015 [7]. Проведение расчетов возможно программами Dialux [8] и Relux [9], русифицированные версии которых можно найти в интернете.

Влияние пульсации светового потока

Светодиоды в большинстве светодиодных светильников работают на постоянном токе, который обеспечивают драйверы, и пульсация светового потока идет с частотой – десятки МГц. Пульсация светового потока на таких частотах свыше 300 Гц не воспринимается ни глазом, ни мозгом человека [10].

Однако существуют светодиодные источники света, работающие от переменного тока. Кроме того, исследования показывают, что пульсация светодиодов и светодиодных модулей существенным образом зависит от качества драйверов, обеспечивающих питание светодиодов. Существенным коэффициентом пульсации обладают диммируемые filamentные светодиодные источники света.

Измерения пульсации светодиодного наружного освещения на улицах Москвы, проведенные НИИСФ, показали, что коэффициент пульсации освещенности на Садовом кольце составляет 0,2%. В то же время коэффициент пульсации освещенности светодиодного наружного освещения на ряде периферийных улиц города составляет 60...70%.

Ощущаемое зрением мерцание освещения, вызванное пульсацией светового потока во времени светодиодных источников света, работающих от переменного тока, может происходить с частотой 50...100 Гц, как показано на рис. 3 (изменение светового потока светодиода во времени, работающего на 50% мощности и полной мощности [1]). Результатом такого освещения является быстрое зрительное утомление, головная боль и общий дискомфорт.

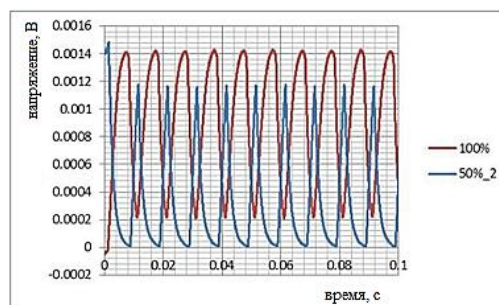


Рис. 3

Особо следует отметить появление при таком освещении стробоскопического эффекта, когда рука при взмахе или движущийся автомобиль представляется серией неподвижных изображений, а вращающиеся детали при определенной скорости вращения воспринимаются неподвижными, что может привести к травматизму. В международных стандартах [3], [4] мерцание освещения называется фликером, и оно должно отсутствовать при освещении. Только в настоящее время

в Международной комиссии по освещению (МКО) начались исследования пульсации освещенности. В строительных и санитарно-эпидемиологических нормах России, стран СНГ, Монголии, Украины нормируются значения коэффициента пульсации освещенности в пределах 5...20% в зависимости от точности выполняемых работ.

Влияние на циркадные ритмы

Кроме воздействия на зрение свет, получаемый нашими глазами, выполняет несколько функций, не связанных с формированием изображений. Это адаптация (зрачковый рефлекс) и формирование исходных данных для биологических часов человека.

Смена дня и ночи привела к развитию внутренних часов у всех живых организмов, включая людей. Этот ритм составляет 24 часа и поэтому называется циркадным ритмом. Биологические часы в значительной степени подвержены внешним световым условиям, включая искусственное освещение. Механизм циркадного ритма у человека достаточно сложен и в недостаточной степени изучен. В большой степени он связан с выработкой организмом гормона сна – мелатонина и гормона бодрствования – кортизола. Свет с различной длиной волны имеет различное действие на биологические часы. Это связано с различной чувствительностью фоторецепторов – палочек и колбочек. Как показали исследования [11], [12], светодиоды, излучающие коротковолновый свет, влияют на циркадные ритмы так же, как и другие источники с коротковолновым светом. Исследование [11] показало, что светодиоды могут изменять фазы циркадных ритмов в уровнях мелатонина, то есть они поддерживают бодрствование. Поэтому это свойство может быть использовано в промышленных зданиях для повышения производительности труда в вечернюю смену. В связи с этим одним из перспективных направлений в области совершенствования светодиодов является разработка возможности регулирования спектрального состава света, излучаемого светодиодами.

Зрительная работоспособность

Сравнительные экспериментальные исследования зрительной работоспособности, проведенные российскими гигиенистами и

светотехниками с привлечением возрастной группы 18...25 лет [14], [16] и учеников начальных классов общеобразовательной организации [15], [16], показали преимущество светодиодного освещения над люминесцентным освещением. Эти исследования легли в основу СанПиН [18], [19] и сводов правил [5], [6]. По результатам данных исследований светодиодное освещение было разрешено в быту, в административных и производственных помещениях, в общеобразовательных организациях. Большая зрительная работоспособность и меньшее зрительное утомление при светодиодном освещении были подтверждены в последующих исследованиях [17].

Вопрос о применении светодиодного освещения в детских дошкольных учреждениях в настоящее время остается открытым и требует дополнительной проработки в первую очередь специалистами по гигиене и офтальмологии. Действующими в России СанПиНами применение светодиодов в дошкольных образовательных организациях не разрешено.

В Ы В О Д Ы

1. Основной вывод, к которому пришли специалисты SCHEER, заключается в отсутствии доказательств прямого отрицательного воздействия излучения светодиодов при обычном использовании (источники света и дисплеи) широкими слоями здорового населения.

2. Российские гигиенические исследования подтверждают, что светодиодное освещение не хуже, а по некоторым параметрам зрительной работоспособности лучше люминесцентного освещения, используемого в последние пятьдесят лет.

3. Применение светодиодного освещения должно обязательно сопровождаться расчетом показателей слепящего действия: объединенным показателем дискомфорта – UGR для освещения помещений, коэффициентом слепящего действия – G_R для освещения мест производства работ вне зданий, пороговым приращением яркости – TI для освещения сельских территорий (улиц, дорог, площадей и дворовых территорий).

4. Применение светодиодного освещения требует контроля за пульсацией освещенности, зависящего от качества применяемого блока питания (драйвера), которое может быть осуществлено.

5. Близость спектрального состава светодиодных источников света к спектру естественного света и непрерывность спектра излучения позволяют считать эти источники света перспективными для совмещенного освещения зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Preliminary Opinion on Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs) // Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER). – 2017.

2. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation // Health Phys. – 105, 2013. P.74...96. http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPVisible_Infrared2013.pdf.

3. ISO 8995:2002(E)/CIE S 008/E-2001. Part 1. Lighting of Indoor Work Places. - CIE Central Bureau. – Vienna, 2001.

4. ISO 8995-3:2006 Lighting of work places - Part 3: Lighting requirements for safety and security of outdoor work places. - CIE Central Bureau. Vienna, 2006.

5. СП 52.13330.2011. Актуализированная редакция "СНиП 23-05-95". Естественное и искусственное освещение". – М.: ГУП ЦПП, 2011.

6. СП 52.13330.2016. Актуализированная редакция "СНиП 23-05-95". Естественное и искусственное освещение". – М.: Стандартинформ, 2017.

7. ГОСТ 33392–2015. Здания и сооружения. Метод определения показателя дискомфорта при искусственном освещении помещений.

8. www.dial.com.

9. www.relux.biz.

10. Ильянок В.А., Самсонова В.Г. Влияние пульсирующих источников света на электрическую активность мозга человека // Светотехника. – 1963, № 5. С. 1...5.

11. ГОСТ 33393–2015. Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности.

12. Wright H.R., Lack L.C., Kennaway D.J. Differential effects of wavelength in phase advancing the melatonin rhythm // J. Pineal. Res. – 36 (2), 2004. P.140...144.

13. Kayaba M., Iwayama K., Ogata H., Seya Y., Kiyono K., Satoh M., Tokuyama K. The effect of nocturnal blue light exposure from light-emitting diodes on wakefulness and energy metabolism the following morning // Environ. Health. Prev. Med. – 19(5), 2014. P.354...361.

14. Долин Е.В., Звездина И.В., Надеждин Д.С., Текшеева Л.М., Шмаров И.А. Сравнительная гигиеническая оценка условий освещения люминесцент-

ными лампами и светодиодными источниками света // Светотехника. – 2011, №1. С. 48...52.

15. Текшеева Л.М. Сравнительная гигиеническая оценка условий освещения люминесцентными лампами и светодиодными источниками света в школах // Светотехника. – 2012, №5. С. 16...22.

16. Кучма В.Р., Текшеева Л.М., Сухарева Л.М. Гигиенические основы использования светодиодов в системах искусственного освещения. – М.: ФГБУ "Научный центр здоровья детей РАМН", 2013.

17. Амелькина С.А., Железникова О.Е., Сеницына Л.В. Об эффективности освещения светодиодами по зрительной работе // Светотехника. – 2018, №2. С. 6...10.

18. СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-10. Изменения и дополнения №1 к СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

19. СанПиН 2.4.2.2821-10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных организациях (с изменениями №1, №2, №3).

REFERENCES

1. Preliminary Opinion on Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs) // Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER). – 2017.

2. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation // Health Phys. – 105, 2013. P.74...96. http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPVisible_Infrared2013.pdf.

3. ISO 8995:2002(E)/CIE S 008/E-2001. Part 1. Lighting of Indoor Work Places. - CIE Central Bureau. – Vienna, 2001.

4. ISO 8995-3:2006 Lighting of work places - Part 3: Lighting requirements for safety and security of outdoor work places. - CIE Central Bureau. Vienna, 2006.

5. SP 52.13330.2011. Aktualizirovannaya redaktsiya "SNiP 23-05-95*. Estestvennoe i iskusstvennoe osveshchenie". – М.: GUP TsPP, 2011.

6. SP 52.13330.2016. Aktualizirovannaya redaktsiya "SNiP 23-05-95*. Estestvennoe i iskusstvennoe osveshchenie". – М.: Standartinform, 2017.

7. GOST 33392–2015. Zdaniya i sooruzheniya. Metod opredeleniya pokazatelya diskomforta pri iskusstvennom osveshchenii pomeshcheniy.

8. www.dial.com.

9. www.relux.biz.

10. P'lyanok V.A., Samsonova V.G. Vliyanie pul'siruyushchikh istochnikov sveta na elektricheskuyu aktivnost' mozga cheloveka // Svetotekhnika. – 1963, № 5. S.1...5.

11. GOST 33393–2015. Zdaniya i sooruzheniya. Metody izmereniya koeffitsienta pul'satsii osveshchennosti.

12. Wright H.R., Lack L.C., Kennaway D.J. Differential effects of wavelength in phase advancing the melatonin rhythm // J. Pineal. Res. – 36 (2), 2004. P.140...144.

13. Kayaba M., Iwayama K., Ogata H., Seya Y., Kiyono K., Satoh M., Tokuyama K. The effect of nocturnal blue light exposure from light-emitting diodes on wakefulness and energy metabolism the following morning // *Environ. Health. Prev. Med.* – 19 (5), 2014. P.354...361.
14. Dolin E.V., Zvezdina I.V., Nadezhdin D.S., Teksheva L.M., Shmarov I.A. Sravnitel'naya gigienicheskaya otsenka usloviy osveshcheniya lyuminestsentnyimi lampami i svetodiodnymi istochnikami sveta // *Svetotekhnika.* – 2011, №1. S. 48...52.
15. Teksheva L.M. Sravnitel'naya gigienicheskaya otsenka usloviy osveshcheniya lyuminestsentnyimi lampami i svetodiodnymi istochnikami sveta v shkolakh // *Svetotekhnika.* – 2012, №5. S. 16...22.
16. Kuchma V.R., Teksheva L.M., Sukhareva L.M. *Gigienicheskie osnovy ispol'zovaniya svetodiodov v sistemakh iskusstvennogo osveshcheniya.* – M.: FGBU "Nauchnyy tsentr zdorov'ya detey RAMN", 2013.
17. Amel'kina S.A., Zheleznikova O.E., Sinitsina L.V. Ob effektivnosti osveshcheniya svetodiodami po zritel'noy rabote // *Svetotekhnika.* – 2018, №2. S. 6...10.
18. SanPiN 2.2.1/2.1.1.2585-10. Izmeneniya i dopolneniya №1 k SanPiN 2.2.1/2.1.1.1278-03. *Gigienicheskie trebovaniya k estestvennomu, iskusstvennomu i sovmeshchennomu osveshcheniyu zhilykh i obshchestvennykh zdaniy.*
19. SanPiN 2.4.2.2821-10. *Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k usloviyam i organizatsii obucheniya v obshcheobrazovatel'nykh organizatsiyakh (s izmeneniyami №1, №2, №3).*

Рекомендована Ученым советом НИИСФ РААСН.
Поступила 18.06.19.
