

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОСВЕЩЕНИЯ НА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС И АДАПТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОЛОНТЕРОВ

Гизингер О. А.¹, Осиков М. В.², Телешева Л. Ф.², Долгушин И.И.¹, Огнева О. И.², Федосов А. А.³

¹Научно-исследовательский институт иммунологии,

²Научно-образовательный центр «Проблемы фундаментальной медицины»,

³ГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (454092, Челябинск, ул. Воровского, 64), e-mail: prof.osikov@yandex.ru

В исследовании на 60 добровольцах, в возрасте от 20 до 25 лет с нормальным зрением или с его очковой коррекцией, проведена оценка психофизиологического статуса, включая состояние зрительного анализатора, адаптационного потенциала организма после функциональной нагрузки (непрерывная в течение 90 мин работа корректорского типа) в условиях светодиодного (опытная группа, n=30) или люминесцентного освещения (контрольная группа, n=30) в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 (освещенность 400 лк, показатель дискомфорта менее 15 отн. ед., коэффициент пульсаций светового потока менее 10 %, коррелированная цветовая температура 3500K – 4500K). Использованы осветительная светодиодная установка из 120 светодиодов мощностью 1 Вт с цветовой температурой 4000K – 4500K (ООО «РАСТОН», Москва) и растровые люминесцентные светильники «LIGHTING TECHNOLOGIES ARS/R 218» («МДМ Лайт», Москва). Для оценки психофизиологического статуса использован комплекс показателей, характеризующих утомление зрительного анализатора, концентрацию, переключение и распределение внимания, силу и уравновешенность процессов возбуждения и торможения, эмоциональный статус; динамика показателей от начала к концу эксперимента служила мерой утомления. Установлено, что при нормативных показателях условий освещения: освещенность 400 лк, показатель дискомфорта не более 15 ед., пульсация освещенности не более 10 % работоспособность в условиях светодиодного освещения не отличается от работоспособности в условиях люминесцентного освещения. Анализ психофизиологического статуса работающих после 90 мин зрительной и умственной нагрузки, имитировавшей полный рабочий день, свидетельствует, что светодиодное освещение обеспечивает более длительную продолжительность устойчивой работоспособности, чем люминесцентное освещение. Оценка адаптационного потенциала организма после интенсивной зрительной и умственной нагрузки выявила более выраженное напряжение адаптации при люминесцентном освещении по сравнению со светодиодным (12,0 % при светодиодном освещении против 21,5 % при люминесцентном освещении).

Ключевые слова: свет, светодиодные источники, люминесцентные лампы, психофизиологический статус, адаптация.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE LED LIGHT SOURCE INFLUENCE ON THE PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE AND ADAPTABILITY OF VOLUNTEERS

Gizinger O. A.¹, Osikov M. V.², Telesheva L. F.², Dolgushin I. I.¹, Ogneva O. I.², Fedosov A. A.³

¹Research Institute of Immunology,

²Research and Education Center of Basic Medicine Issues,

³The State Educational Institution of Higher Professional Education "South Ural State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Chelyabinsk, Russia (454092, Chelyabinsk, Vorovskogo str., 64), e-mail: prof.osikov@yandex.ru

The study presents the findings from research study of 60 volunteers (age group 20 to 25) with normal vision or with the spectacle correction aimed at evaluation of their psychophysiological status, including the state of the visual analyzer, the adaptive capacity of the body after the functional load (continuous, 90 minutes proofreading job) in a LED lighting (experimental group, n=30) or fluorescent lighting (control group, n=30), in accordance with specified in SanPiN requirements# 2.2.1/2.1.1.1278-03 (400 lux illumination, the discomfort index of less than 15 rel. pcs., ripple ratio of luminous flux less than 10%, correlated color temperature of 3500K – 4500K). The following devices were used: LED lighting system with 120 1W LEDs with a color temperature of 4000K-4500K (LTD "Ruston", Moscow) and raster fluorescent lamps «LIGHTING TECHNOLOGIES ARS/R 218» ("MDM Light", Moscow). The working capacity in LED lighting was revealed not to differ from that of in

fluorescent lighting if the measurement data of lighting conditions were the following: 400 lux illumination, the discomfort index to 15 units, ripple ratio of luminous flux no more than 10%. The analysis of psychophysiological status of employees after 90 minutes of visual and mental exertion (simulating a full-time job) shows that the duration of working capacity in LED lighting is longer than in fluorescent one. Evaluation of adaptive capacity of the organism after an intense visual and mental workload has revealed a more pronounced stress adaptation in the fluorescent lighting in comparison with LED one (12.0% with LED lighting versus 21.5 % with fluorescent lighting).

Keywords: light, LED light sources, fluorescent lamps, psychophysiological status, adaptation.

Дискуссии отечественных и зарубежных ученых в авторитетных светотехнических журналах в последние годы способствуют новым практическим решениям в нормировании освещения и в использовании наиболее совершенных источников света и приемов освещения для повышения зрительной работоспособности, сохранения и укрепления здоровья людей [1–3, 7, 9, 10]. Они вызваны рядом научных открытий в фотобиологии, психофизиологии, медицине и взволновали светотехническое сообщество открывающейся возможностью применить новые знания для создания более здоровой светоцветовой среды [4, 6, 11]. Повышенное внимание к проблеме предопределяет вектор исследований по изучению и оценке влияния света на жизнедеятельность человека, основанный на том, что свет играет одну из ключевых ролей в нашей жизни, принимает непосредственное участие в реализации опознавательной и ориентирующей функции, поэтому изучение источников, генерирующих различные световые излучения, является приоритетной задачей [5, 8]. В настоящее время особое внимание привлекают светодиодные источники света в связи с высокой энергоэффективностью, длительным сроком эксплуатации, вариабельностью светоцветовых решений в условиях уличного, интерьерного и промышленного освещения, отсутствием необходимости специальной утилизации и др. факторами [12]. Учитывая вышесказанное, необходимо проведение специальных медико-биологических исследований в области биобезопасности светодиодных источников света в сравнении с другими искусственными источниками освещения. **Цель работы** – провести сравнительный анализ влияния светодиодных источников света на некоторые показатели психофизиологического статуса, включая функциональное состояние зрительного анализатора и адаптационный потенциал у волонтеров.

Материалы и методы исследования. В соответствии с поставленной целью на базе НИИ иммунологии, научно-образовательного центра «Проблемы фундаментальной медицины» ГБОУ ВПО ЮУГМУ Минздрава России проведена оценка влияния искусственного освещения с использованием светодиодов и люминесцентных разрядных источников света на психофизиологический статус и функциональное состояние зрительного анализатора у 60 добровольцев, в возрасте от 20 до 25 лет с нормальным зрением или с его очковой коррекцией. План исследования соответствовал положениям Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации (ВМА) последнего пересмотра (Сеул,

2008) с учетом разъясняющего примечания к параграфу 29, внесенного Генеральной Ассамблеей ВМА (Вашингтон, 2002) и был одобрен этическим комитетом ГБОУ ВПО ЮУГМУ Минздрава России. От всех участников исследования было получено письменное информированное согласие в соответствии с основами законодательства РФ «Об охране здоровья граждан, правил проведения клинической практики в РФ» (приказ МЗ РФ № 266 от 19.07.03 г.; приказ Росздравнадзора № 2325-Пр/06 от 17.10.06 г.). Все участники были случайным образом разделены на 2 группы: контрольную (n=30), находящуюся под влиянием люминисцентного освещения, и опытную (n=30) – светодиодное освещение. Экспериментальная осветительная установка представляет собой устройство с габаритными размерами 1200x600x100 мм, включающее 120 светодиодных излучателей с цветовой температурой 4000К – 4500К, а также 5 источников тока ИТСК-9008.02.00.P5M для питания светодиодных излучателей с защитой последних от перегрева и с интегрированным приемным устройством «ФОРА-СПИ» (ООО «РАСТОН», Москва). Для управления режимами работы светодиодных излучателей использовалась система передачи информации «ФОРА» (ООО «РАСТОН», Москва), формирующая информационные сообщения методом фазовой манипуляции начальных углов полупериодов питающего напряжения. Контрольное и экспериментальное помещения (соответственно люминисцентное освещение и светодиоды) оборудованы рабочими местами для размещения добровольцев, выполняющих зрительную работу с умственной компонентой. Условия освещения помещений соответствовали требованиям СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03: освещенность 400 лк, показатель дискомфорта менее 15 отн. ед., коэффициент пульсаций светового потока менее 10 %, коррелированная цветовая температура 3500К – 4500К. В контрольном помещении использованы световые приборы – растровые светильники «LIGHTING TECHNOLOGIES ARS/R 218» («МДМ Лайт», Москва) с люминисцентными лампами с улучшенным коэффициентом цветопередачи. Экспериментальное помещение было оборудовано светодиодами мощностью 1 Вт, оснащенными рассеивателями. Плотность спектрального распределения излучения от светодиодных источников и люминисцентных ламп представлена на рис. 1.

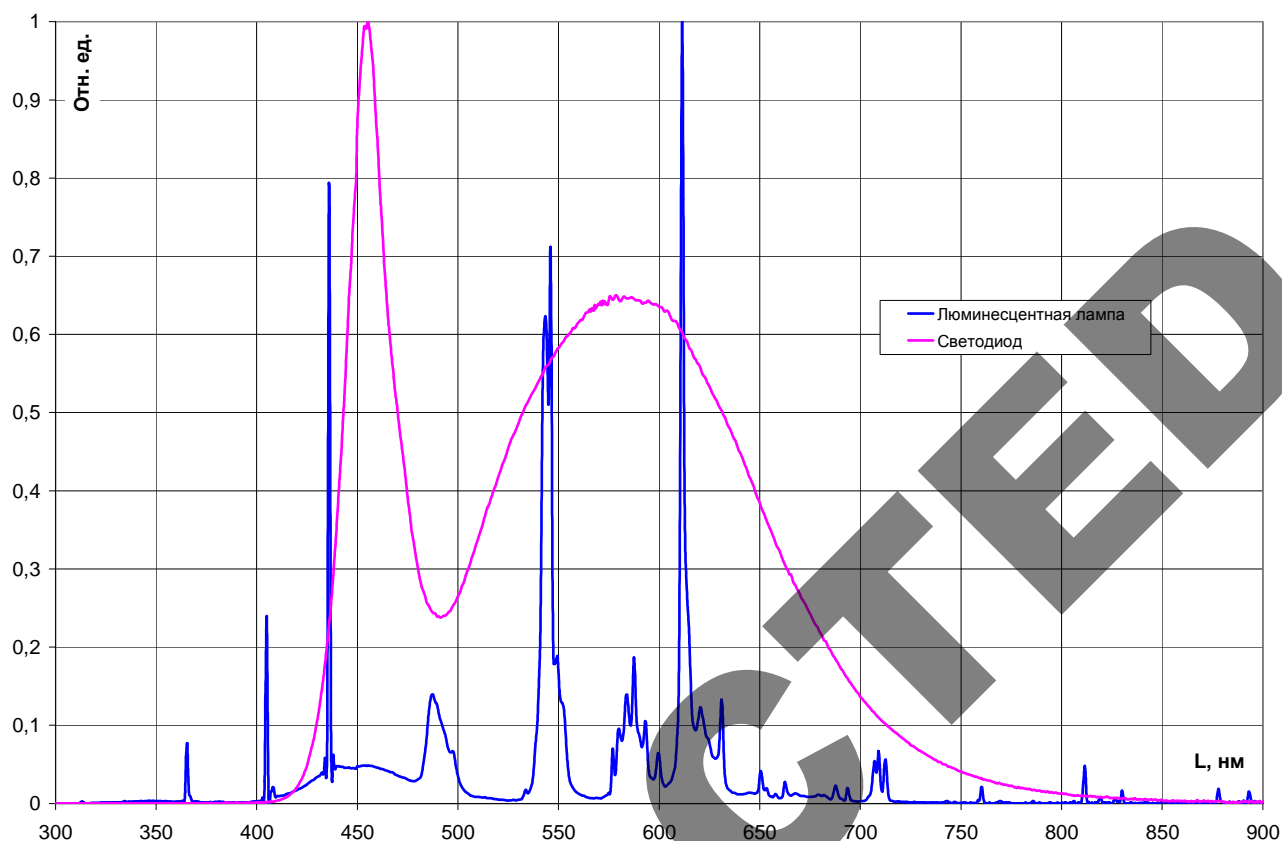


Рис. 1. Плотность спектрального распределения светодиода и люминесцентной лампы [1]

Для оценки психофизиологического статуса использован комплекс показателей, представленных в табл. 1. Динамика уровней показателей от начала к концу эксперимента служила мерой утомления испытуемых от работы в изучаемых условиях освещения [7]. Функциональной нагрузкой служила непрерывная в течение 90 мин работа корректорского типа, обеспечивающая адекватное утомление в производственных условиях. Работоспособность определялась количеством просмотренных знаков (производительность) и количеством ошибок (качество корректурной пробы).

Таблица 1. Методы психофизиологического обследования для оценки утомления испытуемых при различном освещении рабочего места

Группы методов	Методы обследования	Показатели
1. Оценка утомления зрительного анализатора	1. Критическая частота слияния световых мельканий	Критическая частота слияния световых мельканий
	2. Простая сенсомоторная реакция на световой раздражитель	Латентный компонент сенсомоторной реакции
2. Оценка концентрации, переключения и распределения внимания	3. Корректурная проба	Показатель концентрации внимания (скорость поиска символов)
	4. Экстренный выбор	Показатели переключения внимания (точность и скорость выбора ответов, интегральный показатель)

	5. Выбор по памяти	Показатель распределения внимания
3. Оценка силы и уравновешенности процессов возбуждения и торможения	6. Теппинг-тест динамический	Показатели силы нервных процессов (коэффициент регрессии скорости последовательных ответов, интегральный показатель силы нервных процессов)
	7. Чувство времени	Показатель силы тормозных процессов
	8. Реакция на движущийся объект	Показатель уравновешенности нервных процессов
4. Оценка эмоционального статуса	9. Опросник САН	Самочувствие, активность, настроение

Адаптационный потенциал организма в ходе проведенного исследования оценивался как количественное выражение уровня функционального состояния организма и его систем, характеризующее его способность адекватно и надежно реагировать на комплекс неблагоприятных факторов при экономной трате функциональных резервов, что позволяет предотвратить развитие преморбидного состояния. Адаптационный потенциал был рассчитан без проведения нагрузочных тестов, что позволило дать предварительную количественную оценку уровня здоровья обследуемых. При значении индекса адаптационного потенциала 69–100 % фиксируют низкое расходование адаптационных ресурсов, при 55–69 % – среднее расходование адаптационных ресурсов, а при индексе менее 50 % – фиксируют высокое расходование адаптационных ресурсов.

Полученные данные обрабатывали методами вариационной статистики с использованием пакетов прикладных программ «Statistica for Windows 6.0» и «SPSS for Windows 13.0». Для анализа нормальности распределения данных применяли критерий Шапиро – Уилка. Проведенный статистический анализ показал, что большинство выборок имеют распределение, отличное от нормального, поэтому проверку статистических гипотез в группах проводили с использованием непараметрических критериев Манна – Уитни, Краскела – Уоллиса. При построении графиков исследуемых показателей проводили операцию сглаживания с помощью программы «Mathcad 2000». Отличия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Показатели работоспособности по производительности и качеству корректурной работы представлены в табл. 2. Полученные данные свидетельствуют о том, что работоспособность, оцениваемая по показателям производительности и качества работы, не зависит от условий освещения (светодиоды, люминесцентные лампы).

Таблица 2. Показатели работоспособности в зависимости от условий освещения ($M \pm m$)

Показатели работоспособности	Освещение с использованием люминесцентных ламп	Освещение с использованием светодиодов	Значимость различий
Производительность, количество просмотренных знаков	23044±962	23602±1000	$p > 0,05$
Качество работы, количество ошибок	124±12	117±12	$p > 0,05$

При оценке динамики психофизиологического состояния работающих в различных условиях освещения выявлено преимущество светодиодного освещения по сравнению с люминесцентным. Получено, что динамика показателей, достоверно свидетельствующая о развитии утомления, выявлена только по одному из 15 изученных показателей при светодиодном освещении; при люминесцентном освещении – уже по 9 показателям. Тожественные изменения показателей при различных условиях освещения выявлены в 5 случаях. Наиболее выраженные различия в изменениях психофизиологического состояния можно проиллюстрировать динамикой показателя КЧСМ (критической частоты слияния световых мельканий), используемого как показатель интегрального состояния зрительного анализатора (чем выше уровень КЧСМ, тем менее утомлен глаз). На рис. 2 представлена динамика этого показателя в различных условиях освещения.

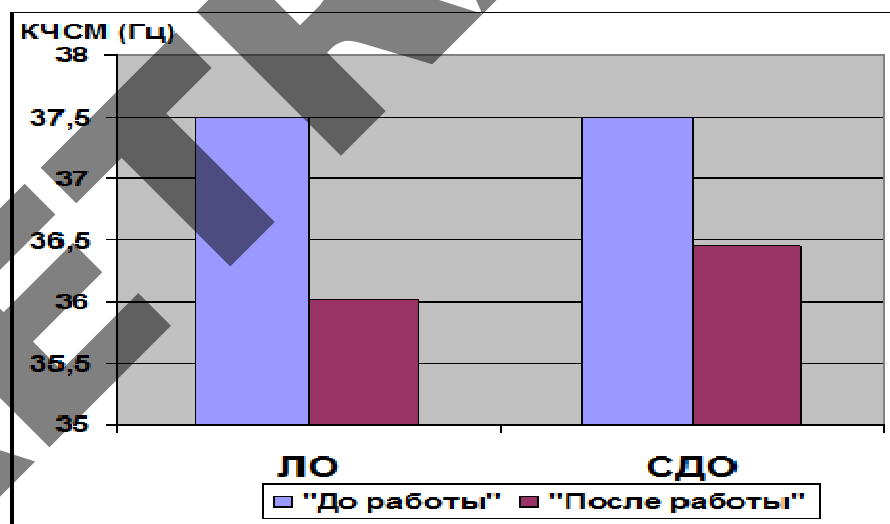


Рис. 2. Динамика показателя КЧСМ при люминесцентном (ЛО) и светодиодном освещении (СДО)

Отрицательная динамика в условиях люминесцентного освещения составляет 5 % ($p < 0,005$), в то время как в условиях светодиодного освещения – только 1,8 % ($p \leq 0,01$). Аналогичные данные, свидетельствующие в пользу светодиодного освещения, получены по латентному компоненту «простой сенсомоторной реакции» (табл. 3).

Таблица 3. Латентный компонент сенсомоторной реакции ($M \pm m$) и его динамика в ходе проведенного исследования

Латентный период, мс	Люминесцентное освещение	Светодиодное освещение	Значимость различий
«До работы»	212,6 ± 25,9	214,5 ± 39,2	$p > 0,05$
«После работы»	208,9 ± 22,2	207,2 ± 23,7	$p > 0,05$
d («До» – «После»), Гц	3,60	7,28	$p < 0,05$
D («До» – «После»), %	1,69 %	3,39 %	$p < 0,05$

Примечание. d – динамика абсолютных показателей (Гц), D – динамика относительных показателей (%).

Результаты исследования показали, что чем меньше латентный период реакции, тем лучше психофизиологическое состояние испытуемых. Динамика показателя «концентрации внимания» (время операций в корректурной пробе) иллюстрирует преимущество светодиодов перед люминесцентным освещением. При люминесцентном освещении увеличивается время на одну операцию, то есть проявляется заторможенность ответной реакции. При светодиодном освещении это явление не наблюдается (рис. 3).

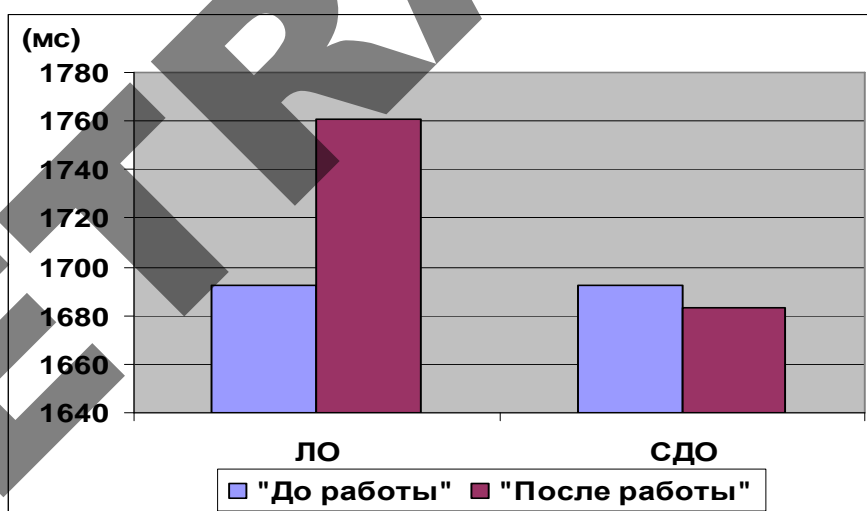


Рис. 3. Динамика показателя концентрации внимания при люминесцентном (ЛО) и светодиодном освещении (СДО)

Результаты оценки адаптации волонтеров до и после нагрузки в условиях люминесцентного и светодиодного освещения в табл. 4. После окончания функциональной нагрузки в условиях люминесцентного освещения отмечается достоверное снижение удовлетворительного уровня адаптации на 22,8 % (до 70,9 %; $p < 0,05$), в 3,4 раза возрастает

частота напряжения адаптации (до 21,5 %), фиксировались случаи неудовлетворительной адаптации (7,6 %). В условиях светодиодного освещения отмечалось менее выраженное снижение адаптационного потенциала после нагрузки: удовлетворительный уровень адаптации снизился на 10,8 % (до 82,0 %), в 2 раза возросла распространенность напряжения адаптации (до 12,0 %), увеличились случаи неудовлетворительной адаптации (до 6,0 %). Таким образом, интенсивная зрительная и умственная нагрузка ведет к снижению адаптационного потенциала у волонтеров, однако в условиях светодиодного освещения, по сравнению с люминесцентным, почти в 2 раза реже отмечается напряжение адаптации.

Таблица 4. Оценка адаптации волонтеров до и после нагрузки в условиях люминесцентного и светодиодного освещения

Уровни адаптации	Условия освещения							
	люминесцентное освещение				Светодиодное освещение			
	до нагрузки (n=30)		после нагрузки (n=30)		до нагрузки (n=30)		после нагрузки (n=30)	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Удовлетворительная адаптация, 69-100%	74	93,7	56	70,9	77	92,8	68	82,0
Напряжение адаптации, 50-69%	5	6,3	17	21,5	5	6,0	10	12,0
Неудовлетворительная адаптация, 29-50%	-	-	6	7,6	1	1,2	5	6,0
Срывы адаптации, 0-29%	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: n – общее количество исследований, N – количество случаев.

Выводы

1. При нормативных показателях условий освещения: освещенность 400 лк, показатель дискомфорта не более 15 ед., пульсация освещенности не более 10 % работоспособность взрослых людей при выполнении работы корректорского типа с дифференцировкой (преимущественно зрительная нагрузка с умственной компонентой) в условиях светодиодного освещения не отличается от работоспособности в условиях люминесцентного освещения.
2. Анализ психофизиологического статуса работающих после 90 мин зрительной и умственной нагрузки, имитировавшей полный рабочий день, свидетельствует, что светодиодное освещение обеспечивает более длительную продолжительность устойчивой работоспособности, чем люминесцентное освещение.
3. Оценка адаптационного потенциала организма после интенсивной зрительной и умственной нагрузки выявила более выраженное напряжение адаптации при

люминесцентном освещении по сравнению со светодиодным (12,0 % при светодиодном освещении против 21,5 % при люминесцентном освещении).

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (государственный контракт № 14.516.11.0091 от 01.07.2013г).

Список литературы

1. Брейнард Г. К. Восприятие света как стимул незрительных реакций человека / Г. К. Брейнард, И. Провенсио // Светотехника. – 2008. – № 1. – С. 6–12.
2. Бурняшев А. Б. Современные мощные светодиоды и их оптика / А. Б. Бурняшев // Современная электроника. – 2006. – № 1. – С. 24–27.
3. Вернер А. Возрастные изменения пропускания хрусталиком глаза излучений натриевых и металлогалогенных ламп высокого давления / А. Вернер // Светотехника. – 2007. – № 2. – С. 15–16.
4. Гизингер О. Исследовательские подходы в области безопасности освещения в условиях мегаполиса / О. Гизингер, М. Осиков, О. Бокова, и др. // Полупроводниковая светотехника. – 2013. – Т. 1. – № 21. – С. 60–61.
5. Гизингер О. А. Методология исследований в области безопасности освещения / О. А. Гизингер, М. В. Осиков, Е. Л. Куренков, О. И. Огнева, М. О. Матвеев, О. Р. Бокова // Современная медицина: актуальные вопросы. – 2013. – № 19. – С. 46–51.
6. Гизингер О. А. Мониторинг функционально-метаболического статуса фагоцитирующих клеток под действием квантов света, генерируемых лазером низкой интенсивности ик-диапазона (850 нм) / О. А. Гизингер, О. И. Огнева, М. В. Осиков, М. О. Матвеев // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 3. – С. 77–78.
7. Гридин В. Н. Полупроводниковая лампа – источник освещения будущего / В. Н. Гридин, И. В. Рыжиков, В. Н. Щербаков // Автоматизация в промышленности. – 2007. – № 7. – С. 63–65.
8. Долгушин И. И. Нейтрофилы и гомеостаз / И. И. Долгушин, О. В. Бухарин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 288 с.
9. Кришталь В. С. Влияние цветности освещения на психофизиологическое состояние человека / В. С. Кришталь, Ф. П. Говоров // Світлотехніка та електроенергетика. – 2005. – № 5. – С. 20–24.
10. Кришталь В. С. Моделирование процессов в осветительных установках с учетом цветосветового воздействия на организм человека / В. С. Кришталь, Н. А. Марченко // Електроніка та системи управління. – 2007. – № 4 (14). – С. 124–131.

11. Кучма В. Р. Гигиенические аспекты применения светодиодных источников в системах общего искусственного освещения / В. Р. Кучма, Л. М. Текшева, Д. С. Надеждин, И. В. Звезда // Гигиена и санитария. – 2011. – № 2. – С. 41–45.

12. Осиков М. В. Медико-биологические и санитарно-гигиенические аспекты инновационных технологий уличного, интерьерного и промышленного освещения / М. В. Осиков, Л. Ф. Телешева, О. А. Гизингер, О. И. Огнева и др. // Известия высших учебных заведений. Уральский регион. – 2012. – № 4. – С. 181–187.

Рецензенты:

Куренков Е. Л., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой анатомии человека ГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Челябинск.

Головнева Е. С., д.м.н., профессор кафедры нормальной физиологии ГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Челябинск.