

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

EDN: <https://elibrary.ru/npsqoz>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-10-657-663>

УДК 613:5:644.36

© Коллектив авторов, 2022

Капцов В.А.¹, Дейнего В.Н.¹, Почтарёва Е.С.²**Гигиенические проблемы светодиодного освещения**¹ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» Роспотребнадзора, Пакгаузное шоссе, 1, Москва, 125438;²ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», пр-т Будённого, 31, Москва, 105275

Работа посвящена физиолого-гигиенической безопасности использования светодиодных источников света, анализу отечественных и зарубежных материалов, анализу условий труда и обучения при использовании светодиодных ламп. Проведён поиск литературы по базам данных *Scopus*, *Web of Science* и др.

Цель исследования — изучение биологического действия света на человека остаётся актуальной проблемой гигиены освещения. Авторы статьи изложили своё отношение к ряду научных работ по данной проблеме, выбрав самые значимые. Изучено свыше 23 работ по научному изучению влияния на организм человека светодиодного освещения в сравнении с люминесцентным и лампами накаливания.

Выполненные исследования, по оценке влияния светодиодного освещения на функциональное состояние и работоспособность железнодорожников с использованием утверждённых методик профессионального отбора выявили изменения негативного характера. Это выразилось в некотором снижении функциональной устойчивости к цветоразличению зелёного и красного сигналов, а также в увеличении времени реагирования сложной зрительно-моторной реакции и значимом снижении готовности к экстремному действию обследованных лиц.

Проведённые исследования показали, что светодиодное освещение влияет не только на глаза, но и на гормональную систему человека, на его психофизиологическое состояние, работоспособность и утомляемость

Этика. Данное исследование не требовало заключения этического комитета.

Ключевые слова: *светодиодное освещение; световой стресс; паттерн; зрительный анализатор*

Для цитирования: Капцов В.А., Дейнего В.Н., Почтарёва Е.С. Гигиенические проблемы светодиодного освещения. *Мед. труда и пром. экол.* 2022; 62(10): 657–663. <https://elibrary.ru/npsqoz> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-10-657-663>

Для корреспонденции: Почтарёва Елена Сергеевна, врач-методист ФГБНУ «НИИ МТ» РАН. E-mail: pochtareva@iriioh.ru

Участие авторов:

Капцов В.А. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание и редактирование текста;

Дейнего В.Н. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание и редактирование текста;

Почтарёва Е.С. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание и редактирование текста.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 25.10.2022 / Дата принятия к печати: 10.11.2022 / Дата публикации: 25.11.2022

Valery A. Kaptsov¹, Vitaly N. Deinego¹, Elena S. Pochtareva²**Hygienic problems of LED lighting**¹All-Russian Research Institute of Transport Hygiene of Rospotrebnadzor, 1, Pakgauznoe highway, Moscow, 125438;²Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonno Ave., Moscow, 105275

The work is devoted to the physiological and hygienic safety of the use of LED light sources, the analysis of domestic and foreign materials, the analysis of working conditions and training when using LED lamps. The literature was searched in the databases *Scopus*, *Web of Science*, etc.

The study of the biological effect of light on humans remains an urgent problem of lighting hygiene. The authors of the article outlined their attitude to a number of scientific papers on this issue, choosing the most significant ones.

The authors of the article studied over 23 works on the scientific study of the effect of LED lighting on the human body in comparison with fluorescent and incandescent lamps.

The studies carried out to assess the impact of LED lighting on the functional state and performance of railway workers using approved professional selection methods revealed negative changes. This was expressed in a slight decrease in the functional resistance to color discrimination of green and red signals, as well as in an increase in the response time of a complex visual-motor reaction and a significant decrease in the readiness for emergency action of the examined persons.

Studies have shown that LED lighting affects not only the eyes, but also the human hormonal system, its psychophysiological state, performance and fatigue.

Ethics. This study did not require an ethics committee opinion.

Keywords: *LED lighting; light stress; pattern; visual analyzer*

For citation: Kaptsov V.A., Deinego V.N., Pochtareva E.S. Hygienic problems of LED lighting. *Med. труда i prom. ekol.* 2022; 62(10): 657–663. <https://elibrary.ru/npsqoz> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-10-657-663> (in Russian)

For correspondence: Elena S. Pochtareva, methodologist, Izmerov Research Institute of Occupational Health. E-mail: pochtareva@iriioh.ru

Information about the authors: Kaptsov V.A. <https://orcid.org/0000-0002-3130-2592>
Pochtareva E.S. <https://orcid.org/0000-0002-6493-502X>

Contribution:

Kaptsov V.A. — research concept and design, data collection and processing, text writing and editing;

Deinego V.N. — concept and design of the study, data collection and processing, writing and editing the text;

Pochtareva E.S. — concept and design of the study, data collection and processing, writing and editing text.

Financing. The study was not sponsored.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Received: 25.10.2022 / Accepted: 10.11.2022 / Published: 25.11.2022

Чувствительность клеток зрительного анализатора и их митохондрий (антиоксиданты системы защиты) к спектрально-энергетическому паттерну света во многом определяет энергетику клеток, их функциональную устойчивость и жизнеспособность в условиях светового стресса. Это определяет взаимосвязанное функционирование и устойчивость процессов электронного переноса при окислительно-восстановительных реакциях в клетках зрительного анализатора, структурах мозга, от которых зависит здоровье человека, его работоспособность и долголетие [1].

В общественной медицине именно гигиена занимается вопросами профилактики болезней, путём формирования гигиенических условий окружающей среды.

В 2021 г. вышла в свет книга [2], в которой авторы сформулировали основные законы гигиены света и теоретические основы спектров искусственных источников света, а также концепцию создания полупроводниковых источников белого света со спектром, адекватным солнечному излучению, в том числе в видимом диапазоне.

Данная концепция вписывается в общую государственную концепцию природоподобных технологий, принятую в нашей стране, а также является теоретической основой для перспективных разработок полупроводникового источника белого света со спектром, подобным солнечному излучению в видимом диапазоне длин волн.

В книге представлены современные вопросы эволюции искусственного освещения, изменения формы (паттерна) спектрально-энергетических характеристик света и их влияние на функционирование зрительного анализатора человека, его здоровье, здоровье последующих поколений и окружающую среду, создание оптимальной цветовой и световой среды на рабочих местах основных профессий, профилактических мероприятий, направленных на снижение общего и зрительного утомления в процессе работы.

В результате проведённой работы сформированы предложения для установления санитарно-эпидемиологических требований к уровням освещённости от светодиодных источников света, методам и периодичности контроля на рабочих местах. Проведено сравнение воздействия на организм человека люминесцентного, светодиодного освещения и ламп накаливания [3].

В настоящее время повсеместно в качестве источников света используются светодиодные лампы.

Светодиод (СИД — светоизлучающий диод, от англ. *LED — light-emitting diode*) — это полупроводниковый источник света, содержащий один или несколько испускающих свет кристаллов, расположенных в одном корпусе с линзой, формирующей световой поток. Принцип его работы основан на явлении электролюминесценции — холодного свечения, возникающего при протекании тока.

Излучаемый светодиодом свет лежит в узком диапазоне спектра. Иными словами, его кристалл изначально излучает конкретный цвет (если речь идёт об СД видимого диапазона) — в отличие от лампы, излучающей более широкий спектр, где нужный цвет можно получить лишь

применением внешнего светофильтра. Диапазон излучения светодиода во многом зависит от химического состава использованных полупроводников и используемого люминофора [4, 5].

Светодиод является низковольтным прибором. Для индикаторных видов напряжение питания должно составлять 2–4 В при токе до 50 мА. Диоды для освещения потребляют такое же напряжение, но сила электрического и тока выше — достигает 1 ампер. В модуле суммарное напряжение диодов оказывается равным 12 или 24 В [6].

С экономической и технической точек зрения, в сравнении с традиционными источниками света качественные светодиоды имеют ряд преимуществ: малое энергопотребление, длительный срок эксплуатации, устойчивость к механическим и климатическим воздействиям, отсутствие ртути и, соответственно, упрощённый порядок утилизации. Светодиодные лампы предназначены для использования, как наружного, так и внутреннего освещения [7, 8].

Современная окружающая световая среда человека формируется как естественным источником (солнце), так и энергосберегающими источниками света, к которым относятся светодиоды и компактные люминесцентные лампы. Проблемы гигиенической оценки фотобиологической безопасности световой среды находятся на стыке метрологии светотехнических параметров энергосберегающих источников света, их фотобиологической безопасности и оценки рисков возникновения болезней, как зрительного анализатора человека, так и организма в целом [9]. Специалист по проблемам профилактической медицины, доктор медицинских наук Никберг И.И. в своих исследованиях отмечал, что искусственное освещение должно соответствовать следующим гигиеническим требованиям:

- обеспечивать необходимый нормативный уровень освещённости локальной и общей освещённости, её равномерности и комфортной яркости;
- быть безопасным в пожарном отношении, не создавать дополнительный шум и тепловое воздействие на окружающую среду и человека;
- быть компактным, эстетичным, доступным для ухода и очистки;
- максимально приближаться к спектру видимого природного света.

Согласно прогнозам, сформированным в 2016 г., к 2050 г. почти 50% людей в мире будут близорукими [2]. Хотя генетика играет важную роль в близорукости, её резкое увеличение указывает на экологические факторы. Несколько исследований показали связь между зрительной работой в световой среде и близорукостью детей. Распространение этого заболевания хорошо коррелирует с массовым применением энергосберегающих и светодиодных ламп и устройств отображения информации.

В Российской Федерации отсутствует обязательная сертификация важнейших характеристик светотехнической продукции (индекса цветопередачи, светового потока, световой отдачи). Также не разработано должное гигиеническое нормирование светодиодных источников

света, что затрудняет их масштабное внедрение в качестве основного освещения. Более того, влияние и отдалённые последствия длительного воздействия светодиодного освещения на организм человека до конца не изучены. Все эти вопросы определяют стратегию создания безопасной световой среды для человека.

Специалисты ассоциации *CELMA*, которая разрабатывает стандарты, и руководства для светодиодного освещения в Европе провели сравнение спектров солнечного света и энергосберегающих источников света. При светодиодном освещении лампы первого поколения (синий кристалл — жёлтый люминофор) создаётся значительная избыточная доза синего света относительно спектра солнечного света той же цветовой температуры и одинакового уровня освещённости. В спектрах искусственных источников света имеются провалы и выбросы по значениям большим чем в спектре солнечного света с цветовой температурой менее 6500 К при уровне освещённости 500 люкс [10].

В настоящее время специалистами ФГУП «ВНИИО-ФИ», Всероссийский научно-исследовательский светотехнический институт имени С.И. Вавилова и ГУП РМ НИИИС имени А.Н. Лодыгина разработаны нормативные документы по метрологической оценке светотехнических параметров светодиодов (как источников белого света) и светодиодных светильников, которые могут служить основой для решения возникающих метрологических проблем. Фотобиологическая (светобиологическая) безопасность ламп и ламповых систем оценивается по методикам *IEC 62471:2006* (ГОСТ Р МЭК 62471-2013) [6, 7, 11].

К сожалению, эти документы являются аутентичным переводом технической документации производителя, а не результатом собственных исследований.

Согласно письму Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 17 мая 2017 года № 01/6110-17-32 «О возможности использования светодиодного освещения» возможно использование светодиодных ламп в общеобразовательных школах [12, 13, 14].

Однако в настоящее время санитарное законодательство ограничивает использование светодиодных источников освещения при организации систем искусственного освещения только в помещениях детских дошкольных учреждений [15].

В сетчатке человека присутствуют фоторецепторные клетки, вырабатывающие фотопигмент меланопсин. Меланопсин влияет на регуляцию циркадных ритмов, а также на уровень бодрствования. Клетки, содержащие меланопсин, наиболее чувствительны к свету, смещённому в синюю часть видимого спектра. Именно такой свет, как правило, излучают экраны электронных устройств. Таким образом, использование компьютеров при длительном использовании может повлиять на уровень бодрствования испытуемых, а следовательно, и на качество их ответов [16].

В результате проведённых экспериментов Научным центром здоровья детей РАМН при использовании светодиодных светильников было установлено:

- утомляемость испытуемых стала в 2 раза выше, по сравнению с люминесцентным освещением;
- работоспособность снизилась более, чем в 2 раза [17, 18].

Специалисты ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора провели работу по изучению возможности применения светодиодного освещения (светодиодных источников све-

та) на железнодорожном транспорте при выполнении работы в профессиях, связанных с безопасностью движения, прежде всего машинистов-водителей и диспетчеров-операторов. Выполненные исследования, по оценке влияния светодиодного освещения на функциональное состояние и работоспособность железнодорожников с использованием утверждённых методик профессионального отбора выявили изменения негативного характера. Это выразилось в некотором снижении функциональной устойчивости к цветоразличению зелёного и красного сигналов, а также в увеличении времени реагирования сложной зрительно-моторной реакции и значимом снижении готовности к экстренному действию обследованных лиц [19, 20].

Сотрудники ФГБОУ «Южно-Уральский государственный университет» в своих исследованиях отмечали, что у лиц в возрасте 20–25 лет ухудшилось свето- и цветовосприятие в конце проведённого исследования по оценке влияния светодиодного освещения на зрительный анализатор человека. Эта способность важна для таких профессий, как хирург, водитель авто- и мототранспорта, диспетчер и машинист поездов железных дорог, оператор атомных электростанций, а также специальных объектов Министерства обороны.

Проведённые исследования показали, что светодиодное освещение влияет не только на глаза, но и на гормональную систему человека, на его психофизиологическое состояние, работоспособность и утомляемость [21].

Регистрация показателей функционального состояния зрительного анализатора и общего функционального состояния до и после часовой дозированной умственной нагрузки, а также показателей работоспособности в процессе ее выполнения, позволяет для каждого источника освещения дать следующие характеристики.

Для традиционного освещения лампами накаливания изменения показателей функционального состояния зрительного анализатора имели следующий характер:

- функциональная устойчивость цветоразличения на красный сигнал значимо снизилась;
- функциональная устойчивость цветоразличения на зелёный сигнал практически не изменилась.

Вместе с тем диапазон аккомодации несколько повысился (характер тенденции). При использовании светодиодного светильника со стороны показателей зрительного анализатора наблюдались следующие изменения:

- значимое снижение функциональной устойчивости на красный сигнал;
- значимое снижение функциональной устойчивости на зелёный сигнал;
- незначительное снижение (характер тенденции) диапазона аккомодации.

Таким образом, учитывая изложенное, функциональное состояние зрительного анализатора при использовании лампы накаливания было достоверно выше (лучше).

При сравнительной оценке традиционного освещения лампой накаливания со светодиодным освещением по характеру изменения работоспособности первое имело общее значимое преимущество.

Позитивное изменение умственной работоспособности (менее выраженное ухудшение функционального состояния зрительного анализатора) в условиях применения лампы накаливания и незначительно лучший характер изменений показателей общего функционального состояния в условиях светодиодного освещения указывает на преимущество традиционного источника света [22].

При выполнении дозированной умственной нагрузки в условиях люминесцентного освещения изменение показателей функционального состояния зрительного анализатора имело следующий характер:

- диапазон аккомодации остался без изменений;
- функциональная устойчивость цветоразличения на красный сигнал значительно снизилась;
- функциональная устойчивость цветоразличения на зелёный сигнал также значительно снизилась.

Таким образом, функциональное состояние зрительного анализатора при использовании светодиодного источника света ухудшилось достоверно более значимо, чем при использовании люминесцентного источника света.

Проведённые предварительные исследования показали, что состояние человека-оператора при использовании лампы накаливания претерпевает слабое положительное изменение. При использовании светодиодного и люминесцентного освещения было замечено слабое негативное изменение при большей выраженности этой тенденции у светодиодного светилника.

Учитывая, что при изучении влияния светодиодных источников света было обнаружено их негативное влияние, касающееся показателей функционального состояния зрительного анализатора — снижение аккомодационной способности и функциональной устойчивости цветоразличения, показателей операторской работоспособности — снижению готовности к экстремному действию и стабильности реагирования на сигналы, а также то, что значительная часть результатов несла характер тенденций и получена на ограниченном количестве испытуемых (10 человек) с большим возрастным диапазоном (30–60 лет), все это требует продолжения исследований по доказательству преимуществ использования традиционных источников света против светодиодных и разработать требования к условиям применения светодиодных источников света, на железнодорожном транспорте, а также для работ в профессиях, связанных с безопасностью движения¹.

Цветовые сигналы несут определённую информацию и имеют огромное влияние на нашу жизнь, меняя настроение, эмоции, самочувствие [23, 24]. Чем больше цветов и оттенков, тем больше информации можно получить о видимом. Достоверность информации определяется спектром облучаемого света. Лучшим источником освещения является солнце. На базе отражённого света в зрительном анализаторе формируется цветной образ предмета. В настоящее время среди офтальмологов и светотехников получила распространение парадигма, основанная на трёхцветной гипотезе Юнга–Гельмгольца для модели распознавания цвета [25].

Проблема восприятия цвета является достаточно актуальной. Неадекватное распознавание цвета сигналов увеличивает риски возникновения внештатных ситуаций различной степени тяжести для человека и населения в целом [23, 24].

Особое внимание следует также уделить уличному освещению [26]. Из истории эволюции уличного освещения следует, что вопросами освещения всегда занимались первые лица государства. И эта традиция не изменилась и в наше время.

¹ Ибрагимова А.Г. Влияние параметров освещения на успешность выполнения когнитивных тестов. ФГБОУ Санкт-Петербургский государственный университет. Выпускная квалификационная работа. 2018 г.: 3–52.

С 2009 г. действует решение Президентской комиссии по модернизации экономики, по переводу страны с ламп накаливания сразу на светодиоды, минуя многолетний европейский опыт по внедрению энергосберегающих ламп [27].

В настоящее время освещение улиц дополняется подсветкой архитектурных деталей, рекламным освещением от огромных информационных экранов. Все это составляет световую среду улиц городов, где основными источниками света используются светодиоды.

В ночное время основным источником естественного света является луна, которая отражает солнечный свет. Когда мы говорим о влиянии света на здоровье и экологию, необходимо учитывать длины волн. Коротковолновый свет, особенно синий [28], ночью нарушает наши циркадные ритмы. У лунного света мало синего цвета, но много света в жёлто-оранжево-красном диапазоне. Всякий раз, когда мы используем свет в ночное время, мы должны убедиться, что он включается только по мере необходимости и хорошо экранирован.

Все вышеперечисленные явления состояния здоровья человека вызваны несоответствием спектра светодиодных светильников естественному солнечному, что и способствует негативному влиянию на людей, в частности, при работе с компьютером в течение длительного времени.

Компьютерные технологии широко внедряются в нашу домашнюю и профессиональную среду. В современных семьях с детьми школьного возраста имеется доступ к компьютерам с подключением к интернету. Это означает, что больше времени уходит на просмотр электронных экранов и цифрового контента. Мировая зависимость от электроники оказалась полезной во многих отношениях, но создаёт проблему не только для глаз, но и для гормональной и нервной систем организма [16, 29].

Из гигиенического анализа спектров устройств отображения информации следует отметить следующие:

- провал в области 480 нм — неадекватное управление диаметром зрачка глаза; увеличивает поглощение синей составляющей спектра;
- выброс в области синего света 450 или 460 нм — избыточная доза синего цвета подавляет синтез мелатонина, десинхронизирует циркадные ритмы
- отсутствие красного света 650 нм — снижает энергетический потенциал митохондрий.

При этом необходимо отметить, что поляризованный свет от монитора попадает на сетчатку пользователя устройств отображения информации. Это обусловлено физикой работы мониторов [30].

Офтальмологи отмечают устойчивый рост больных с симптомами зрительного напряжения, связанного с работой на компьютерах, таких как сухие, раздражённые глаза, затуманенное зрение, головные боли, боли в спине и шее. Единственным твёрдо установленным фактом являются расстройства зрения у пользователей. Они проявляются вначале повышенным зрительным утомлением, а затем рядом функциональных нарушений, объединённых термином «астенопия». В них входят неприятные ощущения в области глаз и временное ухудшение зрения при далеком и близком рассмотрении объектов [6, 31, 32].

Чтобы сохранить здоровье глаз и помочь взрослым, детям и подросткам приспособиться к цифровой жизни, оптическая промышленность инвестирует в новые технологии линз для минимизации нагрузки на глаза, так как все

возрастающее количество людей всех возрастных групп проводят больше времени перед экранами [31].

Компьютерные очки могут помочь глазам приспособиться к цифровым объектам, а антибликовое покрытие помогает снять напряжение глаз, смягчая влияние внутреннего и наружного освещения, а также способствует повышению контрастности цифрового контента.

Несмотря на наличие естественной защиты глаза, растут медицинские свидетельства, что чрезмерное поглощение синего света может повредить сетчатку, часть глаза, которая отвечает за фокусирование объектов. Это повреждение происходит, когда синий свет проникает в макулярный пигмент глаз и вызывает разрушение сетчатки и клеточную дегенерацию, делая глаза более уязвимыми к синему свету [28, 33].

Кроме того, светодиодные источники света негативно влияют на синтез мелатонина, циркадные ритмы; вызывают сонливость и ухудшают производительность труда. Этот недостаток побудил изготовителей светодиодов искать новые технологии, и были разработаны более безопасные светодиодные источники освещения. К сожалению, в Российской Федерации, не уделяется достаточно внимания этой проблеме, и в результате экономичные, но небезопасные светодиодные светильники получили широкое распространение, в том числе в образовательных учреждениях — при наличии экономичной и безопасной альтернативы [6, 31, 32].

Учитывая изложенное, при разработке стратегии безопасности световой среды особое внимание необходи-

мо уделять физиологическому и психофизиологическому аспекту [6, 34, 35]: скорости реакции, приспособлению организма человека к условиям окружающей среды, выносливости, индивидуальным показателям восприятия света сетчаткой глаза, особенностям сумеречного зрения. Именно с этим непосредственно связан санитарно-гигиенический аспект, включающий допустимые, а также оптимальные параметры световой среды [7, 8]. Следовательно, нормативная база для применения светодиодных источников света в качестве основного освещения должна разрабатываться только на основе комплексного подхода к изучению их влияния на показатели, отражающие функциональное состояние организма человека (психофизиологические, физиологические и психологические).

Во-вторых, ещё раз хотелось бы подчеркнуть, что нужно внимательно относиться к трансферу световых технологий и к так называемой гармонизации нормативных документов, не допуская механического переписывания технических требований производителя без проведения собственных научных исследований [12]. К сожалению, приоритеты производителя продукции зачастую отличаются от основополагающего принципа гигиены — не вредить.

В-третьих, необходимо разрабатывать свои полупроводниковые источники белого света с солнцеподобным спектром излучения как для общего освещения, так и для подсветки мониторов и автомобильных фар. Осветительные приборы и установки, разработанные на базе этих источников света, должны создавать минимальные уровни светового загрязнения окружающей среды.

Список литературы

1. Болахан В.Н., Ганапольский В.П., Шукина Н.А., Базылева Л.В. Комплексное исследование влияния светодиодных источников света на функциональное состояние организма человека. Сборник «Медицина и здравоохранение». Материалы V Международной научной конференции (г. Казань, май 2017 г.); Казань: 85–8.
2. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Эволюция искусственного освещения: взгляд гигиениста. РАН, ФГУП ВНИИГТ Роспотребнадзора. Москва; 2021.
3. Ронки А., Шанда Я. Функции относительной спектральной световой эффективности в стандартах и отклонения от них на практике. *Светотехника*. 2003; (4): 14–9.
4. Аладов А.В., Бирючинский С.Б., Дубина М.В., Закгейм А.А., Мизеров М.Н. Цветодинамически управляемый операционный светильник с полноцветным светодиодом. *Светотехника*. 2012; (2): 11–8.
5. Афонин И., Коваленко О., Гусева Е., Пильщикова Ю. Моделирование спектра солнечного излучения с помощью светодиодов. *Фотоника*. 2016; 56(2): 72–7.
6. Осико М.В., Гизингер О.А., Телешева Л.Ф., Долгушин И.И., Огнева О.И., Федосов А.А., Кудряшов А.В., Вахитов М.Г., Калинина А.С. Исследование эффективности и безопасности для здоровья светодиодных источников света. *Современные проблемы науки и образования*. 2013; 6: 566.
7. Технические характеристики люминесцентных ламп и светильников. Сравнительный анализ основных характеристик между светодиодными и люминесцентными светильниками. <https://chipstock.ru/remont/tehnicheskie-harakteristiki-lyuminescentnyh-lamp-i-svetilnikov.html>
8. В чём плюсы светодиодных светильников по сравнению с другими лампами? Официальный сайт органов власти МО «Селенгинский район». <https://admselenga.ru/2014/05/v-chem-plyusy-svetodiodnyh-lamp-po-sravneniyu-s-drugimi-lampami/>
9. Современный взгляд на люминесцентное и светодиодное освещение. ЦГиЭ в Сахалинской области. <https://sakhgig.ru/632-sovremenny-vzglyad-na-lyuminescentnoe-i-svetodiodnoe-osveschenie.html>
10. Опасность освещения светодиодами. *Энергосвет*. 2012; 4(23). http://www.energosvet.ru/bul_stat.php?idd=312
11. ГОСТ Р МЭК 62471-2013 Лампы и лампы системы. Светобиологическая безопасность. Каталог ГОСТ 2013.
12. Holden B.A. et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016; 123(5): 1036–42.
13. Huang H.M. et al., 2015. The association between near work activities and myopia in children — a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2015; 10(10): 0140419.
14. Письмо от 17 мая 2017 года № 01/6110-17-32 «О возможности использования светодиодного освещения». Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 2017.
15. Милушкина О.Ю., Скоблина Н.А., Маркелова С.В., Татаринчик А.А., Бокарева Н.А., Федотов Д.М. Оценка рисков здоровья школьников и студентов при воздействии обучающихся и досуговых информационно-коммуникационных технологий. *Анализ риска здоровью*. 2019; 3: 135–43.
16. Кучма В.Р., Текшева А.М. Гигиенические основы использования светодиодов в системах искусственного освещения. М ФГБУ ФГБУ «Научный центр здоровья детей» РАМН; 2013.
17. Прокофьева Е.С., Жуков В.В., Логаשוב Н.Б. Гигиенические аспекты светодиодных ламп. ГБОУ ВПО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России. *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. 2014; 4(5): 616.
18. Всероссийская Светотехническая конференция: 06.08.2020 г., доклад технического директора компании «МГК «Световые Технологии», к.т.н. А. Карева «Интегративное освещение общественных и жилых зданий. Во-

- просы проектирования». *Современная светотехника*. 2020; 3(65): 10–1.
19. Капцов В.А., Дейнего В.Н., Уласюк В.Н. «Особенности дневного освещения светодиодами белого света и здоровье человека». *Гигиена и санитария*. 2016; 7(95): 597–601.
 20. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Современный взгляд на люминесцентное и светодиодное освещение. *Санитарный врач*. 2017; 2: 45–50.
 21. Железникова О.Е., Кирюхин Ф.М., Подсеваткин В.Г., Кирюхина С.В. Исследование влияния светодиодного освещения на некоторые показатели газов и электролитов крови экспериментальных животных. *Современные проблемы науки и образования*. 2015; 2(2): 18.
 22. Всероссийская Светотехническая конференция: 06.08.2020 г. доклад к.т.н. Е. Ильиной из компании «ВЕГА-эко» г. Иваново, Проблемы освещения общественных и производственных помещений с точки зрения специальной оценки условий труда (СОУТ). *Современная светотехника*. 2020; 3(65): 2–7.
 23. Аладов А.В., Закгейм А.А., Мизеров М.Н., Черняков А.Е. «О биологическом эквиваленте излучения светодиодов и традиционных источников света с цветовой температурой 1800–10 000 К. *Светотехника*. 2012; 3.
 24. Росляков В.А. История совершенствования и анализ существующих методов исследования цветового зрения. Пороговая методика оценки цветоразличия. В кн.: «Цветовое зрение человека». М., 1993: 36–49.
 25. Орлов О.Ю. *Физиологические основы цветового зрения человека*. Сб.: Каиническая физиология зрения. Очерки. Под ред. А.М. Шамшиновой, 3-е изд. М., Научно-медицинская фирма МБН: 298.
 26. Колесников А.В. Исследовательская работа. «Энергоэффективное уличное освещение». Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение Саратовской области. Поволжский колледж технологий и менеджмента; 2016. <https://infourok.ru/issledovatel'skaya-rabota-energoeffektivnoe-ulichnoe-osveschenie-1592154.html>
 27. Решения Комиссии при Президенте по модернизации и технологическому развитию экономики России в части повышения энергоэффективности (по состоянию на октябрь 2010 года). М.; 2010.
 28. Крупинина В.С., Олексенко О.А., Попова Л.И. Повреждающее действие синего света ксенона на сетчатку. Кировская клиническая офтальмологическая больница реферат. *Фундаментальная медицина. IX Всероссийская научная конференция молодых учёных с международным участием «Актуальные проблемы офтальмологии 2014»*. <https://eyepress.ru/literatura.aspx?14262>
 29. Фатхудинова Л.М., Амиров Н.Х. Физиологическое обоснование допустимой продолжительности работы за видеотерминалом. *Мед. труда и пром. экол.* 1994; 1: 20–4.
 30. Дочев Д. Влияние дисплея на зрительный анализатор. В кн.: «Офтальмоэргономика: итоги и перспективы». М.; 1991: 28–9.
 31. Зак П.П., Островский М.А. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков. *Энергосвет*. 2012; 5(24): 192.
 32. Компьютерный зрительный синдром: четверть века противоречий. https://video.organum-visus.ru/media/filer_public/ec/0d/ec0d02f8-65cd-4fcb-8981-7987547963a9/computer_vision_syndrome_2020_organum_visus.pdf (дата обращения 08.12.2017).
 33. Бижак Г., Кобав М.Б. Спектры излучения светодиодов и спектр действия для подавления секреции мелатонина. *Светотехника*. 2012; 3: 11–6.
 34. Кирюхина С.В., Подсеваткин В.Г., Железникова О.Е., Кирюхин Ф.М. Комплексная психофизиологическая оценка светодиодного освещения. ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева (национальный исследовательский университет)». *Фундаментальные исследования*. 2015; 8: 491–5.
 35. Влияние светодиодных ламп на здоровье человека. Электрик-инфо (онлайн журнал). <http://elektrik.info/main/fakty/976-vlianie-svetodiodnyh-lamp-na-zdorove-cheloveka.html>

References

1. Bolekhan V.N., Ganapolsky V.P., Shchukina N.A., Bazyleva L.V. A comprehensive study of the effect of LED light sources on the functional state of the human body. *Collection "Medicine and health care". Materials of the V International Scientific Conference (Kazan, May 2017)*. Kazan: 85–8.
2. Kaprtov V.A., Deinego V.N. The evolution of artificial lighting: a hygienist's perspective. RAS, All-Russian Research Institute of Railway Transport of Rospotrebnadzor. Moscow; 2021.
3. Ronki L., Shanda J. Functions of relative spectral luminous efficiency in standards and deviations from them in practice. *Svetotekhnika*. 2003; (4): 14–9.
4. Aladov A.V., Biryuchinsky S.B., Dubina M.V., Zakgeim A.L., Mizerov M.N. Color dynamically controlled operating light with full color LED. *Svetotekhnika*. 2012; (2): 11–8.
5. Afonin I., Kovalenko O., Guseva E., Pilshchikova Yu. Modeling the solar radiation spectrum using LEDs. *Fotonika*. 2016; 56(2): 72–7.
6. Osiko M.V., Gizinger O.A., Telesheva L.F., Dolgushin I.I., Ogneva O.I., Fedosov A.A., Kudryashov A.V., Vakhitov M.G., Kalinina A.S. Research on the effectiveness and health safety of LED light sources. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013; 6: 566.
7. Technical characteristics of fluorescent lamps and fixtures. Comparative analysis of the main characteristics between LED and fluorescent lamps. <https://chipstock.ru/remont/tehnicheskie-harakteristiki-lyuminestsentnyh-lamp-i-svetilnikov.html>
8. What are the advantages of LED lamps compared to other lamps? Official site of the authorities of the municipality "Selenginsky district". <https://admselenga.ru/2014/05/vchem-plyusy-svetodiodnyh-lamp-po-sravneniyu-s-drugimi-lampami/>
9. A modern take on fluorescent and LED lighting. Center of Hygiene and Epidemiology in the Sakhalin region. <https://sakhgig.ru/632-sovremennyy-vzglyad-na-luminescentnoe-i-svetodiodnoe-osveschenie.html>
10. The danger of LED lighting. *Energosvet*. 2012; 4(23). http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?id=312
11. GOST R MEK 62471-2013 Lamps and lamp systems. Light safety. Catalog GOST 2013.
12. Holden B.A. et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016; 123(5): 1036–42.
13. Huang H.M. et al., 2015. The association between near work activities and myopia in children — a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2015; 10(10): 0140419.
14. Letter dated May 17, 2017 No. 01/6110-17-32 "On the possibility of using LED lighting." Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare; 2017.
15. Milushkina O.Yu., Skoblina N.A., Markelova S.V., Tatarinchik A.A., Bokareva N.A., Fedotov D.M. Assessment of risks to the health of schoolchildren and students under the influence of educational and leisure information and communication technologies. *Analiz riska zdoroviyu*. 2019; 3: 135–43.

16. Kuchma V.R., Teksheva A.M. Hygienic bases of use of light-emitting diodes in systems of artificial lighting. Scientific Center for Children's Health, RAMS; 2013.
17. Prokofieva E.S., Zhukov V.V., Logashova N.B. Hygienic aspects of LED lamps. Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky. *Bulleten meditsinskikh internet-konferentsiy*. 2014; 4(5): 616.
18. All-Russian Lighting Conference: 08/06/2020, report by the technical director of the company "MGK" Lighting Technologies", candidate of technical sciences A. Karev "Integrative lighting of public and residential buildings. Design issues. *Sovremennaya svetotekhnika*. 2020; 3(65): 10–1.
19. Kaptsov V.A., Deinego V.N., Ulasyuk V.N. "Peculiarities of daylight illumination by white light LEDs and human health". *Gigiyena i sanitariya*. 2016; 7(95): 597–601.
20. Kaptsov V.A., Deinego V.N. A modern take on fluorescent and LED lighting. *Sanitarnyj vrach*. 2017; 2: 45–50.
21. Zheleznikova O.E., Kiryukhin F.M., Podsevatkin V.G., Kiryukhina S.V. Study of the effect of LED lighting on some indicators of blood gases and electrolytes in experimental animals. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015; 2(2): 18.
22. All-Russian Lighting Conference: 08/06/2020, report by E. Ilyina, Candidate of Technical Sciences from the VEGA-eco company, Ivanovo, Problems of lighting public and industrial premises from the point of view of a special assessment of working conditions. *Sovremennaya svetotekhnika*. 2020; 3(65): 2–7.
23. Aladov A.V., Zakgeim A.L., Mizerov M.N., Chernyakov A.E. "On the biological equivalent of the radiation of LEDs and traditional light sources with a color temperature of 1800–10 000 K. *Svetotekhnika*. 2012; 3.
24. Roslyakov V.A. History of improvement and analysis of existing methods for the study of color vision. Threshold method for assessing color discrimination. In the book: "Color vision of man". M., 1993: 36–49.
25. Orlov O.Yu. *Physiological basis of human color vision*. Sat: Clinical physiology of vision. Essays. Edited by A.M. Shamshinova, 3rd ed. M., Scientific and medical firm MBN: 298.
26. Kolesnikov A.V. Research work. "Energy efficient street lighting." State Autonomous Vocational Educational Institution of the Saratov Region. Volga Region College of Technology and Management; 2016. <https://infourok.ru/issledovatelskaya-rabota-energoeffektivnoe-ulichnoe-osveschenie-1592154.html>
27. Decisions of the Commission under the President for the Modernization and Technological Development of the Russian Economy in terms of increasing energy efficiency (as of October 2010). M.; 2010.
28. Krupinina V.S., Oleksenko O.A., Popova L.I. The damaging effect of xenon blue light on the retina. Kirov clinical ophthalmological hospital abstract. *Fundamental medicine. IX All-Russian scientific conference of young scientists with international participation "Actual problems of ophthalmology 2014"*. <https://eyepress.ru/literatura.aspx?14262>
29. Fatkhudinova L.M., Amirov N.Kh. Physiological substantiation of the permissible duration of work at the video terminal. *Med. truda i prom. ecol*. 1994; 1: 20–4.
30. Dochev D. Influence of the display on the visual analyzer. In the book: "Ophthalmoeconomics: results and prospects". M.; 1991: 28–9.
31. Zak P.P., Ostrovsky M.A. Potential danger of LED lighting for the eyes of children and teenagers. *Energosvet*. 2012; 5(24): 192.
32. Computer vision syndrome: a quarter of a century of controversy. https://video.organum-visus.ru/media/filer_public/ec/0d/ec0d02f8-65cd-4fcb-8981-7987547963a9/computer_vision_syndrome_2020_organum_visus.pdf (accessed 08.12.2017).
33. Bizhak G., Kobav M.B. Emission spectra of LEDs and the action spectrum for the suppression of melatonin secretion. *Svetotekhnika*. 2012; 3: 11–6.
34. Kiryukhina S.V., Podsevatkin V.G., Zheleznikova O.E., Kiryukhin F.M. Comprehensive psychophysiological assessment of LED lighting. FSBEI HPE Mordovian State University named after N.P. Ogaryova (National Research University). *Fundamentalnye issledovaniya*. 2015; 8: 491–5.
35. The impact of LED lamps on human health. Electrician-info (online journal). <http://elektrik.info/main/fakty/976-vliyanie-svetodiodnyh-lamp-na-zdorove-cheloveka.html>