УДК: 628.987 DOI: 10.53816/23061456_2022_3–4_167

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ СВЕРХЭФФЕКТЫ РЕГУЛИРУЕМЫХ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ

THE POTENTIAL OVEREFFICIENCIES OF ADJUSTABLE LIGHTING SYSTEMS

И.Е. Васильева, д-р техн. наук А.Г. Сайбель

I.E. Vasileva[1], D.Sc. A.G. Saybel[1, 2]

[1]АО «Обуховский завод», [2]Санкт-Петербургский университет МВД

В статье представлен исторический анализ эволюции систем электрического освещения и итоги исследований воздействия различных участков спектра светового излучения на самочувствие человека. Обоснован вариант спектра искусственного источника света, оказывающего минимальное отрицательное влияние на здоровье человека. В процессе разработки современных систем освещения с возможностью регулирования основных характеристик, которыми в дальнейшем будут оснащаться объекты оборонной техники, в качестве перспективы использования совокупности возникающих новых свойств инновационных изделий, предложена авторская концепция применения регулируемых систем освещения как инструмента для оценивания и исследования психофизиологического состояния оператора.
Ключевые слова: освещение, виды освещения, воздействие освещения на оператора, освещение аппаратных, спектральный состав освещения.

The article presents a historical analysis of the evolution of electric lighting systems and the results of studies on the effects of different parts of the spectrum of light radiation on human health. A variant of the spectrum of the artificial light source, which has a minimal negative impact on human health, is substantiated. In the process of developing modern lighting systems with the possibility of regulating the main characteristics, which in the future will be equipped with objects of defense technology, as a prospect of using the combination of emerging new properties of innovative products, the author proposed the concept of using adjustable lighting systems as a tool for assessing and studying the psychophysiological state of the operator.
Keywords: lighting, types of lighting, the effects of lighting on the operator, hardware lighting, spectral composition of lighting.

Введение

Среда обитания и осуществления деятельности человека в качестве необходимого элемента имеет освещение, обеспечивающее возможность зрительного восприятия окружающей действительности. Зрительный канал является наиболее информативным. Вся история человечества может рассматриваться с точки зрения взаимодействия видимого излучения и человека разумного, развивавшегося при свете Солнца, являющегося основой жизнедеятельности человечества.

В ходе эволюции люди, стремящиеся к бодрствованию в темное время суток, постоянно изобретали новые, соответствующие этапу технического развития, источники света.

Эпоха электрического освещения началась в конце XIX века, когда российский инженер Александр Николаевич Лодыгин получил свой всемирно известный патент (привилегия № 1619 от 11 июля 1874 г.) на «Способ и аппараты дешевого электрического освещения» [1]. До этого, 11 сентября 1873 года, первые электрические лампочки Лодыгина были зажжены на улицах Петербурга (рис. 1) [2].

Лампы накаливания на много лет стали не только основным источником искусственного света, но и основой медицинских приборов, служивших оцениванию состояния и восстановлению здоровья человека.

Российский военный врач, хирург А.В. Минин [3] начал применять лампы накаливания для лечения невралгий, суставных и мышечных болей, что описал в своих статьях 1899 г, ссылаясь на опыты С.Ф. фон Штейна и земского врача Г.И. Гачковского. В 1900 году Минин опубликовал статью о применении синего света для терапии травм и воспалений.

Излучающая синий свет «лампа Минина» до начала 70-х годов прошлого века была практически в каждой советской семье, вплоть до сегодняшнего дня подобные лампы выпускает Калашниковский электроламповый завод.

Рис. 1. Первый электрический фонарь. Российская империя, Санкт-Петербург, 1874 г.

Современные физиотерапевтические аппараты, основанные на светодиодах красного, инфракрасного, синего, ультрафиолетового и других цветов предназначены для лечения заболеваний воздействием электромагнитного излучения невидимых и видимых излучений оптического диапазона на патологический очаг или организм в целом при острых, воспалительных и хронических заболеваниях.

Очевидно, что на организм человека оказывают влияние все источники света (ИС), а не только созданные специально в медицинских целях. Помимо создания условий для рассмотрения окружающих объектов и положительного влияния, ИС могут создавать негативное воздействие [4, 5]. Наибольшей степенью достоверности обладают эксперименты по созданию и исследованию длительного воздействия различных видов источников света на организмы людей, выполняющих идентичные действия в одинаковых условиях в режиме многолетнего круглосуточного наблюдения. При этом создание достаточно больших групп людей, имеющих одинаковые показатели здоровья и состояния всех систем организма и обеспечение им идентичных круглосуточных условий жизни крайне затруднительно, особенно с учетом отсутствии гарантии нанесения вреда состоянию здоровья испытуемых.

Влияние искусственного освещения на организм человека

В процессе создания новых ИС изменяются требования к контролируемым свойствам световых потоков: например, 10 лет назад и более в экспериментах характеристики светодиодного освещения не учитывались [6] или разделялись только на светодиодные лампы «теплого света» и «холодного света», при том, что в настоящее время нормируются такие характеристики, как цветовая температура, коэффициент пульсаций, коэффициент цветопередачи и т.п.

Глаз и весь организм человека приспособлены к жизни при освещении белым светом, цветовая температура которого может изменяться в течение суток, в течение года, а также в зависимости от географической широты местности. Поэтому одной из важнейших характеристик качества светового потока является спектральный состав излучения, обеспечивающий суммарную цветовую температуру.

Если значительная часть первых сетодиодов (СД) имела цветовую температуру около 7000 К и синий цвет свечения, что отпугивало многих потенциальных потребителей, то за последнее время нижний диапазон «теплых» тонов свечения снизился с 2700 до 1500 К.

На основе вышеизложенных факторов было принято решение об отказе от экспериментов на людях в пользу изучения, анализа и систематизации результатов выполненных исследований не только на добровольцах, но и лабораторными методами на живых организмах [7].

На фоне спектров источников света различных видов на рис. 2 отражены некоторые изученные негативные влияния излучений отдельных длин волн на организм человека. Излучения с длиной волны более 770 нм (исходящие от горячего стекла или расплавленных металлов) могут вызывать помутнение хрусталика или «катаракту стеклодува» [8, гл. 19], электроофтальмия возникает вследствие воздействия ультрафиолетовых лучей [5].

Эффект «меланопсинового креста» возникает в случаях превышения в спектре излучателя (светодиодного источника света) величин амплитуд лучей синего цвета над величинами амплитуд лучей голубого цвета: зрачок, адаптированный к относительно равномерному солнечному спектру с максимумом в области голубого свечения, расширяется в соответствии с мощностью лучей голубого цвета, в результате чего пропускает на сетчатку увеличенный поток синего цвета свечения, который может вызывать необратимые изменения по мере накопления суммарной мощности воздействовавших световых потоков [4, 9].

Учитывая выявленные воздействующие факторы и их возможные последствия, авторами статьи предложен вариант спектра излучения светового прибора, оптимальным образом воздействующего на физическое состояние человека. Соответствующая кривая отражена на том же рисунке белой и черными линиями на фоне спектра Солнца.

В области видимого излучения спектр в основном подобен солнечному, но имеет более равномерный характер в области теплых световых тонов и резкий спад в зоне перехода в инфракрасную область. Провал в области длин волн 555 нм

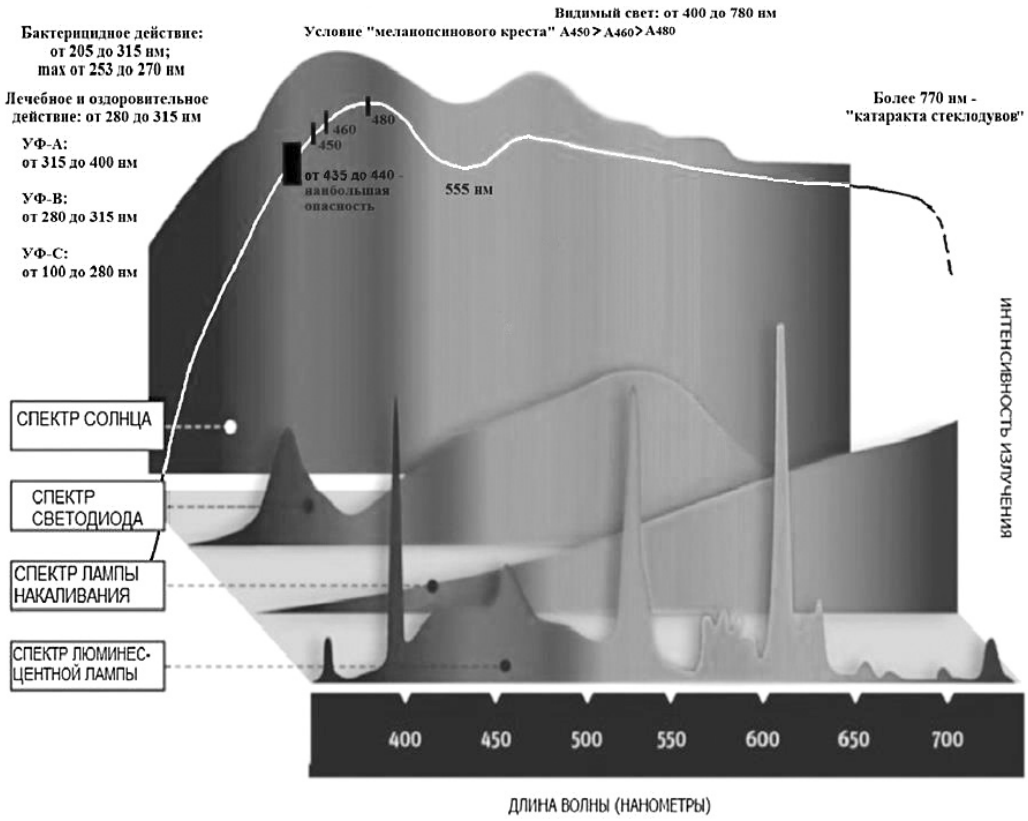

Рис. 2. Спектры различных источников света и влияние излучений отдельных длин волн на организм человека

обусловлен максимальной чувствительностью человеческого глаза в данной области [10]. В сине-голубой части, имеющей максимумы амплитудных значений в зоне около 480 нм, равномерный спад амплитуд, подобный спаду в солнечном спектре, сменяется более резким спадом значений в области синего цвета, переходя к отсутствию излучения в ультрафиолетовой области спектра.

Несмотря на большое число выявленных факторов и взаимосвязей, лабораторный характер исследований не гарантирует идентичности влияния на человека, являющегося наиболее сложной биолого-психологической системой.

Учитывая необходимость апробации современных систем освещения (СО), представляется обоснованным их создание в соответствии с совокупностью частных требований и практических возможностей при установке в замкнутых помещениях, не имеющих дневного освещения. Последующие исследования в идентичных условиях позволят оценить влияние освещения на человека.

Среднесуточные ритмы человека настроены на циклическое изменение цветовой температуры, а также уровней освещенности поверхностей в течение суток, что может быть обеспечено применением СО, допускающих помимо регулирования уровней светового потока (при условии сохранения минимального коэффициента пульсации светового потока) регулирование цветовой температуры.

Тестируемые СО могут иметь как программное обеспечение, позволяющее проводить организацию картин освещенности по заранее заданным или изменяемым алгоритмам, так и ручное управление, например, описанное в патенте [11], позволяющее выполнять регулирование уровней светового потока и цветовой температуры оператором самостоятельно.

На фоне разноплановых исследований влияния цветовой картины освещения на психофизиологическое состояние и работоспособность человека [12] возможно не только повторение наблюдений, идентичных описанным ранее, но и их проведение в улучшенных условиях. В частности, при уменьшенных значениях коэффициентов пульсаций и возросшем качестве передачи светового потока.

В случае применения регулируемых систем (например, по уровням освещенности и цветовой температуре) по характеру изменения настроек можно судить об исходном состоянии оператора и его динамике в течение рабочей смены.

Предположительно, специалисты, нацеленные на плодотворный трудовой день, выберут для себя условия, приближенные к нормализованным для выполняемой работы. Например, при умственной работе со средней степенью точности ожидаемые уровни освещенности рабочих поверхностей будут находиться в диапазоне от 300 до 400 лк при цветовых температурах от 3500 до 4000 К. В случае утомления или вечернего/ночного времени суток более комфортной может оказаться цветовая температура 3000 К и ниже на фоне некоторого снижения уровней освещенности. Оператор, желающий «подбодрить» себя, может увеличить уровни освещенности и значение цветовой температуры.

Система фиксации выбираемых оператором настроек, сохраняющая данные в течение продолжительного времени, позволит выполнить анализ расхождения настроек систем, выполняемых различными операторами, суточные и сезонные колебания настроек, а также оперативно выявлять кратковременные изменения в состоянии операторов.

Обоснование модели процесса косвенного контроля психоэмоционального состояния оператора

Полвека назад медленно гаснущий свет в зрительном зале был элементом сказочной атмосферы волшебного мира кино. Появившиеся в восьмидесятые годы бытовые регуляторы интенсивности освещения и светильники с изменяющейся диаграммой направленности стали техническим прорывом и вожделенной мечтой граждан советской страны. Современный уровень развития систем освещения позволяет удовлетворить самые смелые желания и реализовать любые по сложности проекты.

Светодиодные технологии освещения с цифровым управлением позволяют изготавливать многоточечные светильники направленными, протяженными с произвольной геометрией; обеспечивают возможность регулировать интенсивность и цветовую температуру светового потока. Низкое напряжение питания позволяет безопасно изменять пространственное положение источников света за счет гибких и подвижных

элементов крепления и применения шин питания в качестве рельсов для перемещения осветительных приборов. Появились технические приспособления — соединители с врезными контактами, позволяющие безопасно монтировать источники света на питающий провод без отключения электропитания системы [13].

Широкие возможности современных осветительных приборов помимо интерьеров жилых и общественных помещений активно используются в музейном деле, при обустройстве теплиц и во многих других областях народного хозяйства. Вместе с тем необходимо констатировать, что вопросам совершенствования СО аппаратных военного и специального назначения с учетом современных возможностей осветительных приборов пока уделяется недостаточное внимание.

Параметры СО влияют на степень и качество восприятия оператором органов управления и устройств отображения информации, что приводит, в конечном итоге, к влиянию качества освещения на успешность решения задач отдельными операторами и боевыми расчетами.

Важным элементом современных систем сбора, обработки и отображения информации является применение в качестве устройств отображения компьютерных мониторов, имеющих возможность регулирования интенсивности подсветки экрана, что не всегда учитывается в методиках контроля освещенности рабочих мест операторов.

Традиционный подход к организации системы освещения предполагает использование стационарных осветительных приборов, параметры которых подбираются таким образом, чтобы результаты контрольных измерений уровней освещенности на рабочем месте соответствовали требованиям СНиП, что может не совпадать с частной решаемой задачей и текущим состоянием оператора.

Представляется актуальным рассмотреть аппаратную системы вооружения и специальной техники с точки зрения целенаправленного процесса формирования СО с учетом многоплановости ее функционирования.

Элементами аппаратной, как автоматизированной системы, являются: оператор и система управления объектом, взаимодействие которых осуществляется в изменяющихся условиях. При этом оператор описывается переменным вектором параметров, а система управления объектом является универсальной, т.е. позволяющей осуществлять управляемое решение разноплановых задач в некотором количестве режимов.

Достигаемая цель является векторной функцией, аргументами которой выступают решаемые задачи и условия функционирования.

Набор решаемых задач вытекает из предназначения системы вооружения, а также определяется этапностью жизненного цикла технической системы. Современные системы вооружения, обеспечивая решение основных задач по реализации целевого предназначения, как правило, имеют набор режимов функционирования, выбор которых осуществляется в зависимости от числа и характеристик объектов взаимодействия и/или воздействия. Помимо режимов боевого дежурства, при проектировании систем вооружения учитываются и закладываются возможности осуществления ремонтных и регламентных работ, выполнения упражнений и контрольных тестов в рамках осуществления учебно-тренировочной деятельности и др.

В каждом из перечисленных случаев имеются особенности действий операторов, накладывающие требования на параметры СО: оператор, воспринимающий основную часть информации по зрительном каналу, с одной стороны, нуждается в ярком и контрастном освещении, обеспечивающем четкость воспринимаемых зрительных сигналов и образов, с другой стороны, должны быть минимизированы эффекты негативного биологического влияния освещения на органы зрения, как в краткосрочном, так и в долгосрочном плане.

При суточном дежурстве зрительная усталость не должна сказываться на качестве восприятия информации и, как следствие, качестве выполнения решаемых задач; при длительном (многолетнем) выполнении оператором своих функциональных задач не должен возникать накопительный эффект, приводящий к снижению качества оператора по показателю зрительного здоровья.

Рассматривая взаимосвязи в системе оператор — воспринимаемая информация с точки зрения теории управления решением поставленной задачи целесообразно отдельно описать подсистемы наблюдения и управления (рис. 3).

Подсистемой наблюдения является оператор, основным предназначением которого явля-

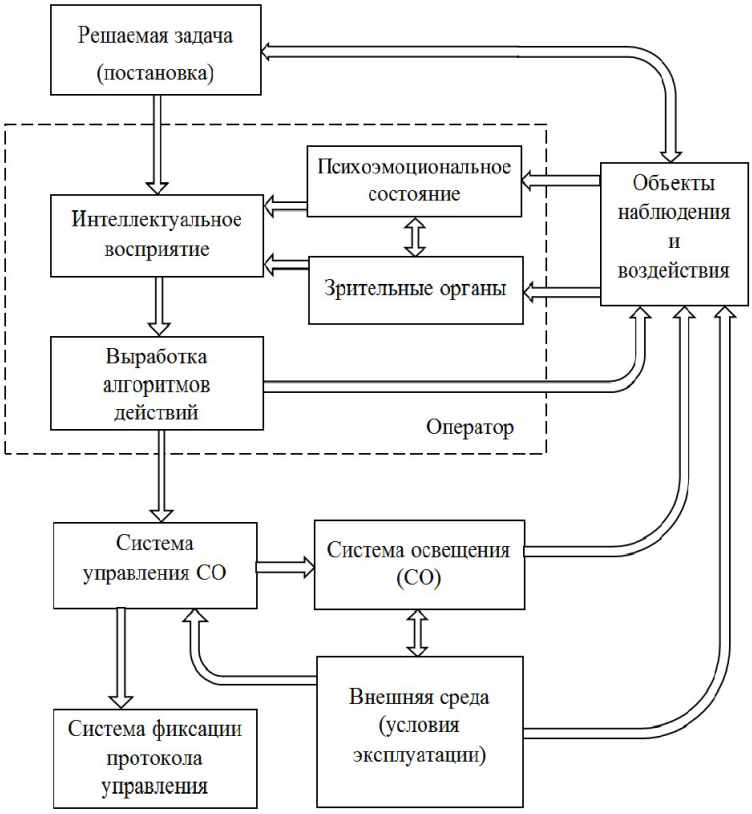

Рис. 3. Схема взаимосвязей системы «оператор — воспринимаемая информация»

ется интеллектуальное восприятие решаемой задачи и выработка алгоритма действий в соответствии с условиями текущей обстановки в рамках ограничений, накладываемых инструкциями. При этом учитывается, что на интеллектуальное восприятие, помимо решаемой задачи, оказывает влияние психоэмоциональное состояние оператора, которое, в свою очередь, может изменяться посредством влияния на нее той же самой поставленной задачи и наблюдаемых объектов.

Состояние зрительных органов, непосредственно наблюдающих за объектами, подверженное влиянию системы освещения и окружающей среды в целом (что не показано во избежание загромождения рисунка), тоже оказывает влияние на интеллектуальное восприятие решаемых задач, находясь во взаимосвязи с психоэмоциональным состоянием человека.

В итоге все вышеупомянутые факторы посредством интеллектуального восприятия оказывают влияние на выработку алгоритмов действий, которые могут состоять как в воздействии на наблюдаемые объекты, так и в регулировании параметров СО посредством системы управления с возможностью протоколирования выполняемых действий.

Наблюдаемый процесс воспринимается по-разному различными системами наблюдения (операторами) в силу их психологических и физических особенностей. Следовательно, каждый оператор, идентифицируемый как реализация системы наблюдения, имеет индивидуальные предпочтения при регулировке параметров СО.

Учитывая, что основной задачей оператора является принятие и выполнение корректного для возникшей ситуации решения, очевидна необходимость создания комфортных рабочих условий, в частности — оптимального освещения.

В случае создания системы, позволяющей помимо регулирования светотехнических параметров, осуществления записей и хранение протоколов управления параметрами освещения, возможно получение дополнительной информации, создающей возможность многопланового анализа и синтеза последующих поколений СО.

Длительное наблюдение за параметрами систем освещения на основе исследования протоколов управления призвано обеспечить:

– формирование исходных данных для исследований группового и индивидуального поведения операторов в системе управления вооружением, военной и специальной техники;

– выявление индивидуальных предпочтений операторов при решении набора типовых задач;

– возможность косвенно контролировать проявления и тенденции изменений психоэмоционального состояния операторов по отклонениям управленческого поведения от статистически выявленных шаблонов;

– практическое выявление динамических диапазонов регулируемых характеристик с целью учета в процессе разработки последующих поколений СО;

– параметрический синтез алгоритмов автоматизации системы управления освещением для формирования текущего оптимального вектора управления.

Заключение

Выполненный ретроспективный анализ тенденций развития систем освещения и их ролевой функции в системах специального назначения позволил сформулировать ряд выводов, учет которых призван способствовать совершенствованию систем управления освещением и в конечном итоге повысить эффективность процесса решения целевых задач.

Обоснованная форма спектра излучения искусственного источника света, минимизирующая вредные воздействия на организм человека, в соответствии с полученной научной информацией о воздействии различных диапазонов видимого излучения на организм человека может использоваться в качестве эталона при оценивании свойств реальных светильников.

Представленные итоги исследований свойств искусственных источников освещения, показывающие возможность создания на современном этапе развития заданных световых картин освещенности, сохраняющих здоровье человека и создающих оптимальные режимы для его плодотворной деятельности, предназначены для формирования конструктивных методик проектирования современных и перспективных образцов специальной техники.

Разработанная модель системы оператор — воспринимаемая информация с точки зрения теории управления решением поставленной задачи положена в основу обоснования необходимости создания современных регулируемых систем освещения, способствующих решению поставленных перед операторами автоматизированных систем и комплексов задач.

Предложенная авторская концепция многоцелевого использования информации, сохраняемой и систематизируемой при продолжительном протоколировании изменения настроек динамических систем освещения, призвана способствовать развитию теории и практики синтеза адаптивных эргономичных систем.

Литература

1. Шахов В.В. Александр Лодыгин / В.В. Шахов. — Рязань: Гэлион, 1998. 96 с.

2. Архитектурно-планировочная мастерская № 3: официальный сайт. 2022. URL: http://apmtri.ru/projects/blagoustrojstvo_v_sanktpeterburge/muzej_fonarej_na_odesskoj_ulice/ (дата обращения 02.02.2022).

3. URL: https://pikabu.ru/story/sinyaya_lampa_legenda _sssr_dlyafizioterapii_nadomu_7974721 (дата обращения 01.02.2022).

4. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Риски влияния света светодиодных панелей на состояние здоровья оператора //Анализ риска здоровью. 2014. № 4. С. 37–46.

5. ГОСТ Р МЭК 62471-2013 Лампы и ламповые системы. Светобиологическая безопасность / Photobiological safety of lamps and lamp systems: IEC 62471: 2006. Введ. 2013-06.09. — М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

6. Кучма В.Р., Сухарева Л.М., Текшева Л.М., Степанова М.И., Сазанюк З.И. Гигиенические аспекты применения светодиодных источников света для общего освещения в школах // Гигиена и санитария. 2013. Том 92. № 5. С. 27–31.

7. Патент РФ на полезную модель № 2531051. Способ оценки воздействия искусственного света на функции нейтрофильных гранулоцитов периферической крови: 19.09.2013 / Долгушин И.И., Телешева Л.Ф., Осиков М.В., Гизингер О.А., Огнева О.И.

8. Федоров С.Н., Ярцева Н.С., Исманкулов А.О. Глазные болезни: учебник для студентов медицинских вузов. — М.: 2005. 440 с.

9. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Нарушение меланопсинового эффекта сужения зрачка — фактор риска заболевания глаз // Анализ риска здоровью. 2017. № 1. С. 132–148.

10. ГОСТ 8.332 – 2013 ГСОЕИ Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения. Общие положения. — М.: Стандартинформ. 2019. 21 с

11. Патент РФ на полезную модель № 201078. Светодиодный светильник с регулируемой цветовой температурой: 26.11.2020 / Васильева И.Е., Сайбель А.Г.

12. Валов С.Л., Саляхутдинов Р.Р., Петров С.Б. Влияние освещенности на работоспособность человека // Авиценна. 2019. № 52. С. 12–14.

13. Соединитель 3М с врезным контактом SCOTCHLOK 534 1,5–2,5 мм^2. URL: https://www.onlinetrade.ru/catalogue/elektricheskie_klemmy-c6209/3m/ soedinitel_3m_s_vreznym_kontaktom_scotchlok_534_1_5_2_5mm2 (дата обращения 01.02.2022).

References

1. Shahov V.V. Aleksandr Lodygin / V.V. Shahov. — Ryazan': Gelion. 1998. 96 p.

2. Arhitekturno-planirovochnaya masterskaya № 3: oficial'nyj sajt. 2022. URL: http://apmtri.ru/projects/blagoustrojstvo_v_sanktpeterburge/muzej_fonarej_na_odesskoj_ulice/ (data obrashcheniya 02.02.2022).

3. URL: https://pikabu.ru/story/sinyaya_lampa_legenda _sssr_dlyafizioterapii_nadomu_7974721 (data obrashcheniya 01.02.2022).

4. Kapcov V.A., Dejnego V.N. Riski vliyaniya sveta svetodiodnyh panelej na sostoyanie zdorov'ya operatora //Analiz riska zdorov'yu. 2014. № 4. Pp. 37–46. 16 p.

5. GOST R MEK 62471-2013 Lampy i lampovye sistemy. Svetobiologicheskaya bezopasnost' / Photobiological safety of lamps and lamp systems: IEC 62471: 2006. — Vved. 2013-06.09. — M.: Standartinform. 2014.

6. Kuchma V.R., Suhareva L.M., Teksheva L.M., Stepanova M.I., Sazanyuk Z.I. Gigienicheskie aspekty primeneniya svetodiodnyh istochnikov sveta dlya obshchego osveshcheniya v shkolah // Gigiena i sanitariya. 2013. Tom 92. № 5. Pp. 27–31.

7. Patent RF na poleznuyu model' № 2531051. Sposob ocenki vozdejstviya iskusstvennogo sveta na funkcii nejtrofil'nyh granulocitov perifericheskoj krovi: 19.09.2013 / Dolgushin I.I., Telesheva L.F., Osikov M.V., Gizinger O.A., Ogneva O.I.

8. Fedorov S.N., Yarceva N.S., Ismankulov A.O. Glaznye bolezni, uchebnik dlya studentov medicinskih vuzov. — M. 2005. 440 p.

9. Kapcov V.A., Dejnego V.N. Narushenie melanopsinovogo effekta suzheniya zrachka — faktor riska zabolevaniya glaz // Analiz riska zdorov'yu. 2017. № 1. Pp. 132–148.

10. GOST 8.332–2013 GSOEI Svetovye izmereniya. Znacheniya otnositel'noj spektral'noj svetovoj effektivnosti monohromaticheskogo izlucheniya dlya dnevnogo zreniya. Obshchie polozheniya. — M.: Standartinform, 2019. 21 p.

11. Patent RF na poleznuyu model' № 201078 Svetodiodnyj svetil'nik s reguliruemoj cvetovoj temperaturoj: 26.11.2020 / Vasil'eva I.E., Sajbel' A.G.

12. Valov S.L., Salyahutdinov R.R., Petrov S.B. Vliyanie osveshchennosti na rabotosposobnost' cheloveka // Avicenna. 2019. № 52. Pp. 12–14.

13. Soedinitel' 3M s vreznym kontaktom SCOTCHLOK 534 1,5–2,5mm^2. URL: https://www.onlinetrade.ru/catalogue/elektricheskie_klemmy-c6209/3m/ soedinitel_3m_s_vreznym_kontaktom_scotchlok_534_1_5_2_5mm2 (data obrashcheniya 01.02.2022).