

УДК 61:656.61:614.5:644.36

ПРОБЛЕМА ГИГИЕНИЧЕСКОЙ РЕГЛАМЕНТАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ В ПОМЕЩЕНИЯХ КОРАБЛЕЙ ВМФ

А. В. Смуров, А. А. Богданов, В. В. Воронов, В. Ф. Беляев*

Научно-исследовательский институт кораблестроения и вооружения Военно-Морского Флота Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Н. Г. Кузнецова», Санкт-Петербург, Россия

© Коллектив авторов, 2018 г.

В Российской Федерации под лозунгом энергосбережения превентивно внедряются новые световые технологии. Вследствие особой актуальности проблемы энергосбережения для кораблей ВМФ, насыщенных радиоэлектронным вооружением, нельзя исключить управленческих решений по оборудованию корабельных помещений диодными источниками света. На основе анализа стандартов, санитарных правил и результатов испытаний, выполненных научными учреждениями различной ведомственной принадлежности, предложены медико-технические требования ВМФ к диодным светильникам для корабельных помещений.

Ключевые слова: морская медицина, гигиенический регламент, светоизлучающий диод, фотобиологическая безопасность, спектр излучения.

THE PROBLEM OF HYGIENIC REGULATION OF THE PARAMETERS OF THE LIGHT ENVIRONMENT IN THE SPACES OF SHIPS OF THE RUSSIAN NAVY

Andrey V. Smurov, Alexander A. Bogdanov, Victor V. Voronov, Victor F. Belyaev

Research Institute of Navy Shipbuilding and Armament, N. G. Kuznetsov Navy Academy, St. Petersburg, Russia

In the Russian Federation, under the banner of energy efficiency project, new light technologies are preventively introduced. Due to the particular urgency of the energy efficiency problem for Navy ships, saturated with electronic armament, management solutions for equipping ship spaces with diode light sources can be ruled out. Based on the analysis of standards, sanitary rules and test results carried out by organizations of various departments, the medical and technical requirements of the Navy for diode luminaries for ship spaces are proposed.

Key words: marine medicine, hygienic regulations, light-emitting diode, photobiological safety, emission spectrum.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2018-4-1-18-26>

Проблема гигиенической регламентации параметров световой среды в корабельных помещениях актуализировалась в начале XXI века как следствие появления и взрывоподобного повсеместного распространения принципиально новых источников света. При этом внедрение новых световых технологий в России носит превентивный характер, поскольку закреплено государственным законом [1]. Основным критерием, определяющим необходимость государственного регулирования производства источников света, является энергосбережение.

Проблема энергосбережения особо актуальна для кораблей ВМФ в связи с непрерывно нарастающим количеством и качеством радиоэлектронного вооружения и ограниченностью мощности источников энергии. При этом значительная доля энергии (до 30%) расходуется на освещение корабельных помещений. Кроме того, вследствие проблем с утилизацией люминесцентных светильников, наиболее распространенных на кораблях, возникла неотложная потребность их замены альтернативными источниками света.

Корабли военного флота всегда были основной площадкой для внедрения новых технологий. Первые в России источники света с электропитанием — электродуговые лампы («свечи Яблочкова») — были установлены в 1880 г. на судах флота, в том числе на императорской яхте «Ливадия», при активном содействии генерал-адмирала Константина Николаевича. Однако вскоре было замечено, что свет вольтовой дуги вызывал поражения органа зрения (роговицы и хрусталика) и кожи (эритема) [2]. Повреждающее действие света вольтовой дуги связывали с преобладанием в спектре излучения ультрафиолетовой составляющей.

Основа следующего поколения осветительных приборов — лампа накаливания Лодыгина—Эдисона. С момента появления первого промышленного образца (1879 г.) и до настоящего времени лампа накаливания оценивается специалистами как безопасный искусственный источник света [3]. Первые отечественные гигиенические регламенты освещенности корабельных помещений в виде руководства для начсостава санитарной службы РКК Флота были опубликованы в 1934 г. [4]. Документ устанавливал наименьшие величины освещенности, создаваемой лампами накаливания, для различных групп помещений.

Третье поколение осветительных приборов составили люминесцентные лампы. Это источник света, в котором электрический разряд в инертном газе, насыщенном парами ртути, инициирует ультрафиолетовое излучение, преобразуемое в видимый свет с помощью люминофора (например, галофосфата кальция или ортофосфата кальция-цинка). Впервые опытный образец лампы дневного света был изготовлен в лаборатории Эдмунда Гермера в 1926 г., а промышленное производство за рубежом было освоено к 1938 г.

В Советском Союзе первые образцы люминесцентных ламп были созданы в 1947 г. в лаборатории В. А. Фабрикант и вследствие их экономичности сразу же заинтересовали кораблестроителей. Внедрению люминесцентных светильников на кораблях ВМФ предшествовали гигиенические испытания, начатые в 1947–1948 гг. в Научно-исследовательском медицинском институте под руководством А. М. Измайльцева и А. Ф. Пахомова и продолженные в 1950-е годы [5].

Было установлено, что люминесцентные лампы обладают рядом преимуществ по отно-

шению к лампам накаливания. Световая отдача (световой поток на единицу затраченной мощности, лм/Вт) люминесцентных ламп в 5 раз выше, чем у ламп накаливания. Благодаря большей величине светящейся поверхности свет люминесцентных ламп распределяется более равномерно. Применение различных люминофоров позволяет варьировать световую температуру от 3200 до 6200 К. Зрительная работоспособность при освещении люминесцентными лампами выше, чем при освещении лампами накаливания.

Основным недостатком люминесцентных ламп является присутствие паров ртути, что создает потенциальную опасность заражения атмосферы замкнутого объема при повреждениях светильника, а также требует достаточно сложных систем утилизации отработанных ламп.

Значительная доля ультрафиолетового излучения в спектре люминесцентных ламп оценивалась гигиенистами неоднозначно. С одной стороны, коротковолновое излучение оказывало полезное действие в условиях изоляции от солнечного света, с другой — способно было вызвать повреждение органов зрения.

Таким образом, при внедрении на корабли люминесцентного освещения конструирование и гигиеническая оценка новых источников света выполнялись параллельно. Одновременно были разработаны технические требования к светильникам и гигиенические регламенты для новой оптической среды корабельных помещений. Высокая светоотдача люминесцентных ламп позволила в 2 раза повысить минимальный уровень освещенности [6, 7].

К 1981 г. требования к искусственному освещению на судах морского флота были дополнены новыми понятиями. Регламентировались показатели дискомфорта, ослепленности, коэффициент пульсации, степень равномерности освещения на рабочих поверхностях, защитный угол для светильников местного освещения.

Современная революция в светотехнике вызвана появлением светоиспускающих полупроводниковых диодов (СИД). Природа свечения диодов обусловлена преобразованием энергии электронов в пограничном слое пары полупроводников. При этом электроны теряют энергию, которая излучается в виде потока фотонов. Этот эффект был открыт в 1907 г. Генри Раундом из лаборатории Маркони. История последующих исследований феномена свечения твердо-

тельных кристаллов связана с именами российских ученых О. В. Лосева (1927 г.) и Ж. И. Алферова (1970-е гг.). СИД с мощностью, достаточной для использования в осветительных приборах (60 лм/Вт), были получены в США в 1999 г. профессором Сюдзи Накамура. Через 2 года в мире насчитывались уже десятки производителей СИД, началась информационная компания по пропаганде их преимуществ.

Необходимость тщательной оценки влияния оптического излучения диодов на здоровье человека была впервые осознана в Германии, где уже в 2001–2002 гг. появились документы, регламентирующие гигиенически значимые контролируемые параметры новых осветительных приборов [8].

В России и за рубежом был выполнен ряд научных исследований по изучению биологических эффектов излучения светодиодов. Заключение специалистов о возможности применения этих источников света в различных условиях неоднозначны, однако ведущие научные школы обращают внимание на спектральный состав излучения и его отдельные компоненты. Целесообразно сопоставить спектры излучения наиболее распространенных искусственных источников света (рис. 1).

кими выбросами и максимумами в зеленом и красном диапазонах. Наиболее распространенные белые светодиоды имеют максимумы излучения в сине-голубом (440–460 нм) и желто-зеленом (560–620 нм) диапазонах, а минимум — при длине волны 480 нм.

Биологическое действие излучения ламп накаливания оценивается специалистами как благоприятное, поскольку его спектр близок к спектру солнечного света на закате. Спектры люминесцентных ламп, как правило, не принимаются во внимание, за исключением ультрафиолетового диапазона. Качество света этой группы приборов оценивается по коррелированной световой температуре.

Наибольшую настороженность специалистов вызывают особенности спектра светодиодов. В 1991 г. в сетчатке были обнаружены светочувствительные клетки ipRGC (intrinsically photosensitive retinal ganglion cells), которые содержат светочувствительный пигмент меланопсин [9–11]. Сигнал от меланопсинсодержащих рецепторов сетчатки поступает в эпифиз и регулирует концентрацию гормона мелатонина в крови. Биологическое действие синего света с длиной волны 440–460 нм заключается в подавлении секреции мелатонина и актива-

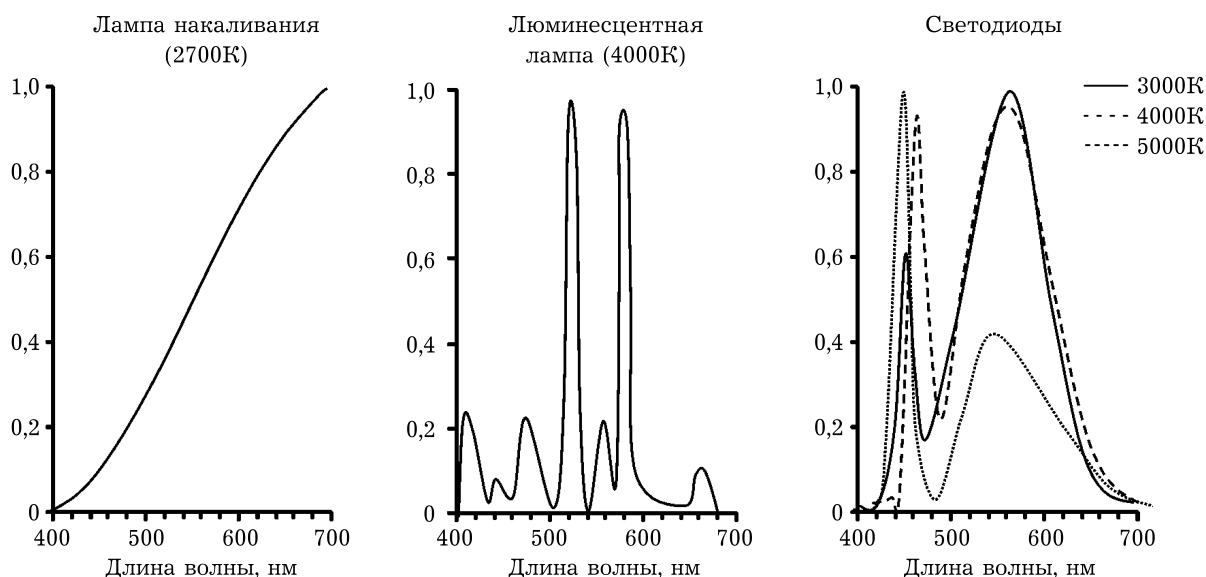


Рис. 1. Распределение относительной спектральной плотности излучения основных искусственных источников света

Вольфрамовая спираль лампы накаливания излучает свет со спектральным минимумом в синем диапазоне и плавным нарастанием до максимума в красном и инфракрасном диапазоне. Спектр излучения люминесцентных ламп отличается неравномерностью с несколь-

кими выбросами и максимумами в зеленом и красном диапазонах. Соответственно при недостатке синего света и поступлении в кровь мелатонина снижается тонус организма и наступает сон.

Кроме того, определенный дисбаланс в процессы регуляции продукции меланопсина вносит относительно низкая плотность излучения

с длиной волны 480 нм, регулирующая диаметр зрачка. Таким образом, при расширении зрачка увеличивается мощность потока излучения, проникающего во внутренние среды глаза и на сетчатку, что, по мнению ряда авторов [12, 13], усиливает негативное влияние синего света с длиной волны 440–460 нм.

Исследования влияния искусственных источников света на концентрацию мелатонина в крови (при равных условиях по освещенности и коррелированной температуре) показали, что наибольшее влияние оказывают холодно-белые люминофорные светодиоды (6000 К). Их влияние в 2,3–3,1 раза выше по сравнению с лампой накаливания, а у нейтрально-белых светодиодов (4500 К) больше в 1,2–1,5 раза [14].

Таким образом, наименее опасными для зрения представляются диоды с коррелированной цветовой температурой не выше 4000 К, у которых уровень излучения в сине-голубой части спектра не больше, чем в желто-оранжевой.

Другим действующим началом фотохимического повреждения сетчатки коротковолновым видимым излучением является липофусцин — фототоксичный пигмент старости, который из-за избирательного поглощения света в полосе 440–460 нм генерирует свободные радикалы, отравляющие пигментный эпителий сетчатки [15]. Фототоксичные эффекты сине-голубого света являются кумулятивными и приводят к медленному необратимому падению зрительных функций [13].

В 2013 г. в России в рамках государственной программы было выполнено несколько проблемно ориентированных поисковых научных работ с целью создания комплексной методики оценки эффективности и безопасности для здоровья человека светодиодных источников света. Исследователи сконцентрировались на методиках оценки состояния зрительного анализатора, некоторых психофизиологических функций и работоспособности.

Результаты испытаний, выполненных в различных научных учреждениях, неоднозначны. Специалисты по железнодорожной гигиене, которые исследовали операторскую деятельность в условиях традиционных (лампа накаливания, люминесцентный светильник) и новых светодиодных источников света, выявили изменения негативного характера. Это выразилось в некотором снижении функциональной устойчивости к цветоразличению зеленого и красного сигналов, а также в увеличе-

нии времени реагирования при сложной зрительно-моторной реакции и значимом снижении готовности к экстренному действию у обследованных операторов [3].

В НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков РАМН изучали сравнительную динамику психофункционального состояния добровольцев-волонтеров при значительной зрительной и умственной нагрузке в условиях общего освещения, организованного светодиодами и люминесцентными лампами [3]. В результате исследований было установлено, что работоспособность не зависит от используемых источников света. Динамика ряда показателей психофизиологического состояния работающих после интенсивной полуторачасовой зрительной и умственной нагрузки, имитировавшей полный рабочий день, имела положительную направленность, которая при светодиодном освещении была более выраженной, чем при люминесцентном. Интенсивная умственная нагрузка в обоих случаях приводила к снижению адаптационного потенциала у волонтеров, однако в условиях светодиодного освещения, по сравнению с люминесцентным, почти в 2 раза реже отмечалось напряжение адаптации. По мнению исследователей, это свидетельствует о торможении гормонального вклада (снижении симпатических влияний) и доминировании «нейрогенной» составляющей регуляции, что характеризует повышение адаптационных возможностей и улучшение функционального состояния организма.

В 2016 г. выполнены испытания светильников производства АО «Электрорадиоавтоматика», установленных в одном из подземных сооружений Минобороны РФ. Длительное (в течение года) периодическое (сутки через трое) воздействие диодного излучения на операторов оценивалось специалистами Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова с применением расширенного перечня методик оценки состояния организма в целом и зрительного анализатора в частности. Выраженных негативных трендов оцениваемых показателей в испытаниях не выявлено.

Группа авторов «Научно-технологического центра микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН» оценивала расчетными методами потенциальную опасность диодного излучения по критерию «мелатониновый фактор» [14]. Показано, что источники света могут заметно (до 6 крат) различаться по биологиче-

скому эквиваленту излучаемого ими света в зависимости от их типа и цветовой температуры даже при одном и том же зрительном действии. Особенно высокие значения биологического эквивалента присущи люминофорным светодиодам холодно-белого света (с $T_{ц} > 6000$ К).

Неопределенность современных представлений об опасности или безопасности диодного излучения осложняет процесс гигиенической регламентации его параметров. До октября 2008 г. ограничения по критерию биологической безопасности регулировались европейским стандартом IEC 60825-1, скопированным с немецкого стандарта DIN EN 60825-1. В этом стандарте устанавливались требования к источникам света на основе лазеров и светодиодов. Однако IEC 60825-1 входил в противоречие с американским стандартом ANSI Z 136.1 (2000 г.), который не относил диодные источники света к устройствам с опасным для человека когерентным излучением.

В дальнейшем американские стандарты были перенесены в Европу в виде международного стандарта IEC 62471:2006 «Светобиологическая безопасность ламп и ламповых систем» (Photobiological safety of lamp and lamp systems). Данный стандарт в полном объеме был принят в России как ГОСТ Р МЭК 62471-2013. Стандарт устанавливает пределы облучения от всех электрически не связанных широкополосных источников оптического излучения, включая светодиоды, кроме лазеров с длиной волны от 200 нм до 3000 нм. Все лампы и ламповые системы разделены на три группы по степени риска: малый, умеренный и большой. Источники света с коррелированной цветовой температурой ниже 4000 К отнесены к 1-й группе малого риска.

Методика оценки риска построена на основе физических измерений светового потока на расстоянии 200 мм от излучающего элемента при экспозиции от 0,25 до 10 000 секунд. Риск повреждения органа зрения определяется для случайного прямого взгляда на источник излучения, то есть для неестественных условий. При этом не учитывается преобразование (в том числе по спектральному распределению) светового луча различными оптическими элементами светильника и отражающими поверхностями. В отношении собственно биологического действия стандарт допускает довольно неопределенные формулировки, например: «Светохимическая реакция является

началом цепи биологических реакций, концентрирующихся в эпителии пигмента сетчатки. Детали не понятны».

СанПиН 2.2.4.3359-16 [16] разрешает применение для искусственного освещения (общего, местного и комбинированного) разрядных источников света, светодиодов, ламп накаливания. Оговаривается, что источники света, создаваемые по новым технологиям, требуют проведения санитарно-эпидемиологической экспертизы перед их использованием в системах искусственного освещения. При этом отсутствуют ссылки на документы, устанавливающие порядок экспертизы.

Единственным документом, который содержит ограничения на биологически значимые параметры диодного излучения, является письмо Роспотребнадзора от 01.10.2012 [17]. Основанием для рекомендаций по внедрению светодиодного освещения послужили приведенные выше результаты испытаний, выполненных в НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков РАМН. Рекомендуемый условный защитный угол светильников должен быть не менее 90° . Габаритная яркость не должна превышать 5000 кд/м². Запрещено использовать светильник с открытыми светодиодами для общего освещения помещений. Допустимая неравномерность яркости выходного отверстия светильников $L_{max}:L_{min}$ должна составлять не более 5:1. Цветовая коррелированная температура светодиодов белого света не должна превышать 4000 К.

Таким образом, ни результаты научных исследований, ни действующие нормативные документы не вносят ясности в проблему гигиенической регламентации и санитарно-эпидемиологической экспертизы диодных источников света. Тем не менее этот класс светоизлучающих приборов широко внедряется в системы промышленного, офисного и бытового освещения, а также на транспорте, в том числе морском. Проводились эксперименты с установкой диодных светильников на обитаемых космических станциях [18, 19].

С 2005 г. диодные светильники устанавливаются на кораблях ВМС США [20]. Первое поколение диодных ламп по форме копировало люминесцентные. В прозрачной трубке размещалась диодная лента, там же монтировался блок питания, а контакты соответствовали контактам люминесцентных ламп, что позволило быстро модернизировать внутрикорабельные

системы освещения. В дальнейшем корабельные диодные светильники для общего освещения дважды модернизировались, а прикроватные с регулируемой яркостью и цветовой температурой проходили расширенные испытания [21].

На кораблях ВМФ России диодные источники света устанавливаются в необитаемых периодически посещаемых помещениях с 2007 г. Для расширения области их применения, включая помещения с постоянным пребыванием экипажа, неоднократно планировались стендовые испытания. В 2016 г. начальником Главного военно-медицинского управления Минобороны РФ были утверждены методические указания по организации и методам исследования влияния светодиодных источников света на функциональное состояние корабельных специалистов. Однако инициатива медицинской службы ВМФ не получила должной поддержки в структурах Минобороны РФ, ответственных за финансирование научных исследований.

В сложившихся условиях активного продвижения новых светотехнических систем существует вероятность превентивного внедрения на корабли диодных светильников, не прошедших испытаний на фотобиологическую безопасность и должным образом не сертифицированных. Оптимальным выходом из сложившейся ситуации может быть формирование комплексных медико-технических требований ВМФ к диодным светильникам для корабельных помещений на основе анализа стандартов, санитарных правил и результатов испытаний, выполненных научными учреждениями различной ведомственной принадлежности. Изложенные выше сведения позволяют выделить светотехнические характеристики, подлежащие гигиенической регламентации, а также их количественные параметры.

Наибольшая гигиеническая значимость принадлежит коррелированной цветовой температуре (T_c), как величине, определяющей спектральное распределение излучения стандартных источников с синими диодами и желтым люминофором. T_c диодных светильников для обеспечения общего освещения командных пунктов, боевых постов, общественных, санитарно-бытовых, медицинских помещений, а также коридоров и вспомогательных помещений не должна превышать 4000 К; светильников для обеспечения общего освещения жилых

помещений (кают и кубриков) — 3000 К; прикроватных светильников — 2700 К. Индекс цветопередачи для всех типов светильников должен быть не менее 80 единиц. Условный защитный угол светильников должен быть не менее 90°. Габаритная яркость светильников не должна превышать 5000 кд/м². Светильники должны иметь в своем составе эффективные рассеиватели, снижающие габаритную яркость до вышеуказанных значений. Допустимая неравномерность яркости светильников $L_{max}:L_{min}$ должна составлять не более 5:1. Допустимые значения показателя дискомфорта, показателя ослепленности и коэффициента пульсации должны соответствовать регламентам, установленным действующими санитарными правилами. Осветительные установки, независимо от используемых источников света и световых приборов, должны обеспечивать нормативные требования ВМФ к общему и местному искусственному освещению.

Следует особо подчеркнуть, что приведенные здесь гигиенические регламенты должны расцениваться как временные вследствие продолжающегося научного поиска в различных областях знаний с последующей корректировкой стандартов. На основе достижений физики меняются состав материалов и конструкция излучающих элементов, что существенно модифицирует спектр светового потока (рис. 2).

Наиболее благоприятным для органа зрения и организма в целом является спектр излучения источника по технологии TRI-R, созданного в Японии компанией Toshiba Material Co., LTD. Конструктивной основой TRI-R является кристалл фиолетового свечения (420 нм), на который последовательно нанесены синий, зеленый и красный люминофоры. Подобная комбинация фиолетовых кристаллов и люминофоров позволяет синтезировать светодиоды со спектрами, близкими к спектру солнечного света с различной цветовой температурой, и таким образом устранить недостатки, свойственные типовым и наиболее распространенным светодиодам (синий кристалл, покрытый желтым люминофором).

Другое перспективное направление создания здоровой световой среды связано с новыми технологиями освещения, базирующимися на диодных источниках, меняющих яркость и спектр в течение суток: более теплые тона — утром и вечером, а более холодные — в середине дня [22]. Данное техническое решение

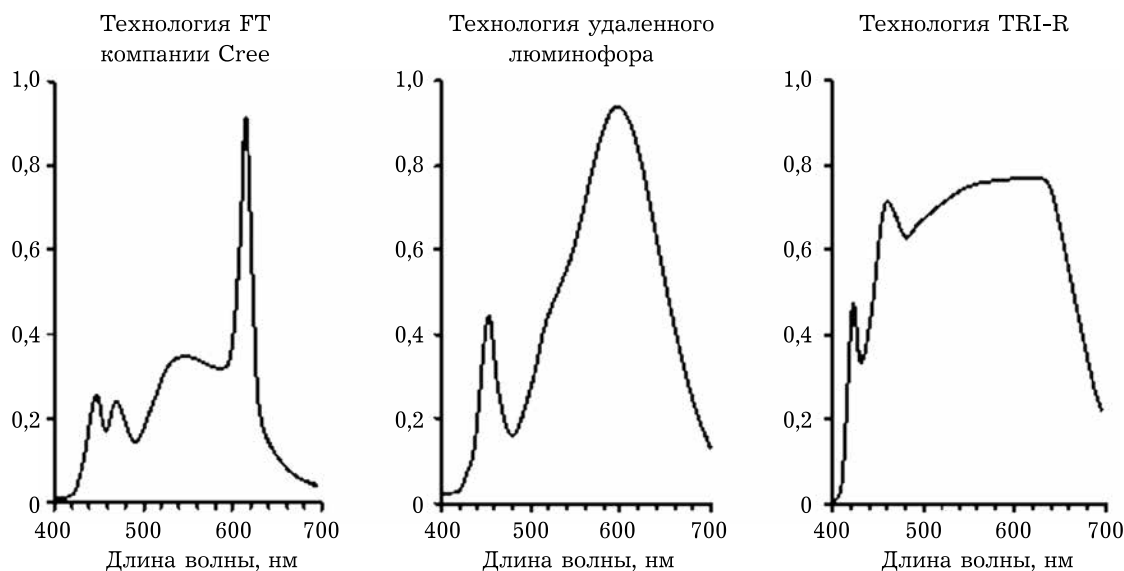


Рис. 2. Распределение относительной спектральной плотности излучения перспективных диодных источников света

может быть оптимальным для повседневных бытовых условий, для медицинских учреждений или космических станций, однако нецелесообразно для корабельной среды обитания с посменным несением вахты, за исключением индивидуальных прикроватных светильников.

Современные представления об опасности диодных осветительных приборов связаны с неблагоприятным воздействием узкой полосы синего света и не принимают во внимание биологические эффекты других составляющих видимого спектра. Психологическое и физиологическое влияние компонентов цветовой гаммы известно давно [23]. Однако в последние годы

именно в связи с появлением светодиодов как источников некогерентного монохроматического излучения существенно возросла интенсивность и фундаментальных, и прикладных исследований в фотобиологии. По мере накопления информации о действии света на организм человека будут изменяться теоретические представления о роли отдельных спектральных компонентов в его жизнедеятельности. Специалистам в области морской медицины необходимо постоянно мониторировать эту динамику с целью своевременной коррекции гигиенических регламентов оптической среды корабельных помещений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон № 261 от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».
2. Моркотун К.С. Морская гигиена. СПб., 1907. 860 с.
3. Капцов В.А., Сосунов Н.Н., Шищенко И.И., Викторов В.С., Тулушев В.Н., Дейнего В.Н., Бухарева Е.А., Мурашова М.А., Шищенко А.А. Функциональное состояние зрительного анализатора при использовании традиционных и светодиодных источников света // *Гигиена и санитария*. 2001. Т. 93, № 4. С. 120–123.
4. Андреев В.А. Корабельная санитарная техника. М.-Л.: Медгиз, 1938. 150 с.
5. Богданов А.А. Обитаемый корабль. СПб.: Галера-Принт, 2015. С. 131.
6. Нормы искусственного освещения на судах морского флота (от 15 декабря 1981 г. № 2506-81).
7. Санитарные правила для морских судов СССР (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 18.06.1987 № 4393-87).
8. LED's in General Lighting. Optical Radiation Safety in Connection with Luminaries. Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie. 2002 March.
9. Berson D.M., Dunn F.A., Takao M. Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock. *Science*, 2002, Vol. 295, p. 1070.

10. Brainard G., Hanifin, J., Greeson J., Byrne B., Glickman G., Gerner E., Rollag M. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *Journal of Neuroscience*, 2001, Vol. 21, No. 16, p. 6405.
11. Thapan K., Arendt J., Skene D. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J. Physiol.*, 2001, Vol. 535 (pt. 1), p. 261.
12. Дейнего В.Н., Капцов В.А., Балашевич Л.И., Светлова О.В., Макаров Ф.Н., Гусева М.Г., Кошиц И.Н. Профилактика глазных заболеваний у детей и подростков в учебных помещениях со светодиодными источниками света первого поколения // *Российская детская офтальмология*. 2016. № 2. С. 34–39.
13. Зак П.П., Островский М.А. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков // *Светотехника*. 2012. № 3. С. 4–6.
14. Аладов А.В., Закгейм А.Л., Мизеров М.Н., Черняков А.Е. О биологическом эквиваленте излучения светодиодных и традиционных источников света с цветовой температурой 1800–10000 К // *Светотехника*. 2012. № 3. С. 7–10.
15. Яковлева М.А. и др. Вызванные видимым светом изменения спектров флуоресценции флуорофоров липофусциновых гранул, полученных из ретиального пигментного эпителия кадаверных глаз человека // *Офтальмохирургия*. 2009. № 5. С. 59–64.
16. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. М., 2015.
17. Письмо Роспотребнадзора № 01/11157-32 от 01.10.2012 «Об организации санитарного надзора за использованием энергосберегающих источников света».
18. Acta Astronautica, 2012. [DOI: 10.1016/j.actaastro. 2012.04.01]: «Solid-state Lighting for International Space Station: Tests of Visual Performance and Melatonin Regulation» http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/651.html.
19. Беляев Р.И., Леонов А.В. Оптимизация параметров внутреннего освещения орбитальных космических станций // *Светотехника*. 2007. № 4. С. 12–15.
20. www.public.navy.mil/NAVSAFECEN/.../ElecSaf_AppC5
21. A Spectrally Dynamic Berth Light for Active Circadian Cycle Management. <http://ww.acq.osd.mil/osbp/sbir/solicitations/.../darpa082.doc>.
22. Philips and Maastricht University study lighting impact on cardiac patients. URL: <http://www.ledsmagazine.com/news/8/11/33> (дата обращения: 11.05.2012).
23. Кирьянова В.В. Антология света // *Физиотерапевт*. 2005. № 9. С. 16–19.

REFERENCES

1. Federalny zakon № 261 23.11.2009. «Ob energosberegennii i o povishenii energeticheskoy effektivnosti» (In Russ.).
2. Morkotun K.S. Morskaya gigiena. St. Petersburg, 1907, 860 p. (In Russ.).
3. Kapzov V.A., Sosunov N.N., Shishenko I.I., Viktorov V.S., Tulushev V.N., Deynego V.N., Buchareva E.A., Murashova M.A., Shishenko A.A. Funkzionalnoye sostoyaniye zritel'nogo analizatora pri ispolzovanii traditsionnykh i svetodiodnykh istochnikov sveta. *Gigiena i sanitariya*, 2001, Vol. 93, No. 4, pp. 120–123 (In Russ.).
4. Andreev V.A. Korabel'naya sanitarnaya tekhnika. Moscow–Leningrad: Medgiz, 1938, 150 p. (In Russ.).
5. Bogdanov A.A. Obitayemiy korabl. St. Petersburg: Galeya-Print, 2015, 131 p. (In Russ.).
6. Normi iskusstvennogo osvescheniya na sudach morskogo flota (15/12/ 1981. No. 2506-81) (In Russ.).
7. Sanitarniye pravila dlya morskikh sydov SSSR (utv. Glavnim gosudarstvennim sanitarnim vrachom SSSR 18.06.1987 No. 4393-87) (In Russ.).
8. LED's in General Lighting. Optical Radiation Safety in Connection with Luminaries. *Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie*. 2002 March.
9. Berson D.M., Dunn F.A., Takao M. Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock. *Science*, 2002, Vol. 295, p. 1070.
10. Brainard G., Hanifin, J., Greeson J., Byrne B., Glickman G., Gerner E., Rollag M. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *Journal of Neuroscience*, 2001, Vol. 21, No. 16, p. 6405.
11. Thapan K., Arendt J., Skene D. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J. Physiol.*, 2001, Vol. 535 (pt 1), p. 261.

12. Deynego V.N., Kapzov V.A., Balashevich L.I., Svetlova O.V., Makarov F.N., Guseva M.G., Koshiz I.N. Profilaktika glaznich zabolovaniy u detey i podrostkov v uchebnykh pomesheniyakh so svetodiodnymi istochnikami sveta pervogo pokoleniya. *Rossiyskaya detskaya ophthalmologiya*, 2016, No. 2, pp. 34–39 (In Russ.).
13. Zak P.P., Ostrovskiy M.A. Potencialnaya opasnost osvesheniya svetiodiodami dlya glaz detey I podrostkov. *Svetotekhnika*, 2012, No. 3, pp. 4–6 (In Russ.).
14. Aladov A.V., Zakgeim A.L., Mizerov M.N., Tshernyakov A.E. O biologicheskom ekvivalente izlucheniya svetodiodnykh I traditsionnykh istochnikov sveta s zvetovoy temperaturoy 1800–10000 K. *Svetotekhnika*, 2012, No. 3, pp. 7–10 (In Russ.).
15. Yakovleva M.A. i dr. Vizvanniye vidimim svetom izmeneniya spektrov fluorescencii fluoroforov lipofuscinovich granul, polutchenykh iz retinalnogo pigmentnogo epiteliya kadavernich glaz tcheoveka. *Ophthalmochirurgiya*, 2009, No. 5, pp. 59–64 (In Russ.).
16. SanPiN 2.2.4.3359-16. *Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k physicheskim faktoram na rabotnich mestakh*. Moscow, 2015 (In Russ.).
17. Pismo Rospotrebnadzora No. 01/11157-32 01.10.2012 «Ob organizazii sanitarnogo nadsora za ispolzovaniem energooberegayutshchikh istochnikov sveta» (In Russ.).
18. Acta Astronautica, 2012. [DOI: 10.1016/j.actaastro. 2012.04.01]: «Solid-state Lighting for International Space Station: Tests of Visual Performance and Melatonin Regulation» http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/651.html.
19. Belyaev R.I., Leonov A.V. Optimizatsiya parametrov vnutrennego ocvetsheniya orbitalnykh kosmicheskikh stantsiy. *Svetotekhnika*, 2007, No. 4, pp. 12–15 (In Russ.).
20. www.public.navy.mil/NAVSAFECEN/.../ElecSaf_AppC5
21. A Spectrally Dynamic Berth Light for Active Circadian Cycle Management. <http://www.acq.osd.mil/osbp/sbir/solicitations/.../darpa082.doc>.
22. Philips and Maastricht University study lighting impact on cardiac patients. URL: <http://www.ledsmagazine.com/news/8/11/33> (дата обращения: 11.05.2012).
23. Kiryakova V.V. Antologiya sveta. *Physioterapevt*, 2005, No. 9, pp. 16–19 (In Russ.).

Поступила в редакцию / Received by the Editor: 27.10.2017 г.

Контакт: Воронов Виктор Витальевич, тел.: +7 (812) 405-07-86

Сведения об авторах:

Смулов Андрей Владимирович — кандидат медицинских наук, доцент, полковник медицинской службы, начальник отдела Научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-морского флота Военного учебно-научного центра Военно-морского флота «Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30; тел.: +7 (812) 405-07-25;

Богданов Александр Алексеевич — доктор медицинских наук, профессор, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-морского флота Военного учебно-научного центра Военно-морского флота «Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30; тел.: +7 (812) 405-07-86;

Воронов Виктор Витальевич — кандидат медицинских наук, доцент, подполковник медицинской службы, докторант Научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-морского флота Военного учебно-научного центра Военно-морского флота «Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30; тел.: +7 (812) 405-07-86;

Беляев Виктор Федорович — кандидат медицинских наук, доцент, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-морского флота Военного учебно-научного центра Военно-морского флота «Военно-морская академия им. Н. Г. Кузнецова»; 197101, Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30; тел.: +7 (812) 405-07-86.