

# ГИГИЕНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА В СИСТЕМАХ ОСВЕЩЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УКРАИНЫ

Мартиросова В.Г.<sup>1</sup>, Назаренко В.И.<sup>1</sup>, Сорокин В.М.<sup>2</sup>, Галинский А.Д.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГУ «Институт медицины труда АМН Украины», г.Киев

<sup>2</sup>Институт физики полупроводников НАН Украины, г. Киев

<sup>3</sup>НПП «АЭРОПЛАСТ», г.Киев

Рассматриваются гигиенические аспекты применения светодиодных (СД) источников света в системах промышленного освещения на производственных предприятиях Украины. Показываются перспективы светодиодного освещения в различных странах и государственная поддержка разработок энергосберегающего освещения. Дана оценка эффективности светодиодного освещения и приводится сравнительный анализ параметров и характеристик ламп накаливания, компактных люминесцентных и светодиодных ламп. Проанализированы мощные светодиоды белого свечения и способы получения белого света. Проанализированы светотехнические, физические и гигиенические преимущества и недостатки светодиодных систем промышленного освещения. Оценены новые подходы к нормированию светодиодных систем и световой среды на производственных предприятиях Украины.

**Ключевые слова:** светодиоды, СД, освещение, гигиенические аспекты, стандартизация

## Введение

Современные принципы и методы производственного освещения сложились за последние 100 лет и основывались на применении, в основном, ламп накаливания. Основным недостатком этих осветительных приборов является то, что только 4–7 % используемой электроэнергии преобразовывается в свет, а остальная трансформируется в тепло и другие виды излучения. Во второй половине XX века получили свое развитие люминесцентные лампы. В таких источниках света ультрафиолетовое излучение газового разряда в парах ртути возбуждает люминофор, состав которого подбирают, таким образом, чтоб обеспечить излучение в заданной спектральной области видимого диапазона. В этом классе осветительных устройств особый интерес представляют компактные люминесцентные лампы (КЛЛ), которые в 2,5–4 раза энергетически эффективнее, чем лампы накаливания. Однако, они являются вакуумными приборами, содержат ртуть в составе газовой смеси, требуют сложных пускорегулирующих устройств для запуска и поддержания стабильного газового разряда, имеют сравнительно невысокий срок службы (до 10–15 тысяч часов).

Достижения физики и оптоэлектроники за последние 10–15 лет позволили создать источники света с энергетической эффективностью в 5–10 раз

большей ламп накаливания. К таким источникам света относятся твердотельные светодиоды (СД) [1].

Предположения 15–20 лет назад о возможности создания светодиодного освещения казались фантастическими [2, 3, 4, 5]. Однако бурное развитие технологии полупроводниковых приборов, и особенно нанотехнологий, привело к колоссальному развитию этой отрасли, что XXI век уже называют веком твердотельного освещения. Внедрение таких источников света позволит создать принципиально новую технологию экологически чистого и высокоэффективного освещения.

Большинство высокоразвитых стран (США, Япония, Германия, Китай, Россия) интенсивно занимаются изучением физических процессов излучения в светодиодных структурах, разработкой оригинальных конструкций светодиодов, совершенствованием технологий их производства, а также расширением сфер их использования. Наиболее весомые результаты достигнуты благодаря современным успехам нанотехнологий, поэтому это направление считается стратегической технологией XXI века [6].

Поскольку в настоящее время по комплексу физических, эргономических, эксплуатационных параметров альтернативы светодиодным источникам освещения нет, а все прогнозы свидетельствуют о быстром внедрении светодиодного освещения в

производственных и бытовых помещениях, возникает необходимость оценки светодиодных источников света с точки зрения гигиенических аспектов перспективы их применения в системах производственного освещения.

### **Экологическая значимость и государственная поддержка разработок энергосберегающего освещения**

Светоизлучающий диод представляет собой полупроводниковый элемент с излучающим р-п переходом в гетероструктуре. Первые СД появились в 1962 году, квазихроматические с красным, оранжевым и зеленым свечением. Белые СД были изготовлены спустя 20 лет, в 1991 году после разработки СД со спектром свечения в области 400–500 нм (синие).

Работы по совершенствованию СД, в первую очередь белого свечения, активно ведутся и поддерживаются решениями государственных комиссий и промышленных ассоциаций различных стран и регионов, заинтересованных в переходе к более эффективным и экологически безопасным средствам освещения. При этом одной из существенных целей такой политики является сокращение выбросов в атмосферу  $\text{CO}_2$  (при выработке электроэнергии тепловыми электростанциями) и, соответственно, уменьшение угрозы глобального потепления и экологических катастроф.

Появившиеся в последние годы во многих странах законы, запрещающие использование ламп накаливания, подтверждают огромное значение политики энергосбережения. Например, с 2012 года в Евросоюзе будет полностью запрещена продажа обычных ламп накаливания, согласно решению, принятому министрами энергетики ЕС. Уже с 1 сентября 2009 года будет запрещена продажа лампочек мощностью 100 Вт, в следующем году такая же участь постигнет 75 Вт лампы, в 2011 году настанет очередь ламп в 60 Вт, и к сентябрю 2012 года будут запрещены даже самые слабые — 40 Вт и 25 Вт лампы. Учитывая короткий срок службы ламп накаливания, к 2015 году ЕС полностью избавится от таких ламп. С помощью энергосберегающих ламп, в странах ЕС экономия электроэнергии составит 5–10 млрд. евро в год. Жители Евросоюза перейдут на энергосберегающие источники освещения, такие как люминесцентные и светодиодные лампы. Новые источники света стоят дороже, чем лампы накаливания, но потребляют меньше электроэнергии и служат дольше. Однако

при постоянном росте цен на электроэнергию сроки окупаемости энергосберегающих ламп постоянно снижаются.

В Австралии лампы накаливания будут выведены из употребления к 2010 году, что позволит к 2012 году сократить выбросы парниковых газов в атмосферу на 4 млн. тонн.

Власти Новой Зеландии приняли закон, запрещающий продажи ламп накаливания с октября 2009 года. Такая мера позволит значительно сократить выбросы углекислого газа и сэкономить к 2020 году около 500 млн. долларов на производстве электроэнергии. Этот закон был принят в рамках государственной стратегии эффективного освещения (Efficient Lighting Strategy), которая предусматривает снижение потребляемой электроэнергии к 2015 году на 20 %.

В конце декабря 2007 года президент США Джордж Буш подписал закон о замене традиционных ламп накаливания энергосберегающими. В частности, документ предусматривает сокращение потребления электроэнергии лампами на 30 % в течение 7 лет. При этом предполагается, что лампы мощностью 100 Вт выйдут из употребления к 2012 году, 75 Вт — к 2013 году, а к 2014 году прекратится использование 60 Вт и 40 Вт ламп.

Великобритания с 1 января 2009 г. отказывается от ламп накаливания 75 Вт, 100 Вт и 150 Вт. Привычные всем осветительные приборы перестают поступать в продажу, а на смену им за несколько лет придут люминесцентные и светодиодные. По оценкам британских экспертов ожидается до 8 млрд. долларов ежегодной экономии. Уже объявлено, что специальные правительственные уполномоченные будут ходить по магазинам и даже квартирам, проверяя, какие лампочки продаются и какими пользуются британцы. В случае выявления привычных сегодня лампочек, они будут изыматься.

### **Государственная политика энергосбережения в Украине**

Проблема экономии электроэнергии в Украине является общегосударственной проблемой, решение которой существенно влияет на макроэкономические показатели в целом. Поэтому 9 июня 2008 года Кабинетом Министров Украины была утверждена Государственная целевая научно-техническая программа «Разработка и внедрение энергосберегающих светодиодных источников света и осветительных систем на их основе» на 2009–2013 годы. Государственным заказчиком программы определе-

на Национальная академия наук Украины. Органом управления Программой назначен Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАН Украины. Исполнителями проектов программы являются научные учреждения НАН Украины, предприятия Министерства промышленной политики Украины, Министерства образования и науки Украины, предприятия малого и среднего бизнеса, технологические парки Украины.

В связи с принятием Программы, создание отечественного производства светодиодной техники станет вполне осуществимым проектом. Выполнение Программы позволит организовать в Украине современное производство высокоэффективных энергосберегающих светодиодных источников света и осветительных систем. Программой запланирована возможность значительного расширения финансирования научного поиска в одном из самых перспективных научных направлений нашего века. Для государства это принесет еще и ощутимую экономию энергоресурсов, даст значительный экологический эффект [7].

### Сравнительная характеристика традиционно применяемых ламп и СД

Оценка эффективности светодиодного освещения может быть проведена на основе сравнительного анализа параметров и характеристик ламп накаливания, компактных люминесцентных ламп и светодиодных ламп. При этом особо важными пара-

метрами перечисленных приборов являются энергетическая эффективность (Лм/Вт), срок службы, потребляемая мощность, колориметрические параметры (индекс цветопередачи), а также стоимость единицы излучаемого светового потока (люмена), от которой зависит стоимость осветительного устройства в целом. В таблице 1 приведен сравнительный анализ параметров перечисленных осветительных приборов и показана перспектива улучшения параметров светодиодных осветительных устройств на ближайшее десятилетие. Заметим, что для ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп уже достигнуты максимальные значения энергетической эффективности, и ожидать в ближайшем десятилетии существенного улучшения параметров таких осветительных приборов нет физических оснований. В тоже время светодиоды, по мнению экспертов, приблизились только к 10 % использования своих потенциальных возможностей.

### Мощные светодиоды белого свечения – основа твердотельного освещения

Белый свет представляет собой смесь различных длин электромагнитных волн видимой глазом части спектра (от 400 до 770 нм).

Существуют два основных способа получения белого излучения светодиода.

Первый – смешивание излучений от размещенных на одной подложке красного (R), зеленого (G) и синего (B) светодиодов. Комбинации яркостей

Таблица 1

Характеристики осветительных приборов разной физической природы

Технология	Лампы накаливания	КЛЛ	Твердотельные светодиодные лампы			
			2002	2007	2010	2020
Световая эффективность (Лм / Вт)	16	85	25	75	160	220
Срок службы (ч)	1000	10000	20000	> 20000	> 60000	> 100000
Световой поток лампы, Лм	1200	3400	25	200	5000	15000
Потребляемая мощность лампы, Вт	100	40	1	2,7	5–30	> 100
Стоимость 1 люмена, 0,01\$	0,4	1,5	200	20	< 1,5	< 0,5
Стоимость лампы, \$	0,5	5	100	50	< 15	< 3
Индекс цветопередачи (CRI)	95	75	70	80	80–93	< 96
Охват доли рынка			Минимальный, из-за малого светового потока	Могут использоваться для замены ламп накаливания	Могут использоваться для замены КЛЛ	Могут широко использоваться во всех осветительных системах

красного, зеленого и синего светодиодов позволяют реализовать около 16 млн. цветовых оттенков, включая и все оттенки белого. К сожалению, из-за хроматической аберрации оптических систем, формирующих световые потоки, суммарное излучение в центре и по краям такого составного светодиода неодинаково по цвету. Кроме этого, в связи с неравномерным отводом тепла на подложке, отдельные излучающие кристаллы нагреваются по-разному. В итоге, их излучение в процессе деградации неодинаково изменяется и, как следствие, цветовая температура и цвет в ходе эксплуатации «плывут». Стабилизировать цветовые параметры такого источника света можно лишь достаточно дорогими электронными методами.

В настоящее время, мощные RGB-светодиоды эффективно используются в многоцветных табло, в дисплеях, в рекламе, для подсветки архитектурных сооружений или ландшафта. Такими светодиодами можно управлять с помощью микропроцессоров и создавать различные цветовые эффекты.

Качество белого света, определяемое индексом цветопередачи, в составных светодиодах может быть повышено путем добавления на общую подложку кристаллов, излучение которых «заполняет» желтую область спектра. Таким образом, делают светодиоды RGBW (красный, зеленый, синий, белый). Такие светодиоды применяются для «здорового» освещения, устраняющего некоторые физиологические и психологические эффекты, а также в театральном и кино освещении.

Второй способ создания светодиодов с белым свечением заключается в преобразовании голубого, синего или ближнего ультрафиолетового излучения в белое благодаря широкополосным люминофорам. Люминофоры представляют собой фотолюминесцентные композиции, способные преобразовывать излучение с короткими длинами волн (например, синее излучение) в излучение с более длинными (желтое или комбинацию зеленого и красного излучений). В результате излучение синего светодиода смешивается с излучением от люминофора, образуя белый свет, оттенок которого зависит от соотношения мощностей составляющих его излучений (синий плюс желтый) и задается технологически в процессе производства. Такие светодиоды значительно дешевле RGB-светодиодов.

По данным компании InterMatrix сегодня в 51 % белых СД для средств освещения используются люминофоры на базе алюмоиттриевого граната (АИГ) фирмы Nichia, в 20 % — АИГ-люминофоры

других фирм, еще в 20 % — люминофоры на основе алюмотербиевого граната (АТГ), лицензируемого у компании Osram. В оставшихся 9 % применяются желто-зеленые люминофоры на основе силиката с длиной волны свечения в зависимости от выбранной комбинации двухвалентных металлов и примеси галогена в диапазоне 500–575 нм [6].

Характеристики белых светодиодов, выпускаемых большим числом компаний, за последнее время существенно улучшились, а их параметры стали удовлетворять требованиям твердотельного освещения. Параметры наиболее перспективных моделей современных светодиодов представлены в таблице 2.

Интересны новые светодиоды, предложенные компанией Luminus Devices, по технологии PhlatLight (СД на основе фотонной решетки — Photonic lattice) [8]. Работа этих СД основана на управлении распространением фотонов вблизи решетки прозрачного диэлектрического материала с периодически изменяющимся показателем преломления при сопоставимых значениях длины волны фотонов и периода решетки. Для светодиодов видимого излучения размеры фотонной решетки составляют несколько сотен нанометров, и она должна изготавливаться методами нанотехнологии.

Эти светодиоды рассчитаны на рассеиваемую мощность от 20 до 90 Вт, выполняются на одном кристалле большой площади (от ~ 4 до 14 мм<sup>2</sup>) и работают при плотностях тока от 350 до 2500 мА/мм<sup>2</sup>. Тепловое сопротивление СД с рассеиваемой мощностью 100 Вт не превышает 0,6 °С/Вт.

Эти светодиоды начали серийно выпускаться с ноября 2008 года.

Из рассмотренных характеристик становится ясным, что достигнутые параметры СД ведущих светотехнических компаний превзошли ожидаемые результаты [2,3,4].

### Гигиенические аспекты применения светодиодов для производственного освещения

1. Главным преимуществом твердотельного светодиодного освещения является отсутствие паров ртути в технологии производства СД. Это позволяет уйти от так и не решенной проблемы утилизации люминесцентных ламп, а теперь и КЛЛ, и перейти к экологически чистому освещению.
2. Другим важным с гигиенической точки зрения параметром белого света является коэффициент цветопередачи Ra (CRI — color render-

Таблиця 2

Сравнительные характеристики светодиодов разных фирм, используемых в системах освещения

Производитель	Тип СД	Цветовая температура, К	Ток, mA	Напряжение, V	Поток, lm	CRI	Угол, °
OSRAM	Golden DRAGON Plus						
	LCW W5AM-JZKZ-4J8K	2500-4800	350	3,6	69	80	170
	LW W5AM-KXKY-6K7L	5600	350	3,6	71	80	170
	LUW W5AM-LXLY-6P7R	6500	350	3,6	105	80	170
	OSTAR SMT LE UW S2W	5700, 6500	700	3,6	390-710	80	120
Philips Lumileds	LUXEON® V Portable LXHL-PW03	5500	700	6,8	120	70	120
	LUXEON® K2 with TFFC L2K2-MWC4	6500	700	3,6	170	70	120
	LUXEON® Rebel LXML-PWC1-0100	6500	350	3,15	100	70	140
Cree	XLamp® MC-E MCE4WT-A2 (4 в одном корпусе)	6500	350	3,9	430	70	115
	XLamp® XP-E XPEWHT-L1	6500	350	3,9	114	75	115
Seoul Semiconductor's	P4 W49180	6300	350	4,8	105	70	93
	Z1 N42182	3000	450	3,25	53	93	124
	P7 W724C0	6300	2800	4,8	700	70	130
	P3 WS2180	6300	350	3,6	70	70	120
	Acriche AX32X1	6300	20	220	215	65	110
Nichia	NS6W183T	6400	700		210	70	120
	NCSW136	5500	550		180	70	100
Luminus	CST-90-W30M	3500-6500	9A	6,8	1000-2100	70	120
	CBT-90-W65S	3500-6500	3,2A	3,4	600-1200	70	120
	CBM-360-W65S	3500-6500	6,3A	12	2500-5100	70	120

ing index). Он отражает степень соответствия цвета предмета с цветом эталонного источника. Для определения значения Ra, при помощи 14 указанных в DIN 6169 стандартных эталонных цветов, фиксируется изменение цвета, которое наблюдается при освещении тестируемым и эталонным источником. Показатель цветопередачи Ra = 100 показывает, что свет совпадает по цвету с эталонным источником света.

Разные модели СД белого света обеспечивают высокий уровень цветопередачи (Ra от 65 до 93), что позволяет рекомендовать их как основу осветительных систем для полиграфической, химико-фармацевтической, пищевой, легкой промышленности и других отраслей производства, где цветопередача является решающим фактором, определяющим качество продукции.

3. Системы СД освещения могут работать в большом температурном диапазоне (от -40 °C до +40 °C), применяться в условиях помещений и для наружного освещения. При этом нужно

принимать во внимание, что для нормальной работы температура излучающего кристалла светодиода не должна превышать 80–140 °C. Отбор тепла в светодиодных лампах производится пассивными или активными (при необходимости) радиаторами. При этом тепловыделение светодиода несравнимо меньше, чем у ламп накаливания.

4. В условиях взрыво- и пожароопасных производств системы СД освещения позволяют повысить безопасность, поскольку используют низкое рабочее напряжение (3 – 12В), однако необходимо учитывать, что рабочий ток достаточно высок (достигает нескольких ампер в системах освещения), поэтому требуются дополнительные меры по искрозащите.
5. Очень важным свойством светодиодов является их совместимость с элементной базой современной микроэлектроники, что значительно упрощает создание автоматизированных систем управления сетями освещения и осветительной аппаратурой, а также гарантирует отсутствие мерцания и других видов неравномер-

ности светового потока и, как следствие, безопасность от возникновения стробоскопического эффекта в условиях производства.

6. Использование систем СД освещения позволяет значительно уменьшить расходы на обслуживание электросетей и оборудования за счет большей надежности и большего срока эксплуатации новых источников света, что позволяет их применять на производствах с затрудненным доступом к осветительному оборудованию (высокие цеха, вредное производство и т. д.)
7. Светодиодные системы могут использовать электронное управление, позволяющее осуществить динамическое освещение производственных помещений с учетом сменности работы, циркадных ритмов, времени года. Это особенно важно для людей, работающих в помещениях без естественного освещения, в условиях посменного (суточного) графика работы. Такое управление системами СД освещения дает возможность улучшать функциональное состояние зрительного и общего состояния организма, трудоспособность работающих, предупредить сезонные и суточные физиологические нарушения и расстройства.
8. Учитывая возможности управления систем СД освещения по яркости, цветовой температуре, направленности излучения, можно разрабатывать новые подходы к системам и способам освещения рабочих мест для профессий с высоким зрительным и умственным напряжением. Например, можно обеспечить диффузную и равномерную световую среду на рабочих местах только за счет одного общего освещения, что более гигиенично для функционирования зрительного аппарата человека и обеспечения психофизиологического комфорта, и что представляется невозможным при использовании комбинированного освещения (общее плюс местное).
9. Преимуществом при использовании систем СД освещения является отсутствие в излучаемом спектре УФ и ИК составляющих, что определяется технологией изготовления и используемыми материалами.

Однако, важным предостережением при использовании таких систем является недостаточная изученность влияния компонентов светодиодного излучения на глаз человека с точки зрения безопасности. Предостережение вызывает большая точечная яркость и, так называемая, «синяя опасность» [10,11,12].

При этом, следует отметить, что твердотельные источники света в настоящее время не являются совершенными, требуют глубокого изучения, и с гигиенической точки зрения имеют ряд негативных характеристик, которые необходимо учитывать и устранять по мере совершенствования их технологий и применения. Так, светоизлучающая поверхность высокоинтенсивных светодиодов составляет от 0,5 мм<sup>2</sup> до 14 мм<sup>2</sup>, что, с одной стороны, обеспечивает возможность формирования светового потока с определенной диаграммой направленности, а с другой стороны, высокая яркость точечного излучателя приводит к прямой «блесткости» и «слепимости» глаза. Такое предупреждение об опасности для глаз при прямом рассматривании СД встречается в документации фирмы CREE [9]. Этот недостаток устраним с помощью создания светящихся панелей, крепящихся на стенах и потолках и создающих диффузный и отраженный свет.

Другим более серьезным недостатком является то, что светодиодные световые устройства освещения показали превышение порога «опасности синего света» для категории группы риска RG-1, как определено в стандарте ANSI/IESNA RP-27.3-07 «Рекомендуемая практика для фотобиологической безопасности ламп, группы риска. Классификация и маркировка» [13]. Фирма Orb Optronix, проводившая исследования на соответствие этому стандарту, выяснила, что некоторые системы светодиодного освещения существенно превышают пределы, оговоренные в стандарте ANSI. Эти изделия относятся к категории RG-2, которая предупреждает о недопустимости прямого наблюдения таких источников освещения человеческим глазом [14].

Стандарт RP-27 описывает «синий свет как фотобиологическую опасность», вызывающую расстройство в сетчатой оболочке глаза в диапазоне 400–500 нм, что совпадает с данными исследований [15]. По всей вероятности, это связано с тем, что в некоторых странах, изделия, содержащие светодиоды, стандартизовали в соответствии со стандартом IEC 60825-1, предназначенным для лазеров, а не СД. Сейчас стандарт IEC 60825-1 заменен международным IEC 62471 именно для СД, который и обеспечивает методы оценки риска использования СД, классифицируя их по группам риска (то есть, например, RG-1, RG-2, RG-3) и является стандартом «совместного действия» с CIE S009 — стандартом фотобиологической безопасности ламп и ламповых систем.

## Заключення

Таким образом гигиеническая и светотехническая оценка параметров, характеристик, а также положительных и отрицательных сторон светодиодных источников света, показывает, что применение их в системах освещения на промышленных предприятиях Украины с учетом высокой эффективности СД и экологической чистоты будет задачей недалекого будущего. При этом важно учитывать, что из-за быстрого развития и совершенствования СД изделий, прогресс в этой области, к сожалению, значительно опередит проведение медико-биологических и гигиенических исследований.

Нужно отметить очевидную необходимость разработки с гигиенических позиций методов оценки и

способов освещения рабочих мест и производственных помещений, технологии управления такими системами, учитывающих воздействие света на основные физиологические функции человека (ЦНС, сердечно-сосудистая, зрительная и др.).

Необходима разработка новых методических подходов к структуре физиологического нормирования освещения рабочих мест и производственных помещений предприятий Украины.

В настоящее время в Институте медицины труда АМН Украины разрабатывается новый метод по созданию и оценке оптимальной световой среды и обеспечения психофизиологического комфорта для работающих. Применение СД систем освещения значительно облегчит эту задачу.

## Литература

1. Шуберт Ф.Е. Светодиоды / Ф.Е.Шуберт; [пер. с англ., под ред. А.Э.Юновича]. – Физматлит, 2008. – 495 с.
2. Юнович А.Э. Светодиоды как основа освещения будущего / А.Э. Юнович // Светотехника. – 2003. – № 3. – С. 2–7.
3. Бегеманн Т. Светоизлучающие диоды – тенденции развития и влияние на освещение / Т. Бегеманн // Светотехника. – 2001. – № 5. – С. 10–13.
4. Коган Л. М. Полупроводниковые светодиоды: современное состояние / Л. М. Коган // Светотехника. – 2000. – № 6. – С. 11–15.
5. Glenn Zorpette. Let There / Glenn Zorpette // IEEE SPECTRUM. – 2002, Sep. – P.70–74.
6. Шурыгин В. Твердотельные осветительные устройства / В.Шурыгин // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2008. – № 5. – С.88–97.
7. Сорокин В.М. Светодиодное освещение расширяет границы / Сорокин В.М. // Світло -Lux. – № 2. – 2009. – С.37–41.
8. PhlatLight® White LED Illumination Products CST-90 Series, Data Sheet.

9. Cree® XLamp® XP-E LEDs, Data Sheet, – P. 7.

10. Асмаков С. Синие светодиоды: мода против здравого смысла / С. Асмаков // КомпьютерПресс. – 2007. – № 11. – С.62–64.

11. Dan Roberts. Artificial Lighting and the Blue Light Hazard. 2005, www.mdsupport.org.

12. Van Gelder. Blue light and the circadian clock / Van Gelder // RN Br J Ophthalmol. – 2004. – P. 88–1353.

13. Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps – Risk Group Classific. ANSI/IESNA RP-27.3-07.

14. LED eye-safety testing is essential, says Orb – LED Magazin. – 2009. – № 1. – С.17.

15. Преображенский П.В. Световые повреждения глаз / Преображенский П.В., Шостак В.И., Балашевич П.И. – Ленинград : «Медицина», Ленинградское отделение, 1986. – С.63.

16. Мартиросова В.Г. Гигиенический аспект проблемы применения новых высокоэффективных источников света – светодиодов в системах производственного освещения, как основы освещения будущего / В.Г. Мартиросова // Світло-lux. – 2008. – № 4. – С.63–64.

**Мартиросова В.Г.<sup>1</sup>, Назаренко В.І.<sup>1</sup>, Сорокін В.М.<sup>2</sup>, Галинський О.Д.<sup>3</sup>**

## **ГІГІЄНІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА В СИСТЕМАХ ОСВІТЛЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ**

<sup>1</sup>ДУ «Інститут медицини праці АМН України», м.Київ

<sup>2</sup>Інститут фізики напівпровідників НАН України, м. Київ

<sup>3</sup>НВП «АЕРОПЛАСТ», м. Київ

Розглядаються гігієнічні аспекти використання світлодіодних систем промислового освітлення на виробничих підприємствах України. Вказуються перспективи світлодіодного освітлення в різних країнах і державна підтримка розробок енергозберігаючого освітлення. Дана оцінка ефективності світлодіодного освітлення і наводиться порівняльний аналіз параметрів і характеристик ламп розжарювання, компактних люмінесцентних і світлодіодних ламп. Проаналізовано потужні білі світлодіоди і способи отримання білого світла. Проаналізовано світло-

технічні, фізичні і гігієнічні переваги і недоліки світлодіодних систем промислового освітлення. Оцінено нові підходи до нормування і стандартизації світлодіодних систем і світлового середовища на виробничих підприємствах України.

**Ключові слова:** світлодіоди, освітлення, гігієнічні аспекти, стандартизація

**Martirosova V.G.<sup>1</sup>, Nazarenko V.I.<sup>1</sup>, Sorokin V.M.<sup>2</sup>, Galinskiy O.D.<sup>3</sup>**

### **HYGIENIC ASPECTS OF LED INDUSTRIAL ILLUMINATION FOR UKRAINIAN ENTERPRISES**

<sup>1</sup>SI «Institute for Occupational Health of AMS of Ukraine», Kyiv

<sup>2</sup>Institute of Physics of Semi-conductors of NAS of Ukraine, Kyiv

<sup>3</sup>SPE «Aeroplast», Kyiv

Hygienic aspects of LED industrial illumination for Ukrainian enterprises are examined.

Prospects of LED illumination in the various countries and the state support of energy-saving illumination development are considered. The estimation of LED illumination efficiency and comparative analysis of parameters and characteristics of incandescent lamps, compact luminescent and LED lamps is given. Powerful white LEDs and the ways of white light production are analyzed. Optical, electrophysical and hygienic advantages and disadvantages of LED systems for industrial application are proved. New approaches to rationing of LED systems and the light environment at the industrial enterprises of Ukraine are estimated.

**Keywords:** light-emitting diodes, LED, illumination, hygienic aspects, standardization

*Поступила:* 04.06.2009

**Контактное лицо:** Назаренко Василий Иванович, старший научный сотрудник, лаборатория физических факторов, Институт медицины труда АМН Украины, 75, ул. Саксаганского, г. Киев, 01033. Тел.(044) 289-15-12.