



10 ноября 2015 г. на конференции «LED Forum» в рамках 21-й Международной выставки «Interlight Moscow powered by light+building» ведущие специалисты (Питер Блаттнер, Любовь Текшева, Павел Зак, Константин Даниленко, Антон Шаракшанэ) обсудили возможность замены освещения люминесцентными лампами (ОЛЛ) на освещение светодиодами (ОСД) в школьных и дошкольных учреждениях. Публикуем выдержки из этих обсуждений.

Спектр должен следовать за солнечным (из «Обзора деятельности МКО»)



Питер Блаттнер (Peter Blattner), Dr. (прикладная оптика). Директор Отделения 2 («Физическое измерение света и излучения») и Технического комитета TC2-69 («Фотометрия») МКО. Заведующий оптической лабораторией Национального института метрологии Швейцарии (METAS)

Около 15 лет назад открыли новый тип светочувствительных клеток (*ipRGC*), которые реагируют на свет, влияют на уровень мелатонина в крови и регулируют циркадный ритм. С тех пор невидимое действие света интенсивно исследуется. МКО недавно сделала заявление о невидимом действии света [1], в котором признаётся перспективность этих исследований и говорится, что открытых вопросов по-прежнему много. В том числе недавно обнаружено, что на циркадный ритм может влиять УФ излучение. МКО разработала дорожную карту по исследованию параметров благоприятного для здоровья внутреннего освещения [2] и призвала искать ответы на поставленные в ней вопросы, используя метрику согласно отчёту международного семинара по циркадной и нейрофизиологической фотометрии [3].

Излучение может оказывать фотоповреждающее воздействие на сетчатку, что называется «опасностью синего излучения» (ОСИ). Функция относительной спектральной эффективности ОСИ приведена в документе «Фотобиологическая опасность ламп и ламповых систем» [4]. В 2016 г. должен выйти исправленный вариант этого документа.

ОСИ тем больше, чем свет «холодней», но зависит и от других факторов. Мы взяли 40 разных источников света (ИС) из имеющихся на рынке, классифицировали их по трём категориям: без рассеивателя, с рассеивателем и направленного действия, сравнили их по энергетической яркости ($\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ср})$) в синем диапазоне спектра и увидели, что её значения у ИС с рассеивателем на два порядка ниже, чем у ИС направленного действия.

Если классифицировать ИС по коррелированной цветовой температуре $T_{ки}$, то в каждой категории можно увидеть разные уровни воздействия синего света без значимой разницы между группами.

Световая доза, вызывающая неблагоприятное воздействие, наберётся, если стоять и пристально смотреть на

сильно сконцентрированный свет специального ИС с высокой долей синей составляющей одну-две минуты. Но никто не будет этого делать – не позволят естественные защитные реакции.

Для школьного освещения я рекомендую использовать светильники со светодиодами (СД) обязательно со светорассеивателем. В идеале необходим матовый рассеиватель, но можно использовать и рассеиватели иного типа, в том числе популярный призматический. И я не вижу никаких проблем в том, чтобы использовать светильники со светорассеивателями с СД в школьных учреждениях.

Вопрос $T_{ки}$ – в большей степени вопрос культурной традиции, а не безопасности. Так, на юге Европы предпочитают высокую $T_{ки}$.

Чувствительность зрения ребенка к синему излучению выше, чем взрослого. Но $T_{ки}$ дневного света – 6400 К, и, если ИС с такой $T_{ки}$ не чрезмерно ярки, их свет не опасен вне зависимости от того, дневной ли это естественный свет, свет люминесцентных ламп или же СД.

В идеале в школьных учреждениях нужна динамичная система – спектр ИС должен следовать за солнечным, так как мы приучены к естественному ИС – Солнцу и его влиянию на нас.

Сравнительная гигиеническая оценка условий освещения люминесцентными лампами и светодиодами в учреждениях общего образования



Любовь Текшева, кандидат биол. наук. Заведующий отделом гигиенического нормирования и экспертизы и руководитель Испытательного лабораторного центра Таможенного союза по безопасности товаров детского ассортимента, строительных материалов, электротехнических изделий

Современное школьное образование отличается выраженной интенсификацией, нагрузки запредельны, в начальную школу внедряются информационные технологии, повышая нагрузку на зрение и на организм. И чтобы снизить физиологическую стоимость обучения, необходимо использовать все возможные резервы.

Мы провели сравнительную гигиеническую оценку искусственного освещения с использованием светильников с люминесцентными лампами (ЛЛ), при котором с 70-х гг. отучилось четыре поколения школьников, и светильников с СД.

Освещение ЛЛ (ОЛЛ) в нашей работе заменялось освещением СД (ОСД), в исследованиях участвовали одни

¹ В несокращённом виде презентации на «LED Forum» доступны по ссылке: <http://interlight-moscow.ru.messefrankfurt.com/moscow/ru/exhibitors/events/forums/led-forum/ledforum-2015-presentations.html> (короткая ссылка: <http://goo.gl/3VRtYj>).

и те же ученики (более трёхсот), естественный свет исключался плотными шторами. Другие особенности эксперимента: светильники близки по светораспределению, освещённость на партах 400 лк, показатель дискомфорта менее 15 и UGR не более 17, коэффициент пульсации освещённости менее 10% и $T_{ки}$ 4500 К, отражательные характеристики полов, потолков и стен стандартны, критерий сравнительной оценки – ответные реакции психофизиологического состояния школьников 4–11 классов и зрительной системы.

Наша основная гипотеза такова – если при ОСД реакции не хуже, такое освещение имеет право на жизнь. И мы были очень удивлены, когда на достоверном уровне обнаружили, что ОСД не хуже, а лучше, чем ОЛЛ.

Частота случаев сильного и выраженного утомления при определении умственной работоспособности оказалась достоверно ниже при ОСД, чем при ОЛЛ и в начальной школе, и в старших классах.

В гигиене за интегральный показатель зрительного утомления принимается критическая частота слияния мелькания (КЧСМ). Измерение КЧСМ также показало предпочтительность ОСД. При ОСД также больше выражен объём аккомодации. Впервые пробовалось изучать реакции кардиоваскулярной системы на разную световую среду. В том числе измерялась динамика индекса двойного произведения (ИДП). Чем ИДП ниже, тем выше аэробные возможности организма, тем больше резервы, тем дольше период устойчивой работоспособности и дальше откладывается момент развития утомления. При ОЛЛ уже в среду, в середине недели, мы находили заметное ухудшение состояния детей, тогда как в «светодиодных классах» это происходило только в четверг. То есть ухудшение состояния детей на целые сутки отодвигалось к концу недели. Частота жалоб неврозоподобного характера у учащихся начальной школы также при ОСД была значимо ниже.

Лишь по головным болям мы не нашли достоверной разницы, по всем же остальным параметрам выраженная достоверная разница получена – при ОСД значимо менее выражены снижение концентрации внимания, повышенная тревожность, чувство усталости, плаксивость, сонливость и трудность засыпания.

Анализ степени утомления школьников 4-го класса при ОЛЛ и ОСД показал ощутимую разницу по следующим критериям: КЧСМ, латентный компонент окуломоторной реакции, моторный компонент окуломоторной реакции, интервал предельно быстрой моторики в течение 5 секунд, показатель динамичности реакций, предельная частота длительной моторики, нестабильность длительной моторики, интервал предельно быстрого чередования движений, время переключения внимания и погрешность переключения внимания. По всем этим критериям организм при ОСД работает легче.

Аналогично исследовалась умственная работоспособность учеников 4–11 классов. Исследовались скорость и точность работы, сильное и выраженное утомление, интегральный показатель работоспособности. И также оказалось, что ОСД предпочтительнее.

Для себя я объясняю полученные результаты более низким уровнем пульсации освещённости и тем, что спектр излучения СД ближе к естественному. Кроме того, использовались светильники с СД с очень однородной

яркостью светового отверстия, благодаря рассеивателю и использованию СД мощностью лишь 0,1 Вт.

Коэффициент пульсации освещённости (КПО) при ОСД составлял 0,5%, а при ОЛЛ (с ЭПРА) – 2,5%. (В своё время было установлено, что КПО менее 10% уже не влияют на работоспособность, но в наше время, считаю, необходимо заново поднять вопрос о его пороговом уровне.)

По завершении исследования мы наблюдали этих детей в течении полутора лет и никаких жалоб от учившихся при ОСД не было. Наоборот, родители детей, которые учатся при ОЛЛ, постоянно требуют от директора школы создать в их классах хорошее ОСД.

Мы разработали гигиенические требования к установкам общего искусственного ОСД и подали проект изменения в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 («Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»). Основные тезисы проекта состоят в том, что в учреждениях школьного и профессионального технического образования при использовании осветительных установок с СД должны выполняться следующие требования:

- $T_{ки}$ СД белого света не должна превышать 4000 К;
- в светильниках допускается использовать СД мощностью не более 0,3 Вт;
- светильники с СД должны содержать рассеиватель, обеспечивающий равномерное распределение яркости по световому отверстию;
- максимальная габаритная яркость светильников не должна превышать 5000 кд/м².

Новый нормативный показатель – общий индекс цветопередачи R_a ввести в этот документ тяжело, но я убеждена, что это необходимо. При этом R_a должен быть не ниже 80.

Спектр света белых СД – это часть спектра естественного света, и по своему составу он ближе к естественному, чем свет ЛЛ. Если какими-то требованиями и ограничениями мы можем улучшить световую среду, чтобы снизить физиологическую стоимость обучения, то давайте это делать в отношении всех источников.

Об ограничении коррелированной цветовой температуры светодиодов при освещении помещений образовательных, дошкольных и лечебных учреждений



Павел Зак, доктор биол. наук, профессор. Ведущий научный сотрудник лаборатории физико-химических основ рецепции Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН

Очевидно, что ОСД по многим параметрам превосходит «традиционное» искусственное, и в близком будущем, безусловно, его заменит. На повестке дня – внедрение в осветительную практику белых СД с «бинарным» спектром, сформированным спектрами синего (450–460 нм) кристалла и зелёно-жёлто-красного (500–650 нм) люминофора. По доле излучения в синей части спектра белые СД условно делят на три категории: тепло-белого ($T_{ки}$ около 3000 К), нейтрально-белого (4000–5500 К) и холодно-белого (свыше 5500 К) света.

Сегодня в России считается допустимым использование в общеобразовательных школах СД нейтрально-белого света. Однако, по моему мнению и по заключениям европейских экспертов, дети, с их несформировавшимся зрением, относятся к группе повышенного зрительного риска по отношению к избыточному освещению синим светом. По этим экспертным оценкам, предельная избыточность синей доли в ОСД требует дополнительных медико-биологических исследований и обоснований, так как в мировой научной литературе отсутствуют данные о безопасности синего диапазона при относительно слабом повседневном освещении.

Ранее проведённые медико-биологические исследования по оценке лазерной безопасности выполнены при кратковременных однократных световых экспозициях, поэтому применение этих данных к оценке безопасности осветительных ламповых систем неправомерно. Три последних года разными научными группами ведутся сравнительные исследования по действию повседневного ОСД разного спектрального состава на сохранность зрительных функций короткоживущих экспериментальных животных на протяжении их биологической жизни от рождения до старости. Так, в целом ряде исследований на лабораторных мышах показано, что их повседневное содержание при ОСД холодно-белого света к концу жизни приводит к вымиранию половины зрительных клеток. Появились также независимые сведения о том, что развитие оптики глаза в детском возрасте значительно зависит от спектрального состава освещения (от переизбытка как синей, так и красной долей света).

В моих работах содержание лабораторных животных (японский перепел) при слабом синем свете в полтора раза активировало процессы биохимического обмена сетчатки в молодом возрасте, и в дальнейшем эта активация обернулась более ранним состариванием сетчатки и появлением в ней возрастных нарушений.

Кроме того, классические исследования прошлого века дают ясное представление о том, что максимальная зрительная работоспособность в кабинетных условиях достигается, когда в спектральном составе света преобладает доля с длинами волн 500 нм и выше.

Соответственно, я считаю, что на сегодня, в связи с неясностью ситуации, при внедрении ОСД в школьные и детские учреждения следует использовать светильники с СД тепло-белого света – спектрально аналогичные лампам накаливания, с их $T_{кц}$ около 3000 К.

Свет с позиции хронофизиологии: какой, сколько и когда



Константин Даниленко, доктор мед. наук. Зам. директора по научной и лечебной работе ФГБНУ «НИИ физиологии и фундаментальной медицины»

Основа анатомии хронобиологии – биологические часы в гипоталамусе, автономно работающие в генетически закреплённом циклическом режиме и синхронизирующие хронофизиологическую систему. Биологические часы связаны нервным путём с шишковидной железой в мозгу, которая вырабатывает мелатонин, тем самым

переводя информацию о смене дня и ночи на понятный организму биохимический язык и синхронизируя суточный цикл всех систем организма.

Циклическая работа гипоталамуса синхронизируется со временем суток с помощью сигналов, идущих от меланопсиновых фоторецепторов в глазах. Никакие другие факторы – ни физическая нагрузка, ни приём пищи, ни знание времени суток на биологические часы не действуют. Только свет.

Первый закон хронобиологии: воздействовать светом в нужное время

Принцип регуляции светом прост: при воздействии света ранним утром биочасы сдвигаются на более раннее время, при воздействии вечером – на более позднее. Такая зависимость отражена в экспериментально полученной *кривой фазового ответа* (рис. 1).

Второй закон хронобиологии: больше света, когда он нужен, и меньше, когда он не нужен

Для воздействия на биологическую систему имеет значение уровень освещения, его спектр (меланопсиновые рецепторы чувствительны к синей и бирюзовой составляющим света) и предыдущая световая история. Чем больше контраст между темнотой ночи и светом дня, тем больше амплитуда суточного ритма мелатонина, тем здоровей организм. С возрастом амплитуда снижается.

У молодых людей уровень мелатонина в крови ночью высок, они хорошо спят. У пожилых людей ночной уровень мелатонина ниже, а у пожилых с бессонницей ещё ниже.

Добавление дополнительного освещения днём пожилым с бессонницей увеличивало у них ночную концентрацию мелатонина в два раза (рис. 2). Напротив, полная темнота днём снижает ночную секрецию мелатонина у здоровых исследуемых.

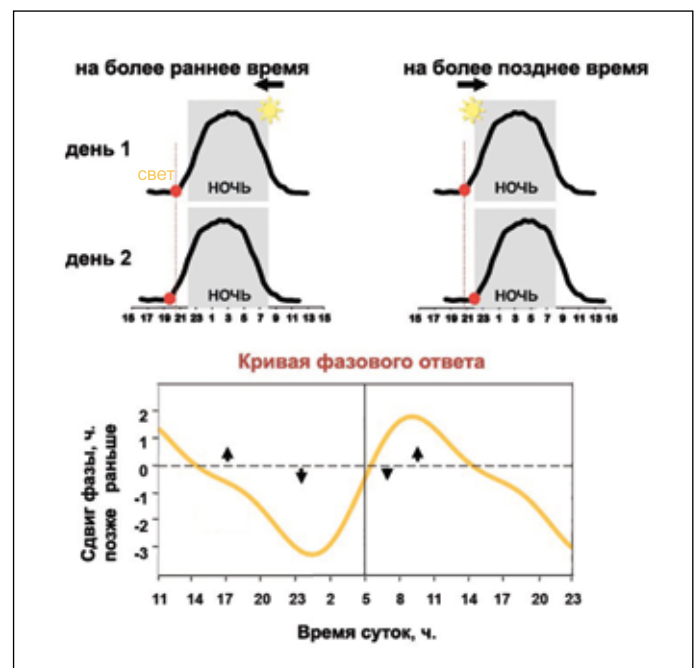


Рис. 1

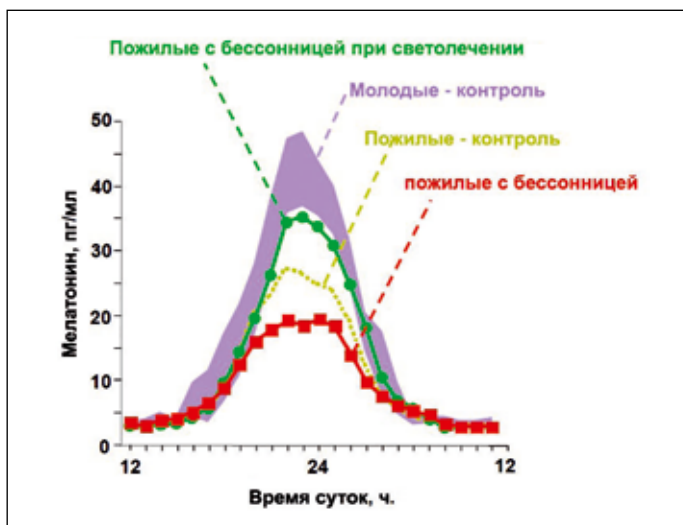


Рис. 2

Идеальное освещение для школ – динамичное, с повторением естественной световой динамики и по цветности, и по интенсивности. Такое освещение технически возможно, оно называется «циркадный дом», но во всех школах страны, конечно, реализовать его невозможно. Для школьников значима полнота светового спектра, его приближенность к естественному. В вечернее время нежелательны «холодный» свет и избыточный уровень освещения.

Критерии нормирования коррелированной цветовой температуры белых светодиодов для осветительных приборов



Антон Шаракшанэ, кандидат физ.-мат. наук, И.о. главного редактора ООО «Редакция журнала «Светотехника»

В спектре белого СД присутствует выраженный узкий синий пик, но степень воздействия на циркадную систему и опасность синего света определяются не амплитудой узкого пика, а общей долей потока излучения во всём сине-голубом спектральном диапазоне. Более точно эти воздействия определяются с учётом функций относительной спектральной эффективности ОСИ и подавления секреции мелатонина [4]. Методически наиболее правильно сравнивать эффект освещения светом различной природы, вычисляя их биологический эквивалент по методике, которую предложил В. Ван Боммель [5].

Расчёт биологического действия спектров различной природы проведён разными авторами и дал один и тот же результат: чем выше $T_{кц}$, тем выше биологическое действие света [6, 7]. Но получен и ещё один важнейший результат: биологическое действие любого ИС, будь то естественный дневной свет, ЛН, ЛЛ или СД, при одинаковой $T_{кц}$ одинаково. На этом основании Минэнерго США в 2013 г. выпустило официальное разъяснение [8] со следующим заключением: «Светодиодная продукция не более опасна, чем другая осветительная продукция с той же $T_{кц}$. Кроме того, в соответствии с действующими меж-

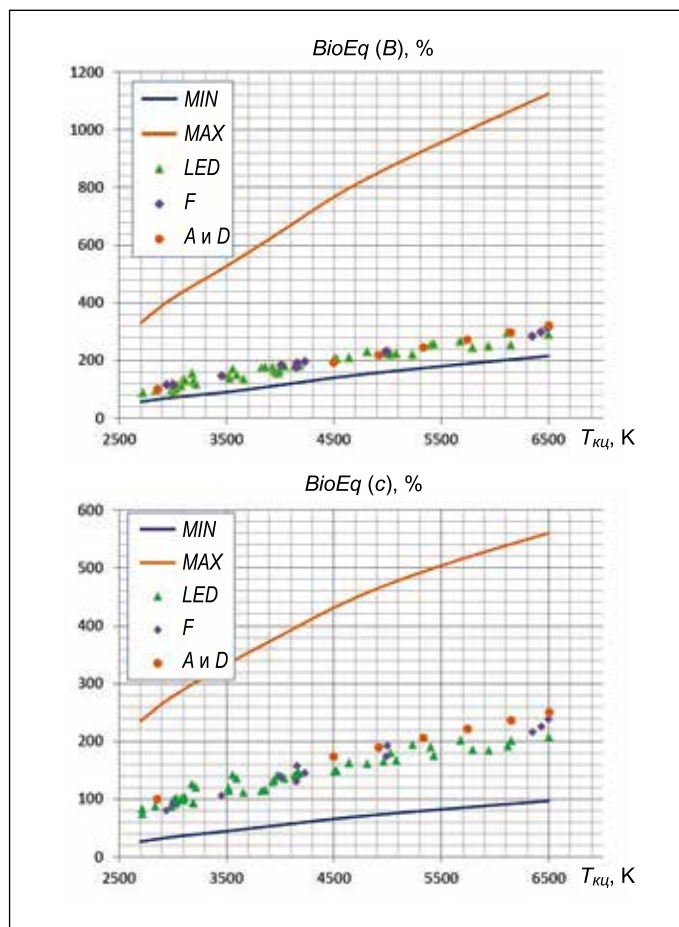


Рис. 3

дународными стандартами белый свет светильников, используемых для общего освещения не несёт риска опасности синего излучения».

Биологическое воздействие света в первую очередь определяется яркостью ИС, его расположением относительно наблюдателя и продолжительностью воздействия. Но при прочих равных условиях основной параметр контроля биологического действия ИС – $T_{кц}$.

Методом математического моделирования² мы определили спектры белого света, имеющие максимально (MAX) и минимально (MIN) возможные биологические эквиваленты по ОСИ (BioEq(B)) и по воздействию на циркадную систему (BioEq(c)) при заданных $T_{кц}$ (рис. 3). (Ни при каких условиях биологическое действие любого ИС, который когда-либо будет создан человеком, не выйдет за эти пределы.) А затем посчитали и отложили на этом же графике биологические эквиваленты для 87 реальных ИС разных видов (ЛН, ЛЛ, СД и естественный дневной свет) с разной $T_{кц}$.

Результат согласуется с ранее опубликованными выводами [7, 8]: светодиодные (LED) и люминесцентные (F) источники, а также источники естественного света (A и D) имеют биологическое действие, значимо не различимое при одинаковой $T_{кц}$.

Второй значимый и точно известный потребительский параметр любого ИС – общий индекс цветопередачи R_a .

² Программный комплекс спектрального анализа разработан Александром Шаракшанэ.

Он определяет психофизиологический комфорт световой среды, но косвенно характеризует степень близости спектра искусственного света к спектру дневного света. Чем выше R_a , тем ближе спектр искусственного света к естественному, тем больше оснований считать, что свет по любым критериям не хуже или не опасней естественного. Для детских учреждений за минимально допустимое значение R_a предлагаю принять равным 80 (в соответствии с предложением Любови Текшевой), а в качестве рекомендуемого – 90. Значения эти вполне реализуемы со светильниками с СД или ЛЛ.

Бесспорно, благоприятна световая среда на тенистой террасе в солнечный день (где освещённость около 5000 лк, $T_{ки}$ около 5000 К и биологическое действие естественного света в десятки раз выше чем в искусственно освещённом помещении). Но это хорошо для летнего дня. То же световое воздействие на циркадную систему вечером уже не будет благоприятным. Интенсивное световое воздействие на циркадную систему в несоответствующее время суток «выбивает из колеи» на несколько дней и однозначно опасно. Ещё в 2012 г. Американская медицинская ассоциация выпустила отчёт [9], в котором указала на опасность расстройства сна детей и подростков из-за воздействия света с большой синей составляющей в вечернее время.

Мы обязаны в школах и дошкольных учреждениях использовать высокие уровни освещения, сохраняя зрение детей. Но не имея возможности в детских учреждениях по всей стране регулировать $T_{ки}$ в течение дня, следует её ограничить единым для всех школ безопасным уровнем. Максимально высокое оправданное значение

$T_{ки} = 4000$ К. Как показывают исследования [10], оно получает высшие оценки в тестах на зрительный комфорт в рабочей обстановке, использование же более высокой граничной $T_{ки}$ нецелесообразно и потенциально опасно.

Предлагаю согласиться с предложением Павла Зака – принять за рекомендуемое значение $T_{ки}$ 3000 К и с предложением Любови Текшевой – принять за максимально допустимое значение этой величины 4000 К.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CIE Statement on Non-Visual Effects of Light «RECOMMENDING PROPER LIGHT AT THE PROPER TIME».
2. CIE TC3–46 WD «Research Roadmap for Healthful Interior Lighting Applications»
3. Report on the First International Workshop on Circadian and Neurophysiological Photometry, 2013.
4. CIE S009 / IEC62471 «Photobiological safety of lamps and lamp systems» (ГОСТ Р МЭК 62471–2013 «Лампы и ламповые системы. Светобиологическая безопасность»).
5. Ван Боммель В. Лампы для прямой замены ламп накаливания и здоровье // Светотехника. – 2011. – № 2. – С. 20–24.
6. Аладов А.В., Закегей 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.
7. Бижак Г., Кобав М.Б. Спектры излучения светодиодов и спектр действия для подавления секреции мелатонина // Светотехника. – 2012. – № 3. – С. 11–10.
8. SSL Technology Fact Sheet: Optical Safety of LEDs.
9. American Medical Association «H 135.937 Light Pollution Adverse Health Effects of Nighttime Lighting».
10. Банья Р.Р., Тэтри Э., Халонен Л. Исследование предпочтений по освещённости и коррелированной цветовой температуре в офисном освещении светодиодами // Светотехника. – 2015. – № 4. – С. 53–58.

АККРЕДИТОВАННАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Аттестат аккредитации № BY/112 02.10.1714 от 13.08.2012г.

проводит испытания светотехнических изделий на соответствие требованиям стандартов и ТУ по следующим характеристикам:

Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси»

220090, Республика Беларусь, г. Минск, Логовокий тракт, 22, к. 2
 Тел.: +375-17-281-13-35 (прямая линия)
 Факс: +375-17-283-91-51
 E-mail: sensor@inel.bas-net.by

Испытательная лаборатория:
 Тел.: +375-17-281-13-62
 Моб.: +375-29-174-174-6
 E-mail: led.testlab@gmail.com

Начальник ИЛ:
 Цырюк Виталий Иванович

СВЕТИЛЬНИКИ

- Класс светораспределения
- Тип КСС в различных плоскостях
- Световой поток, лм
- Спад и время стабилизации светового потока
- Потребляемая мощность, Вт
- Коэффициент мощности
- Световая отдача, лм/Вт
- Коррелированная цветовая температура, К
- Общий и частные индексы цветопередачи
- Коэффициент пульсаций
- Гармонический состав тока, фликер
- Температура в различных точках изделия

ЛАМПЫ, ПОДСВЕТКИ, СВЕТОВЫЕ ПАНЕЛИ

- Световой поток, лм
- Спад и время стабилизации светового потока
- Потребляемая мощность, Вт
- Коэффициент мощности
- Световая отдача, лм/Вт
- Коррелированная цветовая температура, К
- Координаты цветности (X, Y)
- Общий и частные индексы цветопередачи
- Температура в различных точках изделия
- Яркость, кд/м²
- Измеряем трубчатые лампы типа T8 и T12 с цоколем G13 длиной от 44 до 150 см
- Измеряем лампы с цоколями GU10, G9, E14, E27, E40
- Климатические испытания

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОДИОДНЫЕ МОДУЛИ

- Вольтамперная характеристика
- Спектральное распределение излучения в диапазоне 200-1000 нм
- Световой поток, лм
- Излучаемая мощность, Вт
- Поток фотонов в области ФАР, мкмоль/с
- Эффективность в области ФАР, мкмоль/с/Вт
- «Усредненная» сила света, кд
- Яркость, кд/м²
- Коррелированная цветовая температура, К
- Координаты цветности (X, Y)
- Потребляемая мощность, Вт
- Температурный коэффициент напряжения

Работы проводятся на оборудовании ведущих мировых производителей:

- Instrument Systems (Германия)
- Agilent (США)
- Flig (Швеция)
- Testo (Германия)
- Konica Minolta (Япония)
- Laplace Instruments (Великобритания)

