

## **СВЕТИЛЬНИКИ С ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУСКОРЕГУЛИРОВОЧНЫМИ АППАРАТАМИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПУЛЬСАЦИИ ОСВЕЩЕННОСТИ**

Нормы на параметры световой среды. Нерациональное искусственное освещение может проявляться в несоответствии нормам следующих параметров световой среды:

недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенная пульсация светового потока (более 20 %), некачественный спектральный состав света, повышенная блескость и яркость на столе, клавиатуре, тексте и т.п. Известно, что при длительной работе в условиях недостаточной освещенности и при нарушении других параметров световой среды зрительное восприятие снижается, развивается близорукость, болезнь глаз, появляются головные боли.

Обеспечение требований санитарных норм к факторам световой среды для рабочих мест персонала, занятого на зрительно напряженных работах, и для рабочих мест в учебных классах и аудиториях образовательных учреждений является важным фактором создания комфортных условий для органа зрения.

Основные требования к факторам световой среды на рабочих местах в организациях приведены:

- в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» (для общественных и образовательных помещений);
- в СНиП 23-05-95 (для производственных помещений);
- в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы» (для помещений с ПЭВМ).

Основные требования к факторам световой среды на рабочих местах в общеобразовательных учреждениях приведены в Методических рекомендациях «Санитарно-гигиеническое обеспечение обучающихся и работников образовательных учреждений» /Атаулов И.А., Масленников М.М. Методические рекомендации. — М.: АРКТИ, 2005. — 96 с.

В нормах приведены требования к двум количественным светотехническим параметрам, определяющим качество световой среды и позволяющим снизить зрительную нагрузку на орган зрения: к освещенности рабочего места; к яркости поверхностей и источников света. Среди качественных показателей световой среды очень важным является коэффициент пульсации освещенности ( $K_p$ ). Коэффициент пульсации освещенности — это критерий оценки глубины колебаний (изменений) освещенности, создаваемой осветительной установкой, во времени.

Как правило, на рабочих местах с ПЭВМ, в кабинетах информатики и в учебных классах устраивают общее освещение. При этом необходимо, чтобы освещенность на рабочих местах была бы не ниже нормируемых значений, приведенных в таблице 1.

Видно, что требования к коэффициенту пульсации освещенности наиболее жесткие для рабочих мест с ПЭВМ — не более 5% (по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03). Для других видов работ требования к коэффициенту пульсации освещенности ( $K_p$ ) менее жесткие, но величина  $K_p$  должна быть не более 15%. Лишь для самых грубых зрительных работ допускается большее значение ( $K_p$ ), но не более 20%.

Местное освещение (если его применяют) не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана ПЭВМ более 300 лк. Следует ограничивать прямую и отраженную блескость от любых источников освещения. При этом яркость светящихся поверхностей, находящихся в поле зрения (окна, светильники, яркость потолка, при применении системы отраженного освещения, и др.), должна быть не более 200 кд/м<sup>2</sup>, а яркость бликов на экране ВДТ и ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м<sup>2</sup>.

Рекомендуемая неравномерность яркости рабочего поля экрана — не более  $\pm 20\%$ .

## Таблица 1

Помещения Освещенность, лк

(на горизонтальных  
поверхностях) Коэффициент пульсации  
освещенности, %

Рабочие места с ПЭВМ

Кабинеты информатики 400

(300 -500) Не более 5

Кабинеты химии и физики

Лаборатории 500

400 Не более 10

Классные комнаты, учебные аудитории 300 Не более 10

Кабинеты технического черчения 500 Не более 10

Нередко наибольшее неудобство пользователям доставляет повышенная отражательная способность экранов мониторов и некачественных приэкранных фильтров (если они установлены на экраны дисплеев). Это вызывает дополнительную усталость глаз. Чтобы ее уменьшить, во многих учреждениях пользователи сами отключают часть светильников и работают при минимальной освещенности, как на рабочем месте, так и на различных поверхностях.

Такой характер работы следует считать недопустимым, т.к. при этом освещенность на сетчатке глаза от любого знака, требующего различения, оказывается ниже физиологически необходимой величины, равной 6–6,5 лк. Необходимая освещенность регулируется размером зрачка от 2 мм (при очень высокой освещенности) до 8 мм (при предельно низкой освещенности для самых грубых работ). Установлено, что уровни оптимальной яркости поверхностей находятся в пределах от 50 до 500 кд/м<sup>2</sup>.

Оптимальная яркость экрана дисплея составляет 75–100 кд/м<sup>2</sup>. При такой яркости экрана и яркости поверхности стола в пределах 100–150 кд/м<sup>2</sup> обеспечивается продуктивность работы зрительного аппарата на уровне 80–90 %, сохраняется постоянство размера зрачка на допустимом уровне 3–4 мм.

Поэтому, «борясь» указанным выше способом с бликами на экране дисплея, пользователи одновременно создают сами себе другие неблагоприятные условия. В частности, значительно увеличивается нагрузка на мышцы глаз. Это вызывает повышенную усталость органа зрения, а в последующем — развитие близорукости.

Исходя из этих научных данных в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы» были установлены нормы на освещенность, которые рекомендуется выполнять.

Реально несоблюдение требований норм по освещенности и по яркости имеет место более чем на 30% рабочих мест. Рекомендации по обеспечению требований норм хорошо известны. Как правило, для этого бывает достаточно установить дополнительное количество светильников и немного изменить ориентацию рабочих столов по отношению к источникам света. Более сложно бывает выполнить требование норм по коэффициенту пульсации освещенности.

Типичная картина в России следующая — в большинстве помещений (более 90%) освещение осуществляется с помощью светильников, имеющих обычные электромагнитные пускорегулировочные аппараты (ПРА), причем эти светильники подключаются к одной фазе сети. Чтобы выяснить, как выполняется в организациях требование норм по коэффициенту пульсации, с помощью люксметра-пульсметра «Аргус-07» были выполнены замеры коэффициента пульсации на многих рабочих и учебных местах в разных организациях (в том числе и на рабочих местах с ПЭВМ).

Наши замеры и анализ литературных данных показывают, что по значению Кп ни одно из обследованных мест не соответствовало требованиям норм: фактические значения Кп в

разных помещениях для разных типов светильников с люминесцентными лампами составляют от 22 до 65%, что значительно выше норм. Широко применяемые в настоящее время потолочные светильники 4x18 Вт с зеркализированной решеткой имеют коэффициент пульсации 38-42%, по этой причине многие работники с трудом заставляют себя работать на ПЭВМ, так как очень быстро устают, иногда испытывают головокружение и иные неприятные ощущения. Коэффициент пульсации ламп накаливания составляет 9-11%, потолочных светильников типа «Кососвет» — 10–13%, но они менее экономичны.

Понятие о коэффициенте пульсации освещенности. Среди показателей качества световой среды пульсация освещенности занимает особое место. Особенно остро вопрос об ограничении этого показателя стоит в настоящее время в связи с массовым использованием ПЭВМ, ибо работа на ПЭВМ относится к одной из самых напряженных для органа зрения.

Так как на рабочих местах контролируют и нормируют величину освещенности, то в качестве критерия оценки глубины световых колебаний принят коэффициент пульсации освещенности. Коэффициент пульсации характеризует изменение освещенности, создаваемой осветительной установкой, во времени по отношению к среднему значению освещенности на рабочем месте:  $K_p = (E_{\max} - E_{\min}) / 2E_{\text{ср}}$ . Это отношение измеряется в процентах.

Так как при питании люминесцентной лампы переменным током частотой 50 Гц световой поток создается за половину периода колебаний, то этот световой поток пульсирует с удвоенной частотой относительно питающего напряжения (100 световых импульсов в секунду). Пульсация светового потока от излучения люминофора лампы в 100 Гц превышает критическую частоту слияния световых мельканий (примерно 75 Гц). За счет некоторой инерции глазу кажется, что световой поток и освещенность не очень изменяются, хотя реально происходит изменение этих величин около среднего значения светового потока и освещенности ( $E_{\text{ср}}$ ).

Анализ литературы показал, что коэффициент пульсации типовой осветительной установки (светильника) с электромагнитным ПРА, питающейся от переменного напряжения частоты 50 Гц, зависит от следующих параметров: от коэффициента пульсации источника света (лампы); от светораспределения осветительного прибора и его размещения в пространстве освещаемого помещения; от схемы включения светильника в сеть трехфазного электрического тока. Повышение концентрации светового потока светильника и увеличение расстояния между светильниками приводит (при прочих разных условиях) к увеличению коэффициента пульсации.

Исследования, выполненные в различных светотехнических лабораториях, показывают, что для разных типов люминесцентных ламп в светильниках с ПРА значение  $K_p$  существенно различается (табл. 2).

Из таблицы видно, что лампы ЛБ и ЛБЦТ (ЛТБЦ) имеют преимущество — при любом способе их включения в один и тот же светильник на рабочем месте будет наблюдаться меньший коэффициент пульсации освещенности.

Увеличение коэффициента пульсации освещенности  $K_p$  снижает зрительную работоспособность человека, повышает утомляемость. Особенно это проявляется у учащихся, в первую очередь у школьников до 13–14 лет, когда зрительная система еще формируется.

К сожалению, на значительное несоответствие нормам во многих организациях не обращают внимания. И напрасно. Установлено, что реально повышенная пульсация освещенности оказывает негативное воздействие на центральную нервную систему, причем в большей степени — непосредственно на нервные элементы коры головного мозга и фоторецепторные элементы сетчатки глаз. Исследования, выполненные в Ивановском НИИ охраны труда, показали, что у человека снижается работоспособность: появляется напряжение в глазах, повышается усталость, труднее сосредотачиваться на

сложной работе, ухудшается память, чаще возникает головная боль. Отрицательное воздействие пульсации возрастает с увеличением ее глубины.

У тех, кто работает с экраном дисплея, зрительная работа является наиболее напряженной и существенным образом отличается от других видов работ. По данным Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии АН СССР (РАН России) мозг пользователя ПЭВМ вынужден крайне отрицательно реагировать на два (и более) одновременных, но различных по частоте и некротных друг другу ритма световых раздражений. При этом на биоритмы мозга накладываются пульсации от изображений на экране дисплея и пульсации от осветительных установок.

Экспериментально было установлено, что для снижения таких вредных воздействий на мозг и зрительный аппарат человека необходимо, чтобы глубина пульсация освещенности от источников света, работающих от сети 50 Гц, не превышала бы 5–6 % (при частоте 100 Гц). Вот почему в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 были установлены такие жесткие требования по ограничению коэффициента пульсации освещенности — не более 5%.

#### Таблица 2

Значение коэффициента пульсации Кп для разных типов ламп и способов их включения

Тип ламп Кп, %, при включении ламп

в одну фазу в две фазы три фазы

ЛБ, ЛХБ до 34-35 до 14 до 3

ЛД 55 23 5

ЛДЦ 72 30 7

ЛБЦТ (ЛТБЦ) 26 11 2

ЛЕЦ 64 27 6

Исследования ученых показали, что мозг перестает реагировать на колебания света, если частота этих колебаний превышает 300 Гц. На этом факте и основаны известные способы снижения величины Кп.

Способы снижения коэффициента пульсации освещенности. Основных способов три:

- подключение обычных светильников на разные фазы трехфазной сети (два или три осветительных прибора);
- питание двух ламп в светильнике со сдвигом (одну отстающим током, другую опережающим), для чего в светильник устанавливают компенсирующие ПРА;
- использование светильников, где лампы должны работать от переменного тока частотой 400 Гц и выше.

Подробно меры по реализации различных технических решений, как выполнить это требования норм, изложены в справочной литературе по светотехнике. Рекомендуется использовать ГОСТ 17677-82, «Справочную книгу по светотехнике» под ред. Ю.Б. Айзенберга, «Справочную книгу для проектирования электрического освещения» под ред. Г.М. Кнорринга.

Практика показывает, что в настоящее время в большинстве помещений все ряды светильников подсоединяются к одной фазе сети, поэтому реализация такого технического приема как «расфазировка» светильников нередко затруднена. Поэтому часто наиболее реально осуществимыми являются следующие варианты:

- демонтаж установленных ранее светильников, оснащенных электромагнитными ПРА, и установка на их место новых светильников, оснащенных электромагнитными ПРА (т.е. ЭПРА);
- оставить действующие светильники (если они соответствуют требованиям п. 6.6, 6.7 и 6.10 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03), демонтировать из них электромагнитные ПРА и установить на их место ЭПРА); на демонтаж ПРА монтаж ЭПРА в одном светильнике в среднем затрачивается 15 – 20 минут.

Блок с ЭПРА встраивается внутрь светильника и через этот блок люминесцентные лампы

подсоединяются к сети. Если в организациях есть квалифицированные электрики, то можно не покупать новые светильники с ЭПРА, а оставить прежние светильники (если они удовлетворяют всем требованиям норм, кроме коэффициента пульсации), но приобрести отдельно ЭПРА и установить их в эти же светильники. Это позволит не только выполнить требования норм, но и более чем в два раза сократить затраты на приобретение и установку новых светильников.

Ниже на схемах показан пример замены ПРА на ЭПРА в типовом встроенном светильнике для снижения коэффициента пульсации освещенности в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Слева показан светильник с ПРА, справа — этот же светильник после демонтажа ПРА и монтажа ЭПРА.

Ассортимент ЭПРА насчитывает многие десятки типоразмеров, отличающихся количеством и мощностью включаемых с ними ламп, наличием или отсутствием возможности регулирования светового потока, характером включения ламп (с предварительным прогревом электродов или без него), наличием функций защиты аппарата и электросети от возможных аварийных ситуаций.

В России в настоящее время светильники с ЭПРА выпускают из импортных комплектующих, используя в основном ЭПРА разных типов фирм «Филипс» и «Осрам». В Белоруссии выпускают светильники, в которые встраивают ЭПРА своего производства. Современные ЭПРА содержат следующие основные узлы: входной фильтр подавления высокочастотных помех; выпрямитель; корректор формы потребляемого от электрической сети тока — это «повыситель» частоты миганий с 50 Гц до 20–50 кГц (в зависимости от типа ЭПРА); управляющий каскад; усилитель мощности и выходной каскад. «Сердцем» любого ЭПРА является управляющий каскад. К выходу усилителя мощности подключается выходной каскад — собственно пускорегулирующий аппарат в его традиционном понимании, а потом и люминесцентная лампа.

При наличии ЭПРА сетевое напряжение 220 В частоты 50 Гц выпрямителем со сглаживающим конденсатором и корректором-стабилизатором преобразуется в постоянное напряжение 400 В. Высокочастотный генератор (преобразователь) преобразует это постоянное напряжение в переменное частотой выше 20 кГц. Так как схема работает на высокой частоте, индуктивность дросселя в ЭПРА и его размеры очень малы по сравнению с размерами обычных дроссельных ПРА.

В научно-консультационном центре компьютерной безопасности «Росмедком» были выполнены сравнительные замеры освещенности и коэффициента пульсации освещенности для светильников с ПРА и с ЭПРА (табл. 2). Для этого светильники подключили к однофазной сети, причем каждый светильник имел свой выключатель. Все светильники подвесили компактно на потолке в комнате на одинаковой высоте 4 м от уровня пола и на высоте

3,2 м от рабочей поверхности стола с ПЭВМ. Три светильника имели по 4 люминесцентных лампы мощностью по

18 Вт каждая, а остальные — по 2 лампы мощностью по 36 Вт, таким образом электрическая мощность ламп у всех светильников была одинаковой — 72 Вт.

Каждый светильник включали поочередно, давали ему разогреться 5–6 минут, чтобы выйти на рабочие параметры. Прибор «Аргус-07» располагали строго под светильником на высоте 0,8 м от уровня пола, после чего измеряли освещенность и коэффициент пульсации. В течение дня замеры повторяли 5 раз, после чего данные усредняли.

Аналогичные результаты сравнительных замеров были получены для светильников с ЭПРА, которые выпускают «Световые технологии» (г. Рязань) и «Омтек» (г. Александров). Замеры коэффициента пульсации освещенности для светильников с ЭПРА недостаточно корректны (см. ниже), но позволяют получить впечатляющую качественную картину целесообразности применения ЭПРА.

Контроль коэффициента пульсации освещенности. Порядок обследования (контроля) параметров световой среды, приведенных выше, регламентирован в Методических

указаниях Минтруда России и Минздрава России МУ ОТ РМ 01-98/МУ 2.2.4.706-98 «Оценка освещения рабочих мест», разработанных Ивановским НИИОТ в 1998 г. Для светильников с электромагнитными ПРА (частота пульсации освещенности 100 Гц) рекомендуется использовать люксметр-пульсметры «Аргус-07» и ТКА-ПУЛЬС. По мнению сотрудников лаборатории промышленного освещения УФНПР «Научно-исследовательский институт охраны труда в г. Иваново» результаты измерений коэффициента пульсации освещенности с помощью люксметров-пульсметров «Аргус-07» и «ТКА-Пульс» при питании светильников частотой выше 300 Гц не могут быть признаны достоверными. Данные приборы нуждаются в доработке для замеров пульсации освещенности в светильниках с ЭПРА.

В настоящее время многие организации, которые проводят аттестацию рабочих мест, выполняют замеры значения Кп помощью люксметров-пульсметров «Аргус-07» и «ТКА-Пульс» во всех случаях, т.е. если в светильниках установлены как ПРА, так и ЭПРА. К сожалению, приборы для контроля коэффициента пульсации для светильников с ЭПРА в настоящее время отсутствуют. Поэтому следует руководствоваться пп. 3.7.3 (раздел 3, п. 3.7) Методических указаний Минтруда России МУ ОТ РМ 01-98/МУ 2.2.4.706-98. Там сказано, что контролировать значение коэффициента пульсации на рабочих местах с ПЭВМ не требуется, если в организациях применяют светильники с ЭПРА.

Класс условий труда по показателю световой среды устанавливается в соответствии с Руководством Р 2.2.2006-05.

#### Выводы и предложения.

Анализ литературы, каталогов светильников разных фирм, сравнительных замеров (табл. 3) показывает, что светильники с ЭПРА вместо обычных светильников с ПРА имеют следующие преимущества: коэффициент пульсации освещенности — не более 3%; световая отдача ламп повышается на 20–30%, экономия электроэнергии достигает 30%, увеличение срока службы ламп — до 20%; бесшумная работа, ровный, без мерцания, свет, снижение зрительной нагрузки.

Как видно из табл. 1, в образовательных учреждениях светильники с ЭПРА могут быть рекомендованы к применению не только в дисплейные классы, но и в другие учебные классы, особенно — в классы начальной школы, так как именно в этом возрасте зрительная система ребенка наименее устойчива к интенсивным постоянным зрительным нагрузкам.

Необходимо провести уточнение и корректировку требований к освещению в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 в части требований к коэффициенту пульсации освещенности, что допускает их неправильное толкование. Отдельно следует обосновать требования к коэффициенту пульсации освещенности при работе за дисплеем с экраном ЖКИ. В настоящих нормах не оговаривается, для каких типов экранов справедливы эти нормы. Инженеры по охране труда нередко задают вопросы и делают запросы в НИИ медицины труда — какие нормы при аттестации рабочих мест с ПЭВМ надо использовать для экранов с ЖКИ: не более 5% (по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) или не более 10% (по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03).

Приведенный выше материал показывает, что независимо от этого фактические значения Кп существенно выше как 5%, так и 10%, поэтому в любом случае применение светильников с ЭПРА позволяет обеспечить выполнение требований норм и улучшить условия труда.

#### Таблица 3

Тип светильника Тип ламп Освещенность, Е, лк Коэффициент пульсации, Кп, % Тип ЭПРА

ЛЭС-2х36 (2х36W), растровый, с решеткой, (завод ЭНЭФ) Филипс,  
№ 840 220 2, 4 - 3 ЭПРА-Л-220 В 2х36

PRBLUX/R4x18, растровый  
(Световые технологии, Рязань) ЛДЦ-18  
(ЛДЦ-20) 160 35 - 40 без ЭПРА  
(с ПРА)  
Типовой светильник, опаловый, 2x40 ЛД - 40 150 22 - 24 без ЭПРА  
(с ПРА)

Мы согласны со следующими предложениями Ильиной Е.И. (зав. лабораторией промышленного освещения УФНПР НИИОТ, г. Иваново):

- необходимо согласовать между собой два документа одинакового ранга: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 в части требований к освещению рабочих мест с компьютерами, причем за базовые значения следует принять нормы, приведенные в специальном документе для рабочих мест с ПЭВМ — СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;
- в паспортах на светильники необходимо указывать данные о величине коэффициента пульсации освещенности, создаваемые светильниками с электромагнитными ПРА при различных источниках света (см. табл. 2) и схемах включения в групповую сеть;
- в паспортах на светильники с ЭПРА достаточно иметь указание на то, что «... дополнительные мероприятия по ограничению пульсации освещенности не требуются в соответствии с ...»;
- требуют доработки и усовершенствования применяемые в настоящее время люксметры-пульсметры, чтобы установить тот диапазон частот, в котором измерения Кп будут корректны.

В настоящее время лидерами по внедрению светильников с ЭПРА являются Швеция, Швейцария, Австрия, Голландия, Германия, затем США и Япония. Полный переход всех организаций в мире в ближайшие 10–15 лет на такие светильники позволит существенно сократить потребление электроэнергии в мире, т.е. частично улучшить экологическую обстановку.

Надо знать, что газоразрядные источники искусственного света также создают постоянно действующие дополнительные (нередко – избыточные) потоки сине-фиолетового света, что оказывает дополнительную нагрузку на орган зрения (узкополосные пики интенсивного излучения имеют место в диапазоне частот 420–470 нм). Это излучение накладывается на вредные потоки сине-фиолетового света от экрана дисплея и оказывает дополнительную нагрузку на орган зрения (еще больше снижается четкость восприятия и ухудшается цветопередача изображения любых предметов и обычных текстов, поэтому орган зрения вынужден расходовать дополнительную энергию на «создание» более четкого изображения на сетчатке глаза). Но рассмотрение этого вопроса не входит в задачу настоящей статьи.

Можно лишь отметить, что рекомендуемые к применению в помещениях с ПЭВМ, в образовательных учреждениях и для многих других видов работ люминесцентные лампы ЛБ (и их импортные аналоги) имеют неоптимальный спектральный состав. С этой точки зрения более предпочтительны лампы типа ЛТБЦ и ЛТБ.

Шумилин В.К., к.т.н., доцент кафедры "Экология и безопасность жизнедеятельности" МГАПИ