

ны значения коэффициентов приведения по току (K_{ij}). Последние удобно вычислить из условия равенства безразмерных взаимных индуктивностей обмоток, обусловленных основным полем машины. Несмотря на относительную сложность расчета коэффициента K_{ij} , рассмотренные базисные количества широко применяются в теории синхронных машин, имея то преимущество, что уменьшают количество независимых параметров в уравнениях.

При использовании относительных единиц реальное время $t(c)$ заменяется безразмерной переменной $\tau = \frac{t}{t_0}$ (рад), а символ p_τ обозначает производную по синхронному (относительному) времени. Величина H_j может быть подсчитана через момент инерции J ротора ВД, а именно:

$$H_j = \frac{J \Omega_0^2}{p M_0} .$$

В дальнейшем все уравнения и соотношения, описывающие работу ВД, приводятся в относительных единицах. При этом уравнения для каждого элемента ВД записываются отдельно, в наиболее удобных координатах. Связь уравнений в единую систему осуществляется через значения токов и напряжений в точках соединения элементов.

1. Волчуков Н.П., Элксинс В.Я., Фаран А.Ш. Особенности протекания процессов в вентильных двигателях различного исполнения // Вісник Національного технічного університету «ХП». – Харків, 2001. – №12. – С.311-312.

2. Математическая модель электромагнитных процессов в вентильном двигателе / А.М.Русаков, А.Н.Соломин, Н.А.Окунеева, И.В.Шатова // Вестник Московского энергетического института. – 2007. – №3. – С.33-40.

Получено 11.03.2010

УДК 621.315

А.А.СЕРОБАБА

Харьковская национальная академия городского хозяйства

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА ПО ЦИРКАДНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Анализируется эффективность источников света по их циркадному воздействию. Показано, что циркадная эффективность излучения значительно отличается от световой эффективности излучения для дневного зрения. Приводится оценка этой разницы, что позволило точнее оценить преимущества одних источников света над другими относительно их использования.

Аналізується ефективність джерел світла за їх циркадну дію. Доведено, що циркадна ефективність випромінювання значно відрізняється від світлової ефективності

випромінювання для денного зору. Наводиться оцінка цієї різниці, що дозволило точніше оцінити переваги одних джерел світла над іншими.

The article is devoted the analysis of efficiency of light sources on their circadian influence. It is established that circadian efficiency of radiation considerably differs from light efficiency of radiation for a photopia. The estimation of this difference is given. It allowed more precisely to estimate advantages of one sources of light above other, in relation to their use.

Ключевые слова: циркадная эффективность, источники света, освещение.

Световая среда является необходимым условиям жизнеобеспечения и работоспособности человека. Известно, что помимо зрительной функции, свет оказывает на организм также биологическое и эмоциональное действие [1]. Учет влияния световой среды на человека – необходимая категория светотехники и фотометрии.

Поскольку понятие световой среды определяется целым рядом параметров, необходимо определить влияние каждого из параметров, а после – изучить их взаимосвязь. Целью данной работы служит анализ влияния циркадной составляющей световой среды на человека и оценка современных и перспективных источников света по их циркадному воздействию.

Влияние света на самочувствие и работоспособность человека отмечалось при гигиенической оценке практически всех условий освещения. Важность учета спектрального состава излучения для освещения подчеркивали еще в начале прошлого века. Позже проблема «Свет и здоровье» попадала под внимательное рассмотрение ведущими светотехниками, в том числе и отечественными, второй половины XX ст. В ходе исследований уже тогда было предложено использовать многофункциональную природу света, который призван обеспечивать не только условия видимости, но и выполнять многие другие функции: психологические, биологические, эстетические [2, 3]. Была высказана и обоснована идея комплексного проектирования среды с одновременным активным управлением светотехническими установками осветительного, облучательного и декоративного действия и их комбинацией. По-новому взглянуть на вопрос освещения позволило открытие Берсоном в 2002 г. нового рецептора, функция которого не связана с формированием изображения [4]. Взяв за основу зависимость уровня содержания мелатонина в крови, который регулируется шишковидной железой, как ответ на раздражение нового рецептора, К.Брейнарду удалось установить «кривую эффективности циркадного воздействия» излучения (рис.1).

Несмотря на некоторые феномены, которые не объясняет функция относительной спектральной циркадной эффективности излуче-

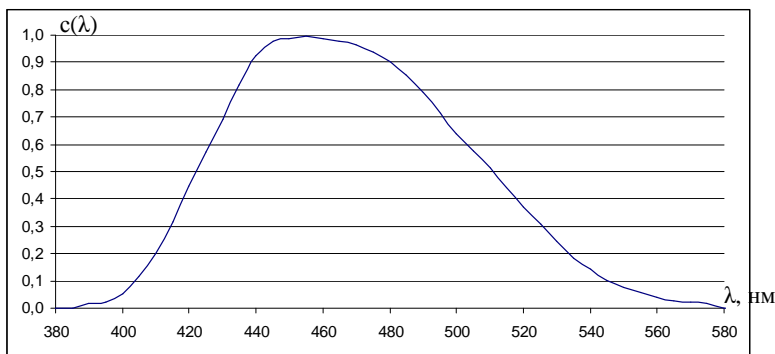


Рис.1 – Кривая функции относительной спектральной циркадной эффективности излучения

ния, такие как пространственная зависимость чувствительности нового рецептора и некоторое несоответствие его реакции закону аддитивности, все же на сегодня это наиболее полная модель, описывающая циркадное действие света на организм человека. Более глубокое понимание физиологических процессов, лежащих на пути от воздействия света на рецептор и до появления реакции, как изменение состояния организма, активно исследуется биологами, что дает надежду на уточнение этого механизма. Необходимость исследования циркадной эффективности освещения можно подтвердить, приняв во внимание обеспокоенность ведущих специалистов МКО в вопросе перспектив массового внедрения в светотехническую практику источников света с избыточным излучением в коротковолновой части спектра [5]. Помимо положительного влияния циркадного воздействия света, такого как нормализация циркадных ритмов и улучшение обмена веществ, не стоит забывать и об отрицательных моментах. В частности, согласно исследованиям [1-6], свет, падающий на человека, оказывает комплекс различных воздействий. При попадании оптического излучения на кожу образуется витамин D, существенно влияющий на здоровье костей. Но при неправильном дозировании излучения могут быть вызваны термические и фотохимические ожоги, повреждения тканей, как острые, так и хронические. Помимо того, что свет регулирует температуру организма, сердечный ритм, секрецию гормонов, могут быть и побочные явления, в том числе рост раковых опухолей и нейрозаболевания, которые могут возникать в качестве последствий облучений в ночное время.

В работе ставилась задача оценки и анализа циркадного воздей-

ствия разноспектральных источников света, решение которой дало возможность сравнить их циркадную эффективность и дать рекомендации по области их применения.

В работе [6] было предложено ввести эффективные циркадные величины на основе кривой эффективности биологического воздействия оптического излучения

$$\Phi_{cv} = K_{\max_{cv}} \int_{380}^{780} \varphi_e(\lambda) \cdot c(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где Φ_{cv} – циркадный поток [усл. цир. ед]; $K_{\max_{cv}}$ – максимальная циркадная эффективность излучения; $\varphi_e(\lambda)$ – спектральная плотность потока излучения; $c(\lambda)$ – функция относительной спектральной циркадной эффективности излучения.

Циркадный эффективный коэффициент определяется как отношение эффективных потоков излучения, оцененных по функциям $c(\lambda)$ и $V(\lambda)$:

$$a_{cv} = \frac{\int_{380}^{780} \varphi_e(\lambda) \cdot c(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} \varphi_e(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda}. \quad (2)$$

Таким образом, циркадный и световой потоки связаны соотношением

$$\Phi_{cv} = a_{cv} \Phi \frac{K_{\max_{cv}}}{683}. \quad (3)$$

Согласно функции спектральной плотности излучения современных источников света, которая указана в документации заводом-изготовителем, нами были рассчитаны значения циркадной и световой эффективности наиболее распространенных источников света. Рассмотрены следующие источники света: лампы накаливания (ЛОН), люминесцентные лампы советского производства (ЛТБ, ЛБ, ЛХД, ЛДЦ) и производства фирмы Philips серии High Efficiency (HE) и Acti-Viva, светодиоды фирмы OSRAM серии Golden Dragon (LED) и органические светодиоды (OLED).

Полученные результаты проиллюстрированы на рис.2. Значения коррелированной цветовой температурой указаны после наименования источника.

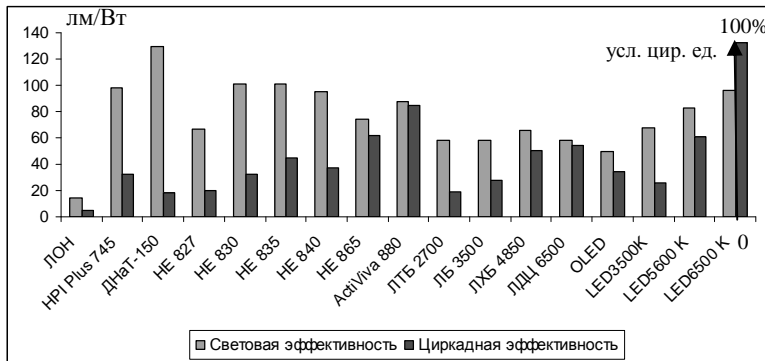


Рис.2 – Оценка световой и циркадной эффективности современных источников света

Отчетливо видно, что при сравнении источников света, при практически одинаковой световой эффективности, циркадная эффективность может отличаться в несколько раз. Таким образом, последняя является необходимым информационным параметром оценки световой среды.

На практике оценка по вышеописанной методике затруднена громоздкими расчетами и необходимостью использовать кривую эффективности биологического воздействия излучения. Вместе с тем, очевидно сходство $c(\lambda)$ с функцией спектральной чувствительности синевоспринимающих колбочек. Поэтому можно проводить оценку эффективности биологического воздействия источников света, используя выражение, включающее координаты цветности излучения и световой поток, которые указываются в документации на любой выпускаемый промышленностью источник света.

При этом функцию $c(\lambda)$ можно заменить уравнением $c'(\lambda) = 1,16g(\lambda) + 3,16b(\lambda)$. Кривые, соответствующие этим функциям, приведены на рис.3, из которого можно сделать вывод о возможности использования функции $c'(\lambda)$, поскольку кривая этой функции практически вписывается в область разброса экспериментальных данных.

Следует также обратить внимание на диапазон 480-530 нм, внутри которого значения, как функции $c(\lambda)$, так и рассчитанной нами $c'(\lambda)$ разнятся с экспериментальными точками. Так, для люминесцентных ламп с улучшенной цветопередачей, содержащим люминофор Tb^{3+} , один из максимумов излучения приходится на 488 нм (рис.4), и

оценка циркадного воздействия требует уточнения.

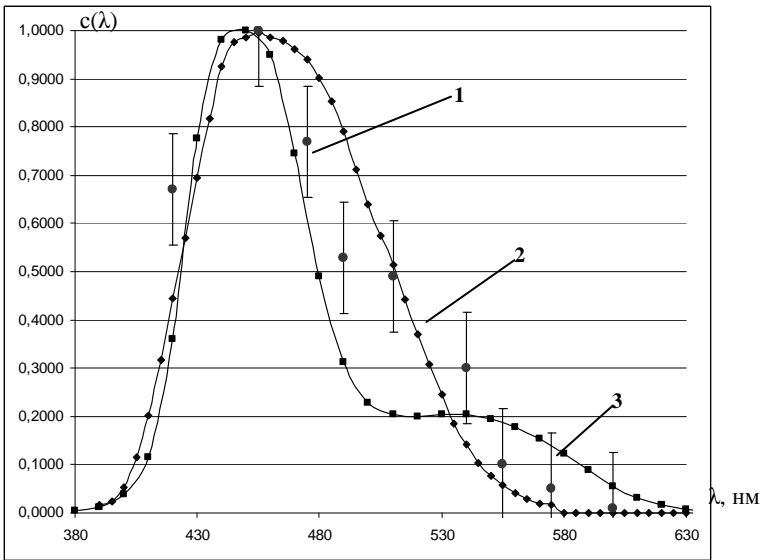


Рис.3 – Функции, описывающие относительное циркадное воздействие света на организм человека:

1 – экспериментально полученные данные; 2 – функция $c(\lambda)$; 3 – функция $c'(\lambda)$.

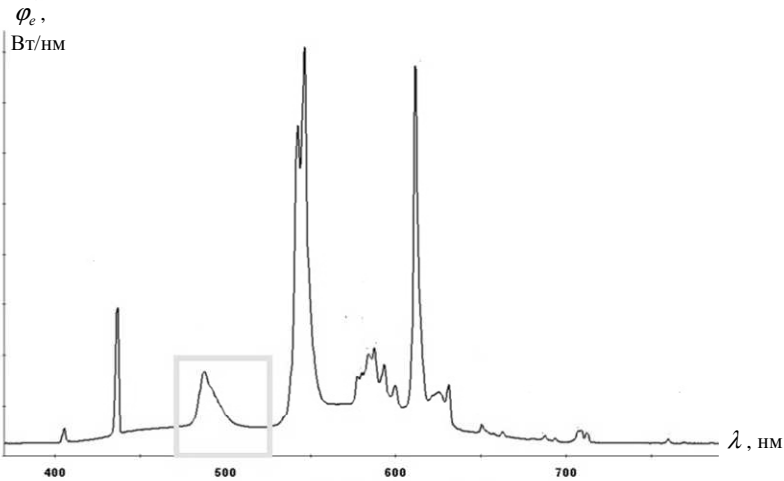


Рис.4 – Типичный спектр люминесцентной лампы, содержащей Tb^{3+}

Приняв порядок расположения источников света согласно возрастанию цветовой температуры, обнаруживаем значительную корреляцию последней с коэффициентом a_{cv} . Полученные данные приведены в таблице и на рис.5, 6.

Значения коэффициента a_{cv} циркадной эффективности для источников света с различной цветовой температурой

Источник света	ЛОН	ЛЛН HE 827	ЛТБ 2700	ЛЛН HE 830	LED 3500K	ЛЛН HE 835	ЛБ 3500	ЛЛН HE 840	ЛХБ 4850	LED 5600 K	ЛДЦ 6500	LED 6500 K	ЛЛН HE 865	ActiViva 880
a_{cv}	0,34	0,30	0,33	0,32	0,38	0,44	0,47	0,39	0,76	0,73	0,94	1,38	0,83	0,97

Повторные расчеты значений циркадного потока для основных типов источников света с использованием функции $c'(\lambda)$ показывают, что погрешность метода составила не более 20% практически для всех исследуемых источников, что можно считать приемлемым на данном уровне понимания вопроса циркадной эффективности излучения.

Из анализа полученных данных следует, что рационально использовать источники света с более высокой цветовой температурой для условий, требующих активного использования ресурсов организма, повышенной работоспособности и усиленного внимания, и снижать освещенность и цветовую температуру для создания расслабляющей атмосферы, отдыха, подготовки организма ко сну.

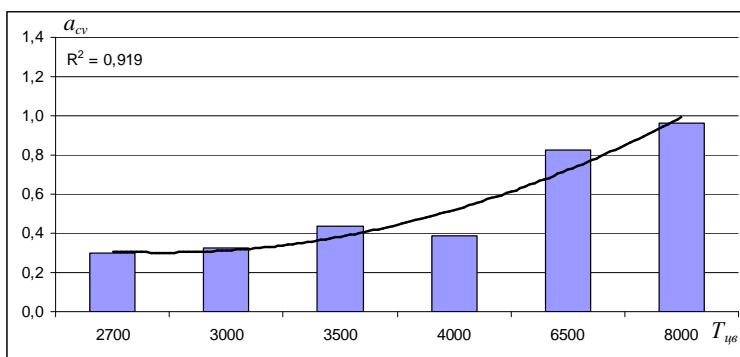


Рис.5 – Коэффициент a_{cv} циркадной эффективности излучения для ЛЛ с различной цветовой температурой

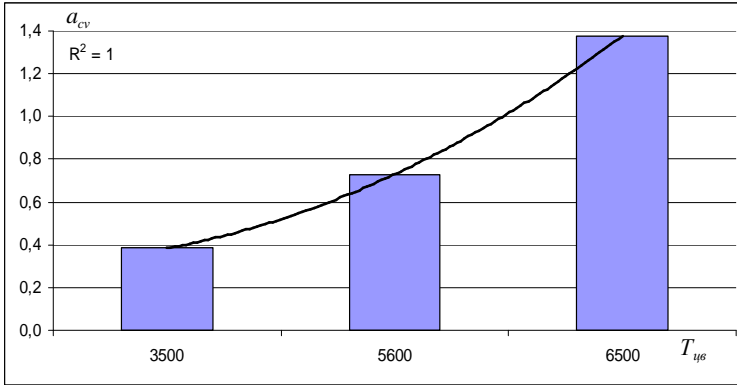


Рис.6 – Коэффициент a_{cv} циркадной эффективности излучения для СД с различной цветовой температурой

Выводы:

1. Разработана методика, позволяющая оценивать эффективность излучения по циркадному воздействию на организм человека. Особенность методики заключается в использовании нормализованных функций – функции относительной спектральной световой эффективности излучения для светлоадаптированного глаза и координат цветности излучения.
2. Дана оценка циркадной эффективности большинства современных и перспективных источников света, приведены рекомендации по их использованию.
3. Выявлена значительная корреляция цветовой температуры с циркадным коэффициентом a_{cv} .

1. Овчинников С.С., Серобаба А.А. Оценка эффективности влияния световой среды на организм человека // Светотехника и электроэнергетика. – 2008. – №4. – С.4-10.
2. Световая среда / Н.М.Гусев, Н.М.Данциг, Н.С.Иванова, С.Г.Юров // Светотехника. – 1973. – №2. – С.15-19.
3. Брейнард К., Бернекер К.А. Влияние света на физиологию человека // Светотехника. – 1996. – №1-2. – С.10-13.
4. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor / George C. Brainard, John P. Hanifin, Jeffrey M. Greeson, Brenda Byrne, Gena Glickman, Edward Gerner, Mark D. Rollag // The Journal of Neuroscience. – 2001. – №21. – P.14-20.
5. Вайтцель Р. О влиянии света на человека с учетом новых воззрений // Светотехника. – 2005. – №5. – С.12-15.
6. Gall D. Circadiane Lichtgrößen und deren medtechnische Erfassung // Licht. – 2002. – №7. – P.860-871.

Получено 14.04.2010