

О влиянии освещения светодиодами и его динамики на зрительные функции и общее состояние наблюдателя

Ю.А. СКОРИК

НИУ «МЭИ», Москва

E-mail: skorikyulia@gmail.com

Аннотация

Постоянно совершенствующиеся светодиодные ИС и системы управления освещением открывают потенциал для создания новейших ОУ, которые позволяют повышать эффективность работы человека как кратковременно, так и в течение всего активного периода жизни. Для массового создания подобных ОУ необходимо наличие методики оценки их эффективности. Подобная методика разработана, апробирована, испытана и имеет перспективы развития, требующего постоянного притока и учёта новой информации. В связи с этим в статье приводятся экспериментальные оценки параметров зрительных функций и психоэмоционального и физиологического состояний наблюдателей при статичном и динамичном освещении светодиодными ИС.

Ключевые слова: зрительная работоспособность, динамичное освещение, комплексная оценка состояния наблюдателя, коррелированная цветовая температура.

Введение

Зрительная работа инженеров-проектировщиков зачастую предполагает большое зрительное напряжение. Особенно это проявляется при операции перевода большинства документов и чертежей в электронный вид, обычно, с использованием ПК. В существующих нормативных документах регламентируются уровни освещённости в проектных залах и конструкторских бюро (горизонтальная освещённость должна быть не менее 400 лк, в рабочих кабинетах и офисах – 300 лк, а вертикальная освещённость на экра-

не монитора – 200 лк) [1]. При этом не учитываются последние данные по восприятиям уровня освещённости и спектра излучения ИС. А между тем в области нейроанатомии и нейрофизиологии светочувствительной системы животных и человека сделаны открытия [2–5], обуславливающие актуальность создания ОУ с варьируемой коррелированной цветовой температурой $T_{кц}$ в течение дня [6]¹.

Постоянное совершенствование светодиодных ИС и систем управления освещением открывает новые возможности в освещении помещений, где ведётся напряжённая зрительная работа. В частности, работа с чертежами и работа по переводу бумажной информации в электронный формат – виды деятельности, где важны скорость и скрупулёзность зрительной работы сотрудников.

С «приходом» светодиодов [10] варьирование $T_{кц}$ стало легко выполнимым и регулируемым, и целью настоящей работы (проведённой в 2017 г.) было выявление закономерностей изменения не только зрительной работоспособности (ЗР) и зрительного утомления (ЗУ), но и психоэмоционального и функционального состояний наблюдателя, занятого напряжённой зрительной работой, при разных типах освещения светодиодами (статичного при разных $T_{кц}$ и динамичного).

Проведение экспериментов

Работа по комплексной оценке зрительных функций (ЗФ), психоэмоционального и функционального состояний наблюдателя проводилась в Москве в офисном центре, в служебном помещении для обработки чертежей. Оценка проводилась как при статич-

ном освещении (СО) белыми светодиодами разной $T_{кц}$, так и при динамичном освещении (ДО) светодиодами. Реализация сценариев освещения стала возможной, благодаря использованию специализированной системы «Esylux NOVA Quadro Set».

Для большей объективности были созданы 2 группы наблюдателей (основная и контрольная). В основную группу наблюдателей вошли 3 человека в возрасте от 30 до 54 лет. Направление работы – нормативный контроль, т.е. проверка чертежей. В контрольную группу вошли 4 человека того же возрастного диапазона. Направление работы – обработка чертежей с помощью ПК, в том числе нормоконтроль. Все наблюдатели обладали нормальным зрением при отсутствии цветковых аномалий, были объединены по характеру работы, обладали одинаковым набором технических средств и не имели различий в образе жизни и хронических заболеваниях.

Для освещения использовались ОП со светодиодами, содержащие микропризматический рассеиватель, обеспечивающий отсутствие зрительного дискомфорта даже при работе с несколькими экранами (дисплеями) ПК. Отличительной особенностью ОП являлась возможность изменения в течение дня их $T_{кц}$ в соответствии с известным предложением [6]. $T_{кц}$ ОП измерялись с помощью спектроколориметра «ТКА-ВД». $T_{кц}$ ОП, соответствующая нейтрально-белому (НБ) освещению, составляла 4230 К, тепло-белому (ТБ) – 2970 К и холодно-белому (ХБ) – 5670 К. Уровни освещённости составляли: 500 лк (Г-0,8) и 250 лк (В-1,2). При коэффициентах отражения пола, стен и потолка 0,5, 0,7 и 0,7 соответственно показатель дискомфорта M составил 13, что соответствует его нормируемому значению.

Перед началом серии тестирований при каждом новом типе освещения наблюдатели работали при созданном сценарии освещения 2 рабочие недели. Основная группа наблюдателей (а после них и контрольная) проходила тестирование сначала при СО с разными $T_{кц}$, а затем при ДО (рисунок).

Изменение происходило автоматически с помощью программного обеспечения, заложенного в комплект ОП со светодиодами. В начале рабочего дня (9:00) $T_{кц}$ составляла 5500 К. Затем плавно снижалась, со-

¹ Не учитываются не только зрительные ощущения, но и уровень циркадной эффективности биологического действия излучения ИС [7, 8]. А ведь здоровье и психоэмоциональное состояние человека зависят от уровня освещённости и $T_{кц}$ [6]. Так, с ростом $T_{кц}$ в некоторых пределах отмечен рост эффективности работы наблюдателя [9].

ставляя к концу первой половины дня (13:00) 4000 К. Второй максимум $T_{\text{кц}}$ наблюдался через час, с приближением окончания обеденного периода, к концу рабочего дня (18:00) $T_{\text{кц}}$ вновь снижалась до 3800 К.

При подготовке программы работы учитывалось, что проведение экспериментальной оценки (тестирования) суммарно не должно занимать более 1 ч рабочего времени в день (не более 15 % рабочего времени).

Тестирование проходило в начале и конце рабочего дня, до и после обеда. В результате были выполнены оценки:

1) ЗР, с помощью созданной программы по отмечанию колец Ландольта с помощью ПК [11, 12];

2) ЗУ, с помощью программы оценки ЗУ [9, 13–15];

3) психоэмоционального состояния, с помощью ответов на тест-вопросы по методике «Самочувствие, активность, настроение» («САН»);

4) медико-биологического состояния наблюдателя (с помощью методики неинвазивного анализа (без использования забора крови).

Далее, более ранние исследования [13, 14] позволили разработать и апробировать методику проведения комплексной оценки состояния наблюдателя при разных типах освещения. При этом в рамках оценки ЗР были рассмотрены концентрация и устойчивость внимания (с подсчётом каждые 60 с в 5-минутном тестировании), показатель переключаемости, коэффициенты точности и работоспособности (рассчитанные по трём основным методикам), коэффициент работоспособности, а также уточнённый, минимальный и максимальный темпы выполнения работ. При этом объём оцениваемой информации был достаточно велик и не позволял работать с тестами на бумажных носителях, т.к. существенно замедлял обработку результатов. Поэтому был разработан программный продукт, позволяющий работать с таким количеством информации [11, 12]. В начале работы наблюдатель указывал свои ФИО, возраст и делал примечание по особенностям зрения. (Так, некоторые участники эксперимента имели возможность зафиксировать использование во время теста очков или контактных линз.) В течение 300 с наблюдатель указывал кольцо Ландольта, выбранное

Таблица 1

Коэффициент зрительной работоспособности R , о.е., при разных типах освещения

Время суток	9:05	13:05	13:55	17:55
ТБ-СО	0,66±0,06	0,65±0,05	0,69±0,03	0,71±0,05
НБ-СО	0,62±0,06	0,67±0,05	0,68±0,06	0,73±0,07
ХБ-СО	0,64±0,06	0,69±0,06	0,72±0,06	0,74±0,06
ДО	0,68±0,05	0,81±0,05	0,81±0,09	0,82±0,06

Таблица 2

Относительное зрительное утомление Ya , о.е. при разных типах освещения

Время суток	9:05	13:05	13:55	17:55
ТБ-СО	0,51±0,01	0,49±0,04	0,40±0,04	0,54±0,03
НБ-СО	0,54±0,04	0,50±0,03	0,40±0,06	0,45±0,04
ХБ-СО	0,51±0,01	0,52±0,04	0,42±0,03	0,55±0,03
ДО	0,54±0,03	0,40±0,08	0,43±0,04	0,45±0,04

программой случайным образом. По окончании времени результаты теста сохранялись в виде *excel*-файла, где автоматически происходил расчёт необходимых значений. Результатом исследования по ЗР явился коэффициент ЗР R , который рассчитывался по формуле

$$R = T \cdot d,$$

где d – общее количество просмотренных символов, T – коэффициент точности, рассчитываемый как

$$T = \frac{a - (b + c)}{a + b},$$

где a – количество правильно просмотренных символов, b – количество пропущенных символов, c – количество допущенных ошибок (неправильно отмеченных символов).

Была проведена также оценка ЗУ [9, 13–15] с расчётом относительного ЗУ Ya по формуле

$$Ya = \left(1 - \frac{t_2}{t_1}\right) \cdot 100,$$

где t_1 – время исчезновения различия в восприятии яркости двух половин круга перед началом исследования на ЗУ, t_2 – время исчезновения различия в восприятии яркости двух половин круга после завершения этапа исследования на ЗУ.

Оценка психоэмоционального состояния наблюдателя проводилась по методике «САН» [16], а оценка медико-биологического состояния наблюдателя (для отражения изменений в его состоянии) – путём неинвазивного анализа (без использования забора крови [17]).

Результаты

Результаты измерений прошли статистическую оценку, основанную на распределении Стьюдента [18]. Погрешность измерений охарактеризована доверительным интервалом, в который истинное значение измеряемой величины попадает с заданной доверительной вероятностью 95 %.

Сравнительные оценки значений R при НБ-, ТБ- и ХБ-СО и при ДО представлены в табл. 1, а аналогичные оценки ЗУ – в табл. 2.

Из приведённых данных видны отличия значений в точках 13:05 и 17:55, соответствующих завершению длительной зрительной нагрузки. Это определяется окончанием напряжённой зрительной работы в первой и второй половинах рабочего дня. Необходимо отметить, что к концу и в начале рабочего дня значение R при ДО существенно выше, чем при ХБ-СО. На основе опроса наблюдателей это может быть объяснено накопленным положительным опытом при работе наблюдателя при ДО в период привы-

Показатели «Самочувствие», «Активность», «Настроение», о.е., при разных типах освещения

Время суток	9:05	13:05	13:55	17:55
«Самочувствие»				
ТБ -СО	0,92±0,03	0,88±0,03	0,84±0,04	0,84±0,11
НБ -СО	0,92±0,03	0,89±0,03	0,85±0,03	0,84±0,05
ХБ -СО	0,91±0,04	0,81±0,03	0,81±0,05	0,84±0,04
ДО	0,90±0,05	0,91±0,03	0,84±0,03	0,85±0,03
«Активность»				
ТБ -СО	0,90±0,06	0,79±0,06	0,69±0,06	0,61±0,05
НБ -СО	0,85±0,06	0,80±0,04	0,73±0,04	0,67±0,05
ХБ -СО	0,88±0,06	0,80±0,08	0,68±0,06	0,75±0,04
ДО	0,91±0,05	0,90±0,03	0,84±0,06	0,82±0,05
«Настроение»				
ТБ -СО	0,92±0,04	0,84±0,05	0,80±0,05	0,77±0,02
НБ -СО	0,91±0,03	0,85±0,04	0,81±0,04	0,81±0,02
ХБ -СО	0,92±0,06	0,83±0,05	0,75±0,04	0,72±0,05
ДО	0,89±0,04	0,88±0,04	0,85±0,04	0,85±0,03

кания к новому типу освещения и, наоборот, негативным опытом работы при ХБ-СО. Именно поэтому в работе данные, полученные от наблюдателей, оценивались в динамике.

Наименьшие уровни ЗУ после окончания рабочего дня наблюдаются при НБ-СО и ДО.

Значения показателей оценки психоэмоционального состояния наблюдателей (табл. 3), особенно во временных точках 13:05 и 17:55, подтверждают лучшую готовность наблюдателей к длительной работе при ДО.

Результаты анализа данных показывают взаимозависимую динамику показателей ЗР и психоэмоционального состояния наблюдателей. При НБ-

и ХБ-СО R выше, чем при ТБ-СО. В то же время показатель настроения при ХБ-СО к концу рабочего дня снижается значительно больше, чем при ТБ- и НБ-СО. Что касается активности, то наиболее благоприятным для наблюдателя оказалось ДО. Сравнение данных показывает, что ДО обладает рядом преимуществ перед СО, особенно перед ХБ- и ТБ-СО.

Заключение

Описанные оценки показывают, что использование светодиодных ИС НБ-света более предпочтительно по сравнению с аналогичными ИС ТБ- и ХБ-света. При повышении $T_{кц}$ виден

рост ЗР при снижении психоэмоциональных характеристик наблюдателя, а уровни относительного ЗУ к концу рабочего дня при ТБ- и ХБ-СО становятся почти одинаковыми и вдвое большими, чем при НБ-СО и ДО. Также видно, что с ростом ЗР при ХБ-СО растёт и ЗУ².

Приведённые данные свидетельствуют о том, что имеющаяся методика оценки ЗФ и общего состояния наблюдателя достаточно отработана и может применяться в дальнейшем. Возможные варианты дальнейших изменений, улучшающих методику:

1) разделение исследований по типам: лабораторное (более детальное, подходящее для небольших групп на-

² Стоит отдельно отметить, что:

1) помещение имело особенность (отсутствие доступа естественного освещения), которая обеспечила возможность получения информации строго при заданном уровне освещения. Это позволило провести серию экспериментов в условиях, приближённых к лабораторным. Комплексность исследуемых параметров и анализ их динамики в течении рабочего дня обуславливает достоверность полученных данных;

2) комплексная оценка состояния наблюдателя при разных типах освещения даёт вариативность при разработке сценариев освещения для того или иного вида деятельности наблюдателей разных возрастов и профессий;

3) такого рода исследования целесообразно упрощать или дополнять для получения как можно большего количества полезной информации для работ по нормированию и проектированию ОУ для ДО.

Рисунок. График изменения $T_{кц}$ для динамического сценария освещения



блюдателей) и экспериментальное (менее детальное, подходящее для проверки результатов лабораторных исследований с большим количеством наблюдателей);

2) замена сложного и дорогостоящего медицинского обследования, использовавшегося в описанном эксперименте (например, на электроэнцефалографию головного мозга), или же только измерение артериального давления и частоты сердечных сокращений;

3) использование разных методик оценок психоэмоционального состояния наблюдателя.

Важно отметить, что усложнение методики комплексной оценки состояния наблюдателей при разных типах освещения не должно затягивать тестирование.

В ходе проведённых исследований показано, что работа с малочисленными группами результативна. Это позволяет говорить о возможности создания малочисленных экспериментальных групп наблюдателей разного возраста, разного рода деятельности, работающих на разных территориях и т.д. Такой подход позволит собрать данные о влиянии ДО на максимальное количество «типажей», на которые могут быть разделены наблюдатели.

Полученные данные позволят создать базу для внесения дополнений в нормативные документы, на которые в дальнейшем сможет ссылаться проектировщик при создании ОУ для ДО.

Благодарности

Автор благодарит врача высшей категории В.Н. Дубова за проведение оценки медико-биологического состояния наблюдателей и предоставленное медоборудование и доцента кафедры

«Светотехника» НИУ «МЭИ», кандидата техн. наук Н.П. Елисеева за консультацию при написании статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95*».
- Brainard G.C., Hanifin J.P., Rollag M.D., Greeson J., Byrne B., Glickman G., Gerner E., Sanford B. Human melatonin regulation is not mediated by the three cone photopic visual system // J. Clin. Endocrinol. Metab. – 2001. – Vol. 86, No. 1. P. 433–436.
- Brainard G.C., Hanifin J.P., Greeson J., Byrne B., Glickman G., Gerner E., Rollag M.D. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor // J. Neurosci. – 2001. – Vol. 21, No. 16. – P. 6405–6412.
- IES TM-18: 2008 «Light and Human Health: An Overview of the Impact of Optical Radiation on Visual, Circadian, Neuroendocrine and Neurobehavioral Responses».
- DIN V 5031–100–2009 «Физика оптических излучений и светотехника. Часть 100. Незрительные воздействия света на людей. Величины, условные обозначения в формулах и спектры действия». (Дата введения в действие: 01.06.2009. Статус: Заменён).
- Ван Боммель В. Динамичное освещение рабочих помещений – по уровню освещённости и цвету // Светотехника – 2006 – № 6 – С. 15–18.
- Gall D. et al. Definition and measurement of circadian radiometric quantities / Proc. CIE Symp. '04 on Light and Health. – 2004. – P. 129–32.
- Rea M. S. et al. Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system // Lighting Research & Technology. – 2012. – Vol. 44, No. 4. – P. 386–396.
- Архангельский Д. В., Снетков В.Ю. Исследования влияния света на зрительную работоспособность и утомление человека

с учётом его циркадных ритмов // Вестник МЭИ. – 2012. – № 5. – С. 104.

10. Bio-safety standardization of the LED light sources (WG report). – Tokyo: Japanese Commission on Illumination, 2004.

11. Скорик Ю.А., Елисеев Н.П., Григорьев А.А. Анализ методик и совершенствование оценки зрительных функций наблюдателя // Вестник МЭИ. – 2018. – № 2. – С. 95–101.

12. Скорик Ю.А., Бычин Е.Ф., Дубов В.Н. Комплексная оценка влияния светодиодного освещения на зрительную работоспособность, психоэмоциональное и физиологическое состояние учащихся высшей школы // Вестник МЭИ. – 2018. – № 4. С. 97–104. DOI: 10.24160/1993–6982–2018–4–97–104.

13. Черезова М.В., Кудрявцева М.В., Снетков В.Ю. Тест-программа для оценки качества текстовых изображений на дисплее компьютера / Тез. докл. науч.-техн. конф. «Молодые светотехники России». – М.: Вигма, 2009. – С. 86–88.

14. Атаев А.Е., Бынина М.В., Снетков В.Ю. Определение визуальных параметров индивидуальных средств отображения информации // Вестник МЭИ. – 2012. – № 2. – С. 122–125.

15. Григорьев А.А., Бынина М.В., Снетков В.Ю. Определение оптимального диапазона контраста знака с фоном индивидуальных средств отображения информации // Вестник МЭИ. – 2012. – № 5. – С. 92–94.

16. Доскин В.А., Лаврентьева Н.А., Шарай В.Б., Мирошников М.П. Опросник «САН» / В кн.: Психологические тесты. Т. 1; Под ред. А.А. Карелина. – М.: Владос, 2000.

17. «Способ оценки расстройств гемодинамики» / Пат. Украины № 2216, 1998; «Способ диагностики вегето-сосудистых пароксизмов» / Пат. Украины № 3028, 2004. Бюл. № 10; «Процесс неинвазивного определения показателей гомеостаза объекта биосреды» / Пат. Украины № 3546, 2004. Бюл. № 11.

18. Рассел Д. Т-критерий Стьюдента: моногр. – М.: VSD, 2013. – 741 с.



Скорик Юлия Александровна, инженер. Окончила в 2011 г. кафедру «Светотехника» МЭИ (ТУ) и в 2019 г. – аспирантуру по специальности «Светотехника и источники света» в НИУ «МЭИ»