

# Возможное воздействие освещения светодиодами на эргономику офиса: влияние возможности плавного управления освещением на набор текстов и подбор цветов объектов по образцам<sup>1</sup>

Л. ЛИ, Х. ЦАЙ

Канзасский университет, Канзас, США  
E-mail: hycail@ku.edu

## Аннотация

Исследовалось влияние предоставления работникам возможности индивидуального управления освещением светодиодами (ОСД) на выполнение ими задач по набору текстов на клавиатуре и подбору цветов объектов по образцам и на их субъективную оценку выполнения этих задач. В исследовании принимали участие 30 человек. Было установлено, что в конкретных экспериментальных условиях ОСД возможность плавного управления освещением не влияет ни на производительность труда при наборе текстов на клавиатуре, ни на субъективные оценки участниками трудности этой работы и их удовлетворённости её выполнением. В то же время производительность труда при подборе цветов объектов по образцам ухудшилась из-за воспринимаемых участниками небольших изменений коррелированной цветовой температуры (КЦТ). Однако субъективная оценка участниками трудности этой работы и их удовлетворённости её выполнением не изменилась. Оценка качества освещения офиса (например, яркости, равномерности, блёскости, КЦТ, общего индекса цветопередачи, пульсации, шума) молодыми участниками также не изменилась.

**Ключевые слова:** освещение светодиодами, эргономика офиса, управление освещением, набор текстов на клавиатуре, подбор цветов по образцам.

## 1. История вопроса

Высококачественное освещение очень важно для эргономики офисов. Ожидается, что в будущем све-

одиоды (СД) будут играть ведущую роль в освещении офисов. Смогут ли СД улучшить качество освещения современного офиса? Оказывают ли они заметное влияние на восприятие цвета, зрительное утомление, блёскость и удовлетворённость работников условиями их труда? Обычное освещение офисов, если только оно не было чрезвычайно хорошим или чрезвычайно плохим, мало влияло на его субъективное восприятие работниками офисной среды [1]. Различия в условиях освещения не влияли на среднюю производительность труда при выполнении когнитивных задач или на настроение и бодрость работников [2–5]. Однако эти результаты, полученные для освещения люминесцентными лампами (ОЛЛ), могут оказаться неверны в случае СД. До сих пор не доказано, что СД могут обеспечивать более качественное, чем ЛЛ, освещение офисов. Фактически, из-за того, что СД – очень маленькие, но очень яркие источники света, неправильно размещённые светильники с СД могут привести к возникновению проблем, таких как ослеплённость офисных работников и чрезмерно высокие уровни освещённости на рабочих поверхностях. Влияние освещения светодиодами (ОСД) на эргономику исследовалось в целом ряде работ [6–10], но исследования этого влияния в офисной среде не производились. До сих пор нет единого мнения относительно влияния ОСД на эргономику современных офисов. Ответы могут быть получены на основе результатов всестороннего исследования всех характеристик, определяющих собой качество освещения, и их влияния на эргономику офисов. Для конкретизации этой задачи в данном исследовании мы сосредоточились на влиянии возмож-

ности плавного управления ОСД на эргономику офисов.

Обеспечение офисных работников возможностью индивидуального управления светильниками с СД будет использоваться в офисах будущего, так как позволяет экономить энергию и удовлетворять индивидуальные потребности работников [11]. Вообще говоря, индивидуальное управление освещением чрезвычайно желательно и оказывает существенное влияние на настроение работников и их удовлетворённость выполнением работ [2, 4, 5, 12–16]. Однако нет никаких доказательств влияния управления освещением на выполнение офисных работ, таких как набор текстов на клавиатуре или восприятие цвета [13–16]. На деле цветопередача, обеспечиваемая регулируемые источниками света, может меняться, приводя к неверному восприятию цвета. При уменьшении уровня освещения уменьшается и насыщенность цвета [17], причём цветовые тона цветных объектов при изменении уровня освещения меняются тоже [18]. Было показано, что низкие уровни освещения и КЦТ могут способствовать повышению производительности труда амбициозных работников [19], тогда как ОЛЛ с высокой КЦТ способны улучшать самочувствие находящихся в помещении людей и продуктивности их повседневного труда [20]. К сожалению, большая часть исследований влияния возможности индивидуального управления освещением касалась ОЛЛ, а не ОСД. Осуществляемое в широких пределах плавное управление освещением, которое широко применяется в изделиях с СД, исследовалось редко.

Эргономические преимущества, которые могут получать офисные работники при наличии возможности плавного управления светильниками с СД, не исследовались до появления работы [21]. В последней, однако, не затрагивались типичные офисные работы, такие как чтение, набор текста на клавиатуре, подбор цветов и т.д. Так что до сих пор нет ясности в вопросе влияния возможности плавного управления ОСД на выполнение офисными работниками задач набора текста и подбора цветов и на их субъективные оценки качества освещения и удовлетворённости выполнением этих работ. Этому вопросу и посвящено данное исследование.

<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского

## 2. Эксперимент

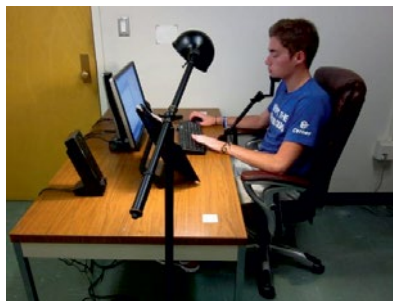
В первую очередь было проведено исследование световой среды в 32 офисах, включая 21 офис Канзасского университета и 11 офисов, описанных в последних исследованиях освещения и эргономики офисов [4, 5, 13, 14, 20, 22–24]. Этот обзор позволил идентифицировать типичные для этих 32 офисов условия освещения и расположение светильников, которые были положены в основу условий, в которых будет проводиться проверка исходной гипотезы.

**Исходная гипотеза:** Предоставленные молодым офисным работникам возможности плавного управления ОСД, в том числе общим и местным освещением, при одинаковых значениях общего индекса цветопередачи  $R_a$ , но слегка разных КЦТ, не оказывает влияния на производительность их труда и субъективную оценку выполнения задач набора текста на клавиатуре и подбора цветов на отпечатках и экранах компьютеров.

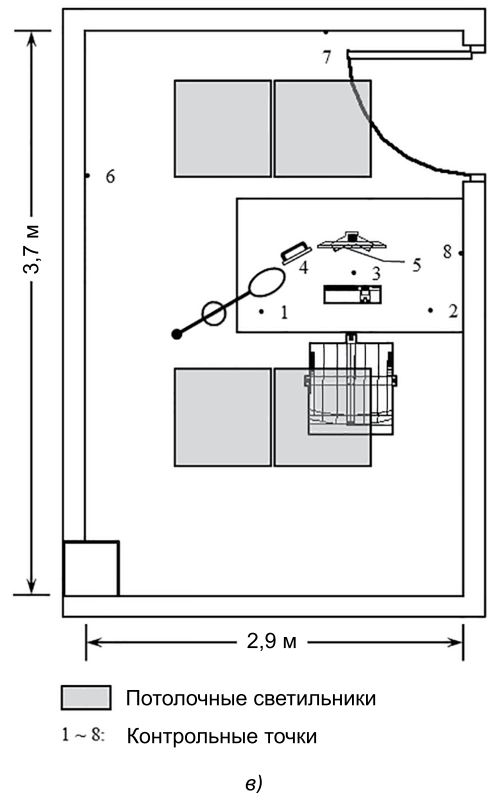
Для проверки этой исходной гипотезы в помещении без окон проведён эксперимент с участием 30 молодых людей (19 женщин и 11 мужчин) в возрасте  $(21,6 \pm 3,3)$  лет, имевших остроту зрения 20/20 или 20/16, нормальное цветовое зрение и нормальную остроту слуха. Они были набраны в кампусе Канзасского университета. На рис. 1, а показан безоконный офис (шириной 2,9 м, глубиной 6,6 м и высотой 2,87 м) с подвесным потолком. В офисе установлены стол и регулируемый офисный стул. На столе размещались 23-дюймовый жидкокристаллический дисплей с задним ОСД (компания *Dell*), клавиатура, мышь, две колонки и держатель для документов. На краю стола, перед стулом, установлена изготовленная на заказ регулируемая опора для подбородка. Как показано на рис. 1, б, опора для подбородка была наклонена в сторону участника, причём угол наклона и высота расположения опоры регулировались таким образом, чтобы фиксировать положение головы участника на всём протяжении эксперимента. Системный блок настольного персонального компьютера помещён под столом. За спиной участника – видеочасть, позволяющая производить запись эксперимента (для регистрации времени). Для измерений характеристик световой сре-



а)



б)



в)

Рис. 1. Экспериментальная установка в помещении без окон:

а – фотография помещения объективом «рыбий глаз»; б – участник, голова которого зафиксирована при помощи регулируемой опоры для подбородка; в – план помещения

ды (освещённость, КЦТ) выбраны 8 точек, которые показаны на рис. 1, в. Точки 1–3 располагались на поверхности стола, точка 4 – в центре держателя для документов, точка 5 – на экране компьютера, а точки 6–8 – на стенах помещения на высоте 1,22 м от уровня пола (на уровне глаз сидящего офисного работника).

Общее освещение помещения обеспечивалось четырьмя встроенными потолочными светильниками с СД компании *Cree* (рис. 2, а) (модель *CR22–20L*,  $61,6 \times 61,6$  см, КЦТ –

3500 К,  $R_a – 90$ ). Расположение этих светильников показано на рис. 1, в. Кроме того, общее освещение было дополнено переносным напольным светильником «*Lite Source*» (рис. 2, б) с регулируемым держателем и колпаком, содержащим СД-лампу *A19* компании *Philips* (КЦТ – 2700 К,  $R_a – 90$ , начальный световой поток – 940 лм). Колпак предохранял глаза участников от попадания прямого света лампы для исключения прямой блёскости. Этот светильник был помещён слева от стола и не создавал ника-

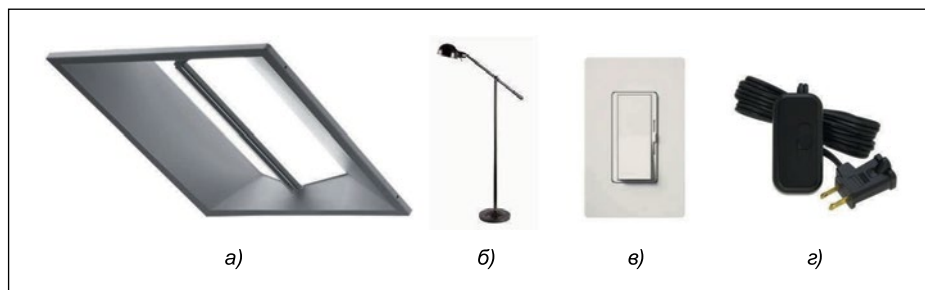


Рис. 2. Светильники и устройства управления освещением, использовавшиеся при проведении исследования:

а – светильник с СД «*CR22*» компании *Cree* (модель *CR22–20L*); б – напольный светильник местного освещения «*Lite Source*» с СД-лампой *A19* компании *Philips*; в – настенный светорегулятор «*DIVA*» компании *Lutron*; г – светорегулятор для светильников с СД «*Credenza*» компании *Lutron*

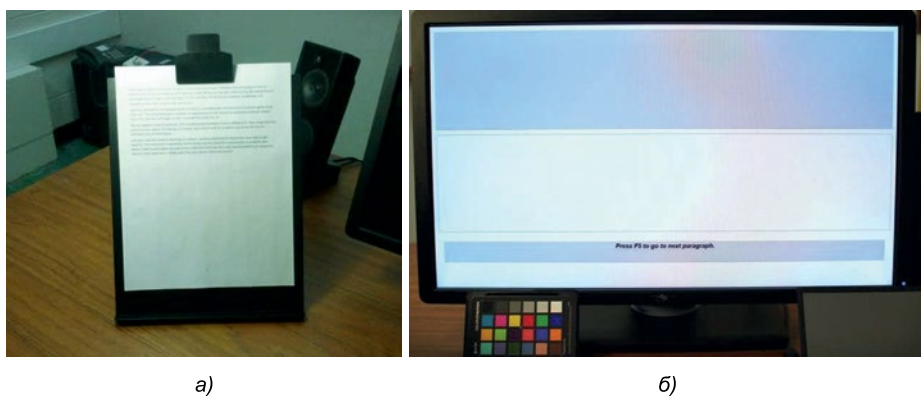


Рис. 3. Задание по набору текста на клавиатуре:  
 а – чёрно-белый текст, напечатанный на листах формата А4, закреплённых в держателе;  
 б – интерфейс программного обеспечения задания по набору текста на клавиатуре

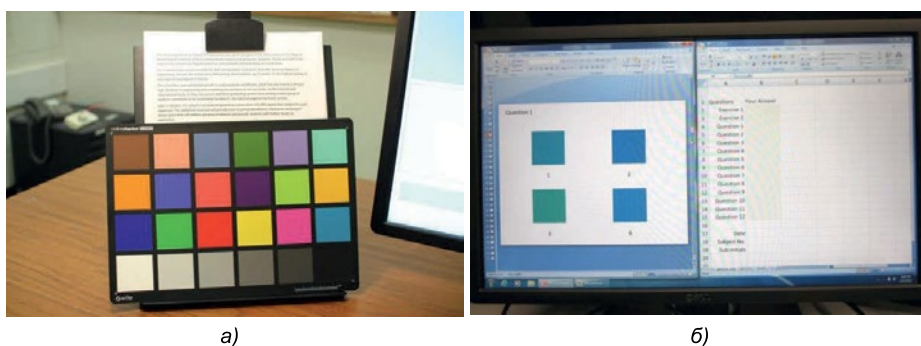


Рис. 4. Задание по подбору цветов:  
 а – классическая карта цветов компании Macbeth; б – интерфейс задания по подбору цветов, демонстрирующий четыре цвета-кандидата на втором подсказочном слайде

ких вуалирующих отражений на материалах, помещаемых в держатель для документов. Использувавшийся при проведении исследований светильник местного освещения имел КЦТ 2700 К, а не 3500 К, что связано с различиями в КЦТ источников света, которые использовались в 32 обследованных офисах, и позволяло участникам с помощью индивидуального управления общим и местным освещением настраивать КЦТ в соответствии со своими предпочтениями ( $R_q$  источников света изменять было нельзя).

В этой работе исследовалось плавное управление световым потоком светильников. Настенный светорегулятор «DIVA» компании Lutron (рис. 2, в) был соединён с потолочными светильниками с СД «CR22» компании Cree и обеспечивал плавное регулирование до уровня 5%. Он находился на стене рядом со столом (рис. 1, а и б). Светорегулятор для светильников с СД «Credenza» компании Lutron (рис. 2, г) соединялся с переносным напольным светильником местного освещения и обеспечивал плавное регулирование светового

потока СД-лампы компании Philips. Он находился на правой стороне стола рядом с мышью и был легкодоступен для участников.

На всём протяжении исследований участники не имели сведений о типах и технических характеристиках компонентов системы освещения. Во избежание возможного влияния на результаты исследований эффекта Хоторна участники не оповещали о реальной цели исследований.

Задание по набору текста на клавиатуре было составлено так, чтобы одновременно охватывать как чтение, так и набор текста. Участник должен был набрать на клавиатуре печатный текст, помещённый на держатель для документов (рис. 3, а), безо всяких ограничений по времени. Все материалы печатались на бумаге формата А4 в чёрно-белом варианте с высоко контрастным шрифтом Calibri 12-го размера с одинарным междустрочным интервалом. Они содержали последние новости, взятые с сайта газеты «The University Daily Kansas». Во избежание привыкания к набору одного и того же текста каждому из 30 участников предоставлялись два

набора текстов для двух разных условий испытаний (при наличии/отсутствии возможности светорегулирования). Порядок демонстрации обоих наборов текстов для разных участников выбирался случайным образом. Выбранные тексты очень легко читались и понимались, и были преобразованы так, чтобы в них было по 1200 знаков (с пробелами), что позволяло избегать возможных различий в трудности набора из-за различий воспроизводимых текстов. Были подготовлены и дополнительные материалы (инструкции по проведению экспериментов). Для оценки скорости набора текста использовалось программное обеспечение «NRC Typing Task software» [25], интерфейс которого показан на рис. 3, б. Оно регистрировало нажатие клавишей и время, а затем по уравнению (1) [25] определяло скорость набора текста (количество знаков в секунду). Такой объединённый показатель лучше, чем два взаимозависимых показателя (например, точность и скорость), с точки зрения облегчения количественной оценки производительности труда при наборе текста на клавиатуре. После завершения задания по набору текста точность его выполнения всегда оказывалась 100%-ной.

$$\begin{aligned} \text{Оценка выполнения задания по} \\ \text{набору текста} = \\ = \frac{ВСЕГО - (\text{Курсор} + 2 \cdot \text{Возврат})}{\text{Время}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где ВСЕГО – общее количество нажатий клавиш, включая клавиши управления курсором и возврата на одну позицию, Курсор – количество нажатий клавиши управления курсором, Возврат – количество нажатий клавиши возврата на одну позицию, Время – затраченное время в секундах.

Помимо этого, для оценки цветопередачи, обеспечиваемой офисным освещением при наличии и отсутствии возможности плавного управления освещением, ставилась задача по подбору цветов объектов по образцам. В держателе для документов закреплялась классическая карта цветов компании Macbeth (рис. 4, а). Не ограниченные по времени участники должны были определить, какой из четырёх предложенных вариантов цвета, представленных в левой части экрана компьютера, совпадает с образцовым цветом из карты компа-

Алгоритм выбора цветов-кандидатов\*

Цвета	Значения $R$ , $G$ и $B$
Базовый цвет	$R, G, B$
Цвет 1: более зелёный	$R - 10, G + 20, B - 10$
Цвет 2: более жёлтый	$R + 10, G + 10, B - 20$
Цвет 3: более красный	$R + 20, G - 10, B - 10$
Цвет 4: более пурпурный	$R + 10, G - 20, B + 10$
Цвет 5: более синий	$R - 10, G - 10, B + 20$
Цвет 6: более голубой	$R - 20, G + 10, B + 10$

\* Значения  $R$ ,  $G$  и  $B$ , меньшие 0 или большие 255, были исключены.

нии *Macbeth*, и напечатать номер выбранного цвета в вопроснике, представленном в правой части экрана (рис. 4, б). Если участник не смог сделать выбор, он должен был указать ближайший вариант. Варианты цветов формировались посредством небольшого изменения значений  $R$ ,  $G$  и  $B$  образцового цвета из карты компании *Macbeth* по алгоритму (табл. 1), разработанному компанией *Color Blender* для компьютерного проектирования [26]. Из шести сгенерированных новых цветов случайным образом выбирались три, которые вместе с образцовым цветом и образовывали четыре варианта, демонстрировавшиеся на экране. Вначале экспериментатор демонстрировал участнику один пример, используя при этом цвет тёмной кожи из карты компании *Macbeth*, вслед за чем участник мог попрактиковаться на цвете светлой кожи и цвете синего неба. В задании, состоящем из 12-ти вопросов, использовались 12 цветов из второго и третьего рядов карты компании *Macbeth* (рис. 4, б). Последовательность этих 12-ти вопросов выбиралась случайным образом. Регистрировались количество правильных ответов и время, потребовавшееся на выполнение задания. Результаты выполнения задания по подбору цвета (количество правильных ответов в расчёте на одну минуту) определялись по уравнению (2):

$$\frac{\text{Оценка выполнения задания по подбору цвета} = \text{Количество правильных ответов}}{\text{Время}} \quad (2)$$

Обратите внимание на то, что один и тот же цвет в цветовом пространстве  $RGB$  может выглядеть несколько по-разному на экране компьютера и на карте компании *Macbeth*, как это обычно и бывает в современных офисах. Такое несоответствие цветов было исследовано при наличии и отсутствии возможности управления освещением на предмет его влияния на субъективную оценку точности воспроизведения цвета. Чтобы избежать искажения цвета из-за изменения освещённости и адаптации [17, 18], светильник местного освещения регулировался таким образом, чтобы освещённости на таблице компании *Macbeth* и на экране компьюте-

ра были одинаковы. Заводские установки жидкокристаллического дисплея компьютера не изменялись на всём протяжении исследований.

Для выявления мнений участников о качестве освещения и об их удовлетворённости выполнением заданий был разработан вопросник, который участники должны были заполнять сразу после выполнения всех офисных работ. Вопросник содержал 21 вопрос и имел два раздела (Приложение). Первый раздел, составленный на основе работы [27], касался оценки качества освещения офиса. 17 вопросов охватывали оценку уровня освещения, распределения освещённости, блёскости, цветопередачи, КЦТ, шума, пульсаций и общего впечатления. Это вопросы, допускающие только один из подготовленных ответов: «согласен» или «не согласен», подходят для быстрой оценки мнения участников о различных чётко обозначенных показателях качества освещения [28]. Второй раздел включал 4 вопроса, охватывающих субъективные оценки трудности выполнения двух офисных работ и удовлетворённости их выполнением по семантической шкале «0–4» (0 – «наименее трудный» или «наименее удовлетворён», а 4 – «наиболее трудный» или «наиболее удовлетворён»).

Каждый из участников выполнял две офисные работы при наличии и отсутствии возможности плавного управления ОСД. Во избежание искажающего влияния возможности управления освещением последовательность предоставления этой возможности определялась таким образом, чтобы 15 участников сначала работали при отсутствии, а затем

при наличии возможности управления освещением, тогда как остальные 15 участников работали в обратной последовательности. Порядок проведения исследований состоял из 14 этапов. Ниже этот порядок представлен для варианта, в котором возможность управления освещением сначала отсутствует, а затем имеется. В случае обратной последовательности этапы 4–6 и 9–11 менялись местами.

**Этап 1:** Экспериментатор ослаблял общее освещение так, чтобы освещённость на поверхности стола, усреднённая для точек 1–3 (рис. 1), составляла примерно 400 лк при выключенном местном освещении. Затем включалось местное освещение (по максимуму).

**Этап 2:** По прибытии участник общал свой возраст и заявлял о наличии у него ненормального цветового зрения или ненормальной остроты слуха. Затем прошедшего отбор участника просили пройти проверку остроты зрения, для чего он должен был прочитать две таблицы Снеллена, наклеенные на заднюю стену помещения. После этого экспериментатор объяснял участнику порядок проведения эксперимента и просил его заполнить бланк согласия на участие в эксперименте.

**Этап 3:** Участник регулировал стул, держатель для документов, дисплей, клавиатуру и опору для подбородка, чтобы ему было абсолютно удобно. Затем отрегулированные положения и углы наклона этих предметов регистрировались для последующего воспроизведения и поддержания неизменными на всём протяжении исследований. И на всём протяжении эксперимента подборо-

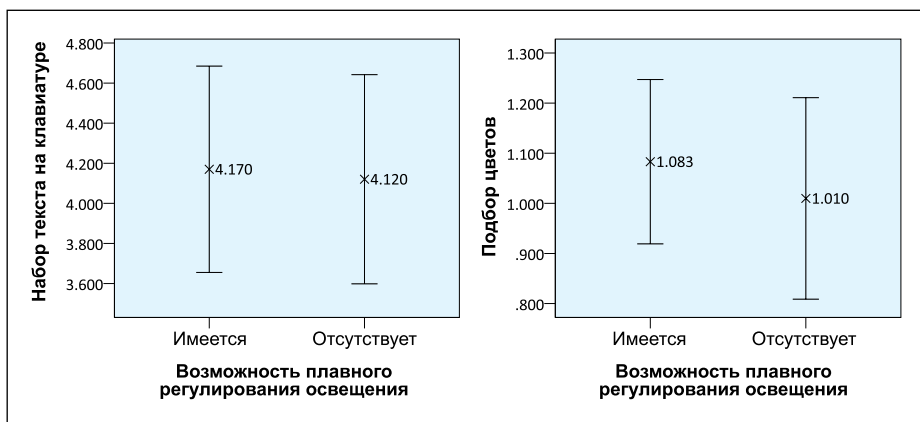


Рис. 5. Результаты выполнения заданий по набору текста на клавиатуре (количество символов, набранных за секунду) и подбору цветов при двух условиях проведения испытаний

док участника оставался на опоре для подборки.

**Этап 4:** Экспериментатор предлагал участнику выйти из помещения, после чего ослаблял местное освещение до тех пор, пока освещённость на поверхности карты цветов (закреплённой в держателе для документов) не становилась такой же, как на экране (примерно 350 лк). Затем участник возвращался и садился на стул, и ему предоставлялись по меньшей мере 2 мин для адаптации зрения.

**Этап 5:** Участник выполнял задание по набору текста на клавиатуре при отсутствии возможности индивидуального управления освещением. Перед выполнением этого задания он тренировался, набирая инструкции по проведению исследований в течение требующегося ему для тренировки времени. Затем участнику предоставлялся небольшой перерыв.

**Этап 6:** Участник выполнял задания по подбору цветов по образцам при отсутствии возможности индивидуального управления освещением. Перед выполнением этих заданий участник тренировался, дважды выполняя похожее задание.

**Этап 7:** Участник заполнял вопросник. 21 вопрос был выведен на экран компьютера. Участников просили выбрать ответ посредством мыши.

**Этап 8:** Участник выходил из комнаты на 20-минутный перерыв. Экспериментатор прибором Minolta «Chroma Meter CL-200A» измерял освещённость и КЦТ в восьми точках. Затем участник возвращался для проведения второй части исследования.

**Этап 9:** Участник регулировал (усиливая или ослабляя) общее

и местное освещение до предпочитаемого им уровня. Затем он совершал пробный набор текста для оценки освещения. Разрешалось проводить не ограниченную по времени дополнительную регулировку освещения, до тех пор, пока участник не оказывался полностью удовлетворённым условиями освещения. По завершении настройки условия освещения оставались неизменными на всём протяжении исследований. Затем участнику предоставлялись минимум 2 мин для адаптации зрения.

**Этап 10:** Участник снова выполнял задание по набору текста, на этот раз другое. Перед выполнением этого задания участник тренировался. Затем ему предоставлялся небольшой перерыв.

**Этап 11:** Участник снова выполнял задание по подбору цветов по образцам, на этот раз другое. Перед выполнением и этого задания участник тренировался.

**Этап 12:** Участник снова заполнял вопросник.

**Этап 13:** Исследование завершилось. Участник уходил. С оплатой.

**Этап 14:** Снова выполнялись измерения, в том числе освещённости и КЦТ, в тех же восьми точках.

Проведение исследований занимало у каждого из 30 участников от 52 до 91 мин, в среднем – 69,9 мин от стандартным отклонением 9,0 мин. Следует упомянуть, что на выполнение одного задания по набору текста или подбору цвета у участника уходило всего несколько минут, так что условия проведения испытаний могут не соответствовать выполнению этой работы на всём протяжении рабочего дня. Столь малый период выполнения задания был выбран специально,

во избежание накопления усталости у участников с течением времени, что в данном исследовании являлось бы рассеивающим внимание фактором.

### 3. Результаты и обсуждение

В этой работе рассматривалась одна независимая переменная: наличие (или отсутствие) возможности плавного управления ОСД. Измерялись четыре зависимые переменные, в том числе: а) полное количество знаков, набираемых в секунду при выполнении задания по набору текста на клавиатуре; б) количество правильных ответов в минуту при выполнении задания по подбору цветов по образцам; в) субъективная оценка качества освещения; г) субъективная оценка удовлетворённости выполнением задания. Чтобы остальные, не рассматривавшиеся в данном исследовании, переменные не оказывали отвлекающего воздействия, им были заранее приданы некоторые фиксированные значения.

Полученные экспериментальные данные использовались для расчёта значений четырёх зависимых переменных. Для проверки исходной гипотезы было проведено сравнение значений зависимых переменных, рассчитанных применительно к двум условиям проведения исследований (при наличии и отсутствии возможности управления освещением). Так как 30 участников проходили два испытания последовательно, то эквивалентность методов исследований выполнения заданий по набору текстов и подбору цветов оценивалась посредством двухфакторного дисперсионного анализа повторных измерений. Кроме того, этот анализ использовался применительно к ответам 30 участников на последние четыре вопроса вопросника, относящиеся к удовлетворённости выполнением заданий. В то же время, так как ответы на первые 17 вопросов относительно качества освещения были «дискретными» (согласен/не согласен), то для их оценки мы воспользовались критерием хи-квадрат, позволяющим производить анализ дискретных переменных. Результаты всех исследований анализировались с доверительной вероятностью 0,05 ( $\alpha = 0,05$ ) при помощи Пакета программ обработки статистических данных общественных наук компании IBM.

**Результаты применения описательной статистики и критерия хи-квадрат к субъективным оценкам качества освещения для четырёх разных условий испытаний**

№ вопроса	Процент положительных оценок качества освещения, %		Значение $p$ для критерия хи-квадрат
	Без управления освещением	С управлением освещением	
1	86,7	93,3	0,389
2	96,7	93,3	0,554
3	80,0	86,7	0,488
4	90,0	93,3	0,640
5	93,3	90,0	0,640
6	83,3	86,7	0,718
7	86,7	96,7	0,161
8	90,0	93,3	0,640
9	96,7	86,7	0,161
10	93,3	93,3	1,000
11	93,3	100,0	0,150
12	86,7	93,3	0,389
13	96,7	100,0	0,313
14	100,0	93,3	0,150
15	86,7	93,3	0,389
16	90,0	86,7	0,688
17	80,0	76,7	0,754

Освещённость и КЦТ измерялись в восьми точках во всех испытаниях, которые проводились с участием 30 человек в двух указанных разных условиях. Как и ожидалось, начальные уровни освещения, измеренные в расположенных на поверхности стола точках 1–3 при отсутствии возможности управления освещением, были очень близки друг к другу во всех 30 экспериментах: в среднем,  $(394 \pm 58,7)$  лк в точке 1;  $(595,9 \pm 108,9)$  лк в точке 2 и  $(320,9 \pm 6,6)$  лк в точке 3. Однако предпочтительные уровни освещённости, установленные при наличии возможности управления освещением, оказались несколько меньшими и имеющими больший разброс:  $(365,7 \pm 135,6)$  лк в точке 1;  $(571,0 \pm 230,0)$  лк в точке 2 и  $(237,8 \pm 107,5)$  лк в точке 3. Чтобы избежать искажения цвета, начальные уровни освещённости в точках 4 (на держателе для документов) и 5 (на экране компьютера), имевшиеся до начала регулирования освещения, были почти одинаковы: в среднем,  $(351,2 \pm 20,3)$  лк в точке 4 и  $(336,2 \pm 17,1)$  лк в точке 5. Возможность индивидуального управления освещением нарушила это равновесие и привела к увеличению разброса:  $(467,5 \pm 223,9)$  лк в точке 4 против  $(318,9 \pm 131,5)$  лк в точке 5. Точки 6–8 располагались на стенах. Начальные освещённости в этих точках – в среднем,  $(217,2 \pm 6,4)$  лк в точке 6;  $(278,2 \pm 6,2)$  лк в точке 7 и  $(269,8 \pm 7,6)$  лк в точке 8 – были значительно выше, чем установленные участниками:  $(165,9 \pm 68,5)$  лк в точке 6;  $(204,0 \pm 95,1)$  лк в точке 7 и  $(198,4 \pm 88,7)$  лк в точке 8. Большой разброс начальной освещённости на поверхности стола до начала управления освещением обусловлен различиями в отрегулированных разными участниками положениях и наклонах держателя для документов и экрана компьютера, которые повлияли на начальную настройку местного освещения экспериментатором, старавшимся уравнивать освещённости в точках 4 и 5, что и повлекло изменение начальной освещённости на поверхности стола. Средние значения КЦТ, измеренные в восьми точках без возможности управления освещением, то есть при неизменном ОСД, составляли  $(3125 \pm 92)$  К. После индивидуального управления освещением измеренные значения КЦТ изменились, составив  $(3071 \pm 120)$  К. Обра-

тите внимание на то, что при изменении КЦТ в пределах  $\pm 60$  К цветовые различия едва заметны, тогда как изменение КЦТ в пределах  $\pm 100$  К даёт предельное цветовое различие, считающееся допустимым для осветительных установок [29].

Усреднённые полные количества знаков, набираемых в секунду (с точностью 100%), и усреднённые количества правильных ответов в минуту при выполнении задания по подбору цветов, приведены на рис. 5 для двух рассматривавшихся условий освещения с указанием погрешностей. Согласно результатам дисперсионного анализа повторных измерений, предоставление возможности индивидуального управления освещением при выполнении задания по набору текста не приводит к каким бы то ни было статистически значимым изменениям ( $p = 0,527$ ). Однако при подборе цветов по образцам возможность управления освещением при-

водит к существенному изменению результатов ( $p = 0,047$ ). Усреднённая по участникам точность подбора цветов в минуту при наличии возможности управления освещением оказалась меньшей, чем при отсутствии такой возможности (1,010 и 1,083 соответственно), а это значит, что предоставление участникам возможности плавного управления освещением повлияло на их способность к подбору цветов при ОСД.

Более того, на основе результатов применения описательной статистики к данным участниками оценкам качества освещения и значений  $p$  для критерия хи-квадрат (табл. 2) было установлено, что при разных условиях освещения субъективные оценки качества освещения отличаются друг от друга несущественно. Наличие возможности управления освещением не привело к значительным различиям в оценке участниками качества освещения.

## Приложение

Вопросы		Ответы
<b>Оценка качества освещения</b>		
Вопросы, связанные с уровнем освещения		
1	Освещение слишком сильное для выполнявших мною заданий	Согласен/не согласен
2	Освещение слишком слабое для выполнявших мною заданий	Согласен/не согласен
Вопросы, связанные с распределением освещённости		
3	Освещённость распределена плохо, с неприемлемым уровнем равномерности	Согласен/не согласен
4	Освещение приводит к образованию нежелательных густых теней	Согласен/не согласен
5	Контраст задания с фоном слишком сильный и некомфортный	Согласен/не согласен
Вопросы, связанные с блёскостью		
6	Отражённый свет светильников затрудняет выполнение работы	Согласен/не согласен
7	Светильники слишком яркие	Согласен/не согласен
Вопросы, связанные с индексом цветопередачи		
8	Моя кожа при этом освещении имеет неестественный цвет	Согласен/не согласен
9	Находящиеся в помещении цветные объекты выглядят нереальными или плохо различимы	Согласен/не согласен
Вопросы, связанные с КЦТ		
10	Освещение слишком тёплое для меня или для выполнявшейся мною работы	Согласен/не согласен
11	Освещение слишком холодное для меня или для выполнявшейся мною работы	Согласен/не согласен
12	Цветовая температура освещения прекрасно подходит для меня или для выполнявшейся мною работы	Согласен/не согласен
Другие физические параметры		
13	На всём протяжении исследований имела место пульсация освещения	Согласен/не согласен
14	Имело место нежелательное гудение осветительной установки	Согласен/не согласен
Общее впечатление		
15	В целом, освещение комфортное	Согласен/не согласен
16	В целом, это офисное освещение приемлемо	Согласен/не согласен
17	В целом, мне нравится жить и работать при этом офисном освещении	Согласен/не согласен
Удовлетворённость выполнением задания		
18	Как Вы оцениваете трудность выполнения предложенного Вам задания по набору текста на клавиатуре? (0 – наиболее лёгкое, 4 – наиболее трудное)	5-балльная шкала (0–4)
19	Как Вы оцениваете свою удовлетворённость выполнением предложенного Вам задания по набору текста на клавиатуре? (0 – наименее удовлетворён, 4 – наиболее удовлетворён)	5-балльная шкала (0–4)
20	Как Вы оцениваете трудность выполнения предложенного Вам задания по подбору цветов по образцам? (0 – наиболее лёгкое, 4 – наиболее трудное)	5-балльная шкала (0–4)
21	Как Вы оцениваете свою удовлетворённость выполнением предложенного Вам задания по подбору цветов по образцам? (0 – наименее удовлетворён, 4 – наиболее удовлетворён)	5-балльная шкала (0–4)

Результаты применения описательной статистики к данным участниками оценкам удовлетворённости выполнением задания приведены в табл. 3, а в табл. 4 даны результаты применения к этим результатам

дисперсионного анализа повторных измерений. Ни одно из значений  $p$  не оказалось ниже 0,05, так что возмож-

дисперсионного анализа повторных измерений. Ни одно из значений  $p$  не оказалось ниже 0,05, так что возмож-

Результаты применения описательной статистики к оценкам удовлетворённости

№ вопроса	Без управления освещением		С управлением освещением	
	Среднее	Стандартное отклонение	Среднее	Стандартное отклонение
18	0,9	0,8	0,8	0,8
19	2,8	1,1	2,9	0,7
20	2,3	0,9	2,1	1,0
21	2,7	0,9	2,6	0,8

Таблица 4

Результаты применения дисперсионного анализа повторных измерений к ответам на вопросы 18–1

Источник	Сумма квадратов, тип III	df	Среднее квадратичное	F	p
<b>Вопрос 18: Как вы оцениваете сложность выполнения задания по набору текста на клавиатуре?</b>					
С управлением освещением	0,033	1	0,033	0,102	0,752
Погрешность (с управлением освещением)	9,467	29	0,362		
<b>Вопрос 19: Как вы оцениваете свою удовлетворённость выполнением задания по набору текста на клавиатуре?</b>					
С управлением освещением	0,133	1	0,133	0,177	0,677
Погрешность (с управлением освещением)	21,867	29	0,754		
<b>Вопрос 20: Как вы оцениваете сложность выполнения задания по подбору цветов?</b>					
С управлением освещением	0,533	1	0,533	1,410	0,245
Погрешность (с управлением освещением)	10,967	29	0,378		
<b>Вопрос 21: Как вы оцениваете свою удовлетворённость выполнением задания по подбору цветов?</b>					
С управлением освещением	0,033	1	0,033	0,097	0,758
Погрешность (с управлением освещением)	9,967	29	0,344		

ность плавного управления ОСД не повлияла на оценку участниками ни сложности выполнения задания по набору текстов ( $p = 0,752$ ) и их удовлетворённости выполнением этого задания ( $p = 0,677$ ), ни сложности выполнения задания по подбору цвета ( $p = 0,245$ ) и удовлетворённости выполнением этого задания ( $p = 0,758$ ).

## 6. Выводы и обсуждение

В результате исходная гипотеза, проверке которой посвящалось это исследование, была частично отвергнута. При конкретных условиях ОСД, которые были реализованы в этом исследовании, предоставление возможности плавного управления освещением не повлияло ни на скорость набора текстов участниками ( $p = 0,527$ ), ни на субъективную оценку участниками сложности выполнения задания по набору текста ( $p = 0,752$ ) и удовле-

творённость выполнением этого задания ( $p = 0,677$ ). Это свидетельствует о том, что использовавшиеся при проведении исследования светильники с СД изначально обеспечивали высококачественное освещение, способное удовлетворять потребности участников при выполнении ими задания по набору текста в помещении, уровни освещённости в котором соответствовали условиям дневного зрения. Дополнительная плавная настройка освещения применительно к индивидуальным потребностям участников не привела к такому улучшению качества, которое повлияло бы на скорость набора текстов участниками и на их субъективные оценки выполнения этого задания. Эти результаты согласуются с результатами, полученными ранее применительно к ОЛЛ [2] и говорящими о том, что удовлетворённость участников не связана с эффективностью выполне-

ния когнитивных задач (когнитивная задача восприятия и распознавания текста является частью задачи по набору текста).

В то же время при конкретных условиях ОСД, реализованных в этом исследовании, предоставление возможности плавного управления освещением привело к снижению производительности труда при подборе цветов по образцам ( $p = 0,047$ ), однако участники не заметили сколь-нибудь существенного изменения качества освещения. Различия в измеренных в восьми точках значениях КЦТ при наличии и отсутствии возможности плавного управления ОСД обусловлены смешением общего (3500 К) и местного (2700 К) освещения в разных пропорциях, определяемых предпочтениями конкретных участников. Индивидуальное управление освещением нарушило баланс освещённости на карте цветов ком-



пани *Macbeth* и на экране компьютера, на котором демонстрировались варианты цвета, что повлекло за собой искажение цвета и изменение его насыщенности [17, 18] и привело к некоторому снижению производительности труда при подборе цветов по образцам. Тем не менее субъективные оценки сложности выполнения задания по подбору цветов ( $p = 0,245$ ) и удовлетворённости выполнением этого задания ( $p = 0,758$ ) не изменились. Значения  $R_a(90)$  использованных источников света очень хорошо обеспечивали восприятие цвета в офисе, чтобы минимизировать отрицательные последствия снижения производительности труда при выполнении задания по подбору цветов при небольшом изменении условий освещения (при наличии и отсутствии возможности управления освещением).

Кроме того, предоставление возможности плавного управления ОСД не повлияло на оценку молодыми участниками качества освещения помещения (например, яркости, равномерности, блёскости, КЦТ,  $R_a$ , пульсации, шума), а это свидетельствует о том, что изменение других факторов (например, распределения яркости по рабочей и фоновой поверхностям, возможной блёскости, пульсации и шума, создаваемых осветительной установкой, и т.д.), сопутствующее возможности плавного управления освещением, не оказывало сколь угодно существенного влияния.

Отметим, что эти выводы относятся к рассмотренным в этой работе ОСД и выполнению заданий по набору текстов на клавиатуре и подбору цветов по образцам. Эти условия могут не отражать все возможные варианты современного офисного освещения и выполняемых в офисах работ. К счастью, СД источники света, предназначенные для современных офисов, будут обеспечивать даже более качественную цветопередачу при всех регулируемых уровнях освещения. Для охвата условий, выходящих за рамки этой работы (например, более пожилые офисные работники, другие спектры излучения, охват всего рабочего дня), потребуются дополнительные исследования.

Эта работа финансировалась Комиссией по исследованиям в области эргономики офисов (грант № 13270).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Leaman A., Bordass, B.* Assessing building performance in use 4: the Probe occupant surveys and their implications // *Building Research & Information* – 2001. – Vol. 29, No. 2. – P. 129–143.

2. *Veitch, J.A., Gifford, R.* Choice, perceived control, and performance decrements in the physical environment // *Journal of Environmental Psychology*. – 1996. – Vol. 16. – P. 269–276.

3. *Eklund, N.H., Boyce, P.R., Simpson, S.N.* Lighting and sustained performance // *Journal of the Illuminating Engineering Society*. – 2000. – Vol. 29, No. 1. – P. 116–30.

4. *Boyce, P.R., Veitch, J.A., Newsham, G.R., Myer, M., Hunter, C.* Lighting quality and office work: a field simulation study. Pacific Northwest National Laboratory, 2003.

5. *Boyce, P.R., Veitch, J.A., Newsham, G.R., Jones, C.C., Heerwagen, J., Myer, M., Hunter, C.M.* Lighting quality and office work: two field simulation experiments // *Lighting Research & Technology*. – 2006. – Vol. 38, No. 3. – P. 191–223.

6. *Thompson, M., O'Reilly, U.M.* An Investigation into the Perception of Color under LED White Composite Spectra with Modulated Color Rendering // *Proc. for the 6<sup>th</sup> Light Research Office Symposium in Light and Color*, Lake Buena Vista, FL, February 2006.

7. *Hawes, B.K., Brunyé, T.T., Mahoney, C.R., Sullivan, J.M., Aall, C.D.* Effects of four workplace lighting technologies on perception, cognition and affective state // *Int. Journal of Industrial Ergonomics*. – 2012. – Vol. 42. – P. 122–128.

8. *Bhardwaj, S., Özçelebi, T., Lukkien, J.J.* Smart lighting using LED luminaries. The 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops 2010, Mannheim, Germany, March 29-April 2, 2010), (pp. 654–659). IEEE, 2010.

9. *Reijula, J., Grohn, M., Müller, K., Reijula, K.* Human well-being and flowing work in an intelligent work environment // *Intelligent Buildings International*. – 2011. – Vol. 3. P. 223–237.

10. *Wilkins, A.J., Veitch, J.A., Lehman, B.* LED Lighting Flicker and Potential Health Concerns: IEEE Standard PAR1789 Update. Recommending practices for modulating current in High Brightness LEDs for mitigating health risks to viewers. Retrieved 15 July, 2013 from <http://grouper.ieee.org/groups/1789/>.

11. *Cai, H., Chung, T. M.* (2013). Evaluating discomfort glare from non-uniform electric light sources // *Lighting Research & Technology*. 2013. – Vol. 45, No. 3. – P. 267–294.

12. *Veitch, J.A., Newsham, G.R., Boyce, P.R., Jones, C.C.* Lighting appraisal, well-being and performance in open-plan offices: A linked mechanisms approach // *Lighting Research & Technology*. – 2008. – Vol. 40. – P. 133–151.

13. *Veitch, J.A., Newsham, G.R.* Exercised control, lighting choices, and energy use: an office simulation experiment // *Journal of Environmental Psychology*. – 2000. – Vol. 20, No. 3. – P. 219–237.

14. *Veitch, J.A., Newsham, G.R.* Preferred Luminous Conditions in Open-Plan Offices: Research and Practice Recommendations // *Lighting Research & Technology*. – 2000. – Vol. 32, No. 4. – P. 199–212.

15. *Boyce, P.R., Eklund, N.H., Simpson, S.N.* Individual lighting control: task performance, mood, and illuminance // *Journal of the Illuminating Engineering Society*. – 2000. – Vol. 29, No. 1. – P. 131–142.

16. *Newsham, G., Veitch, J., Arsenault, C., Duval, C.* Effect of dimming control on office worker satisfaction and performance. IESNA Annual Conference Proceedings, Tampa, Florida, July 25–28, 2004, pp. 19–41.

17. *Hunt, R.W.G.* Light and dark adaptation and the perception of color // *Journal of the Optical Society of America*. – 1952. – Vol. 42, No. 3. – P. 190–199.

18. *Davis, W., Ohno, Y.* Studies on the effect of illuminance on color rendering. Light and Lighting Conference with Special Emphasis on LEDs and Solid State Lighting, 27–29 May 2009, Budapest, Hungary, 2009.

19. *Baron, R.A., Rea, M.S., Daniels, S.G.* Effects of indoor lighting (illuminance and spectral distribution) on the performance of cognitive tasks and interpersonal behaviors: the potential mediating role of positive affect // *Motivation and Emotion*. – 1992. – Vol. 16, No. 1. – P. 1–33.

20. *Mills, P.R., Tomkins, S.C., Schlangen, L.J.* The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance // *Journal of Circadian Rhythms*. – 2007. – Vol. 5, No. 2. – P. 1–9.

21. *Ono, K., Miki, M., Yoshimi, M., Nishimoto, T., Omi, T., Adachi, H., Akita, M., Kasahara, Y.* Development of an Intelligent Lighting System Using LED Ceiling Lights into an Actual Office. *Electronics and Communications in Japan 2012*, 95(10) // Translated from *Denki Gakkai Ronbunshi*. – 2011. – Vol. 131-A(5). – P. 321–327.

22. *Newsham, G.R., Veitch, J.A.* Lighting quality recommendations for VDT offices: a new method of derivation // *Lighting Research & Technology*. – 2001. – Vol. 33, No. 2. – P. 97–116.

23. *Veitch, J.A., Newsham, G.R., Jones, C.C., Arsenault, C.D., Mancini, S.* High-quality lighting: energy-efficiency that enhances employee well-being. CIE2010 Lighting Quality and Energy Efficiency, Vienna, Austria, March 14–17, 2010, pp. 197–204.

24. Boyce, P.R., Veitch, J.A., Newsham, G.R., Jones, C.C., Heerwagen, J., Myer, M., Hunter, C.M. Occupant use of switching and dimming controls in offices // *Lighting Research & Technology*. – 2006. – Vol. 38, No. 4. – P. 358–378.

25. National Research Council (NRC). Manual of typing task software. Retrieved 11 October, 2012, from <http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/eng/projects/irc/task-performance.html>.

26. Color Blender. Retrieved 9 November, 2012, from <http://www.colorblender.com>.

27. Eklund, N.H., Boyce, P.R. The development of a reliable, valid, and simple office lighting survey // *Journal of the Illuminating Engineering Society*. – 1996. – Vol. 25, No. 2. – P. 25–40.

28. Instructional Assessment Resources (IAR). 2007. Survey question types. Instructional Assessment Resources, the University of Texas at Austin. Retrieved 12 January, 2012, from [http://www.utexas.edu/academic/ctl/assessment/iar/teaching/plan/method/survey/survey\\_tables\\_questiontypes.pdf](http://www.utexas.edu/academic/ctl/assessment/iar/teaching/plan/method/survey/survey_tables_questiontypes.pdf).

29. Harbers, G., McGroddy, K., Petluri, R., Tseng, P.K., Yriberry, J. Visual color matching of LED and tungsten halogen light sources. Proc. of CIE2010 Lighting Quality and Energy Efficiency, 14–17 March 2010, Vienna, Austria: CIE, 482–487.



**Линьцзе Ли (Linjie Li)**, *M. Sc.* Инженер-испытатель компании Cree. Специалист по измерениям фотометрических и спектрометрических характеристик

светотехнических изделий. Член Светотехнического общества Северной Америки



**Хонги Цай (Hongyi Cai)**, *Dr.* Доцент факультета гражданского строительства, инженерных методов охраны окружающей среды и архитектуры Канзасского

университета, США. Основатель и научный руководитель светотехнической лаборатории Канзасского университета. Член Светотехнического общества Северной Америки и Международной ассоциации светодизайнеров

## ПАМЯТИ ЛЮДМИЛЫ ВАСИЛЬЕВНЫ АБРАМОВОЙ (05.03.1942–21.03.2016)

21 марта 2016 г. после тяжёлой продолжительной болезни скончалась Людмила Васильевна Абрамова, учёный, педагог, организатор науки, кандидат технических наук, профессор, многолетний член редакционной коллегии журнала «Светотехника».

Л.В. Абрамова родилась в с. Зыково Мордовской АССР. В 1964 г. окончила Мордовский государственный университет по специальности «Светотехника и источники света». В 1975 г. защитила кандидатскую диссертацию, в 1979 г. получила учёное звание доцента, а в 2001 г. – профессора.

Вся жизнь и трудовая деятельность (48 лет) Л.В. Абрамовой неразрывно связаны с Мордовским государственным университетом им. Н.П. Огарёва, в стенах которого она прошла путь от преподавателя до декана.

Возглавляя почти два десятилетия (1984–1994 гг. и 1999–2009 гг.) светотехнический факультет Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва, Людмила Васильевна внесла огромный вклад в его становление и развитие как учебно-научного центра по подготовке инженеров по специальности «Светотехника и источники света».

Несмотря на большую загруженность административной работой, Л.В. Абрамова постоянно занималась научными исследованиями. Под её руководством: велись долгосрочные договорные работы по разработке и конструированию световых приборов и систем освещения по заказам таких предприятий, как ОАО «Лисма», ВНИИИС им. А.Н. Лодыгина, Исфаринский и Ардатовский светотехнические заводы, Ленинск-Кузнецкий электроламповый завод; выполнялись научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по повышению качества электрических источников света. С 1991 г. Л.В. Абрамова – директор Научно-исследовательского института изучения воздействия оптического из-



лучения на организм человека (НИИ «Человек и свет») при Мордовском государственном университете, который объединил учёных светотехнического, медицинского и биологического факультетов.

Творческий научный вклад Л.В. Абрамовой характеризуют более 200 научных публикаций и авторских свидетельств

на изобретения, 2 монографии. Под научным руководством профессора Л.В. Абрамовой подготовлено 5 кандидатов технических наук.

Одновременно с научной деятельностью Людмила Васильевна вела большую педагогическую работу, являясь заведующей кафедрой светотехники. Многие годы читала лекции по курсам «Основы светотехники» и «Основы физиологической оптики и колориметрии», руководила аспирантами и дипломными работами, вела методическую работу по постановке новых лекционных курсов и лабораторных работ.

Признание заслуг Л.В. Абрамовой отмечено знаком отличия «Почётный работник высшего профессионального образования РФ», почётным званием «Заслуженный работник высшей школы Республики Мордовия», званием лауреата Государственной премии Республики Мордовия в области науки и техники и др. наградами.

Безупречный профессионализм, принципиальность и ответственность за своё дело, умение работать с людьми снискали Л.В. Абрамовой большое уважение её коллег. Она останется в их памяти высоким профессионалом, который все свои силы отдавал развитию светотехники.

Светлая память о Людмиле Васильевне Абрамовой сохранится в наших сердцах, в сердцах всех, кто её знал и любил.

**Редколлегия и редакция журнала, коллектив Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва, ученики и друзья**