

О влиянии характеристик помещения на ручное управление освещением¹

А. Ч. КУНДАРАЧИ^{1,4}, Т. КАЗАНАСМАЦ², Т. ХОРДИЖК³

¹ Университет Яшар, Измир, Турция

² Измирский технический институт, Измир, Турция

³ Делфтский университет, Делфт, Нидерланды

⁴ Email: arzu.cilasun@yasar.edu.tr

Аннотация

Углублённое понимание потребностей и поведения работающих в зданиях людей может привести к уменьшению расходуемой на освещение энергии. В данной работе исследовалось, как количество людей в помещении и его планировка влияют на ручное управление освещением (РУО) офисов. При этом использовался разделённый на несколько частей вопросник, направленный на выяснение того, как на РУО влияют возможные интерьерные решения, такие как положение письменного стола, цвета поверхностей, расстояние от окна, расстояние между столом и выключателем. Исследование поведения участников в части РУО осуществлялось также с использованием сделанных в разное время фотографий помещений, имеющих разную планировку и разные цвета поверхностей. Для выявления существенных причин, которые могут привести к менее частому РУО, использовались статистические методы. Планировка помещения, расстояние от окна, время дня и количество людей в офисе наиболее сильно влияют на РУО. Учёт этих факторов позволит уменьшить количество расходуемой на освещение энергии при одновременном увеличении удовлетворённости пользователей.

Ключевые слова: энергия, расходуемая на освещение, ручное управление освещением, планировка помещения, поведение пользователя.

1. Введение

Поведение пользователей – это действия, подразумевающие присутствие пользователей и способ, которым они осуществляют свою деятельность внутри здания [1, 2]. Одним из возможных способов уменьшения количества

расходуемой на освещение электроэнергии стало осуществляемое пользователями управление осветительными установками, которое влияет на полное энергопотребление [3–5]. Ручное управление освещением (РУО), которое является одной из сторон поведения пользователей, – это включение/выключение освещения пользователями без участия каких бы то ни было автоматизированных систем управления.

РУО рассматривалось только в нескольких исследованиях поведения пользователей [6]. Обзор литературных данных о существующих моделях поведения пользователей применительно к РУО содержится в [7]. В этой работе были выделены модели Ханта (*Hunt*) и Ньюшэма (*Newsham*), позволяющие определить вероятности включения/выключения света в предположении, что потребители управляют освещением два раза в день (после прихода и перед уходом) и что естественное освещение играет большую роль в принятии решения о включении света [7, 8]. Однако в этих моделях не учитывается включение/выключение света в течение рабочего дня, например, при уходе на обед или на небольшие перерывы [7]. В [9] было показано, что вероятность выключения света прямо пропорциональна времени отсутствия людей в помещении. В [6, 10] упоминались исследования «активности» и «пассивности» пользователей, основанные на их функциональных особенностях и динамической реакции на кратковременные изменения условий освещения. Активными считались те пользователи, которые стремятся к оптимальному использованию естественного освещения, управляют в течение дня как искусственным освещением, так и средствами защиты от дневного света, а пассивными – те пользователи, которые в течение дня не предпринимают никаких действий по управле-

нию освещением [10, 11]. В проведённом недавно исследовании, поведение пользователей в части управления освещением рассматривалось в связи с расходуемой на освещение электроэнергией и временем включения света в офисах. Согласно полученным результатам, пользователей можно было считать активными, а их отношение к освещённости довольно заинтересованным [5]. Двумя ключевыми моментами были естественная освещённость и время отсутствия, а пользователи были разделены на пассивных и активных в соответствии с их поведением. При этом существенное значение имеют и приходы и уходы людей во время их нахождения в здании.

Известно, что особенности интерьера применительно к РУО не рассматривались. Например, до сих пор не исследовалась связь между РУО и положением стола пользователя и его расстоянием от окна (которые влияют на направление, с которого дневной свет попадает в окрестности стола). Кроме того, хотя естественная освещённость оказывает сильное влияние на включение и выключение света, связь между площадью окна, расстоянием от окна и цветами поверхностей помещения (стен, потолка и пола), от которых зависит уровень освещённости, и РУО до сих пор не рассматривалась. Следует также рассмотреть факторы, способствующие или препятствующие осуществлению РУО (то есть включению и выключению света), так как находящиеся в помещениях люди имеют самые разные предпочтения в части освещённости. Если понять связь между особенностями интерьера и ожиданиями и предпочтениями пользователей, а также подоплёку их поведения, то РУО можно сделать более эффективным.

При наличии таких знаний, проект интерьера сможет сыграть активную роль в энергосбережении или увеличении степени осуществления РУО. Углублённое изучение не только условий освещения и управления им, но и всех многообразных действий пользователей, позволит осуществлять более полное моделирование при прогнозировании энергопотребления.

Целью данного исследования являлось изучение влияния заполненности и особенностей интерьера офиса на осуществление РУО, с тем чтобы собрать данные о поведении пользователей в части РУО. Исследования

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

предусматривали использование вопросника, на который попросили ответить преподавателей университета в г. Измире, Турция. В вопроснике были рассмотрены пространственные, зрительные и контекстуальные факторы, влияющие на поведение пользователей. В рамках данного исследования предполагалось найти ответы на два вопроса:

1. Влияют ли особенностями интерьера помещения (например, положение стола, расстояние от окна, расстояние от выключателя, цвета поверхностей и ориентация пользователя) на РУО?

2. Как заполненность помещения (продолжительности периодов присутствия и отсутствия людей) влияет на частоту осуществления РУО?

2. План обследования

Состоящий из нескольких разделов вопросник был разработан для описания обстановки, в которой работают участники опроса, и того, как они осуществляют РУО своего офиса. Учитывая, что ограниченное попадание в помещение естественного света может способствовать реализации РУО, опрос был произведён в зимнее время, а именно, в феврале 2015 г. Участники были ограничены во времени одним месяцем, применительно к которому они должны были давать ответы на вопросы, такие как: *как бы Вы описали: наличие естественного освещения в вашем офисе за последний месяц / количество света в рабочей зоне с точки зрения выполняемой Вами в последний месяц работы, ...*

В опросе участвовали преподаватели, использующие офисы университета, расположенного в г. Измире. Так как преподаватели читают лекции, проводят семинарские занятия и участвуют в совещаниях, то на протяжении дня они часто входят в свои офисы и выходят из них, что позволяет рассмотреть самые разные варианты их поведения. Приглашения для участия в обследовании были разосланы по электронной почте. 125 человек (из них 60,8 % женщин и 39,2 % мужчин, 85 % из которых были моложе 36-ти лет) из равного 398-ми человекам общего количества приглашённых (примерно 30 %) добровольно предоставили заполненные вопросники через домен вопросников, в котором производятся статистические оценки.

Вопросник включал в себя вопросы разного типа, такие как вопросы с несколькими вариантами ответа, вопросы, оцениваемые по шкале Лайкерта, и вопросы типа «да-нет». Он состоял из пяти разделов, подробное описание которых приведено ниже.

Первый раздел вопросника относился к интерьерным/физическим особенностям занимаемого участником офиса и был направлен на выявление связи между зрительной удовлетворённостью участника и осуществляемым им РУО, сведения о котором дают ответы на вопросы, содержащиеся в других разделах. Он содержал 9 вопросов с несколькими вариантами ответов, например, о количестве людей, работающих в офисе, ориентации помещения, общей площади окон и т.д. Следующие два вопроса были связаны с условиями работы в офисе. Информация о расстоянии между столом и окном (меньше чем 1 м, 1–2 м, 2–5 м, больше чем 5 м) помогает интерпретировать пользу, которую респондент получает от дневного света, доходящего до его рабочего места. Данные о планировке помещения (т.е. где – слева, справа, сзади, спереди или в другом направлении от сидящего человека – находится окно) позволяют понять, с какого направления поступает дневной свет. Кроме того, естественная освещённость на поверхности стола может позволить провести оценку зрительной среды, которая зависит от направления взгляда человека (схема «лицом к окну» или схема «лицом к стене»). Участников также просили отметить, страдают они от воздействия блёскости или нет.

Второй раздел вопросника был посвящён отдельной оценке удовлетворённости наличием естественного освещения и искусственным освещением в формате 5-уровневой оценки по шкале Лайкерта, где 1 означало полную неудовлетворённость, 2 – неудовлетворённость, 3 – среднюю удовлетворённость, 4 – удовлетворённость, 5 – полную удовлетворённость. Для получения информации о том, как участники оценивают количество света в помещении, на столе и на экране компьютера, использовалась семантическая шкала, простирающаяся от –2 (слишком темно) до +2 (чрезмерно светло), у которой 0 соответствовал нужному количеству света. Кроме того, участников просили описать свои задачи (такие как работа на ком-

пьютере, чтение или письмо) и то, как часто они их выполняют, используя для этого пять вариантов. Шкала, по которой оценивалась частота, состояла из пяти категорий, таких как: 1 – постоянно, 2 – довольно часто, 3 – иногда, 3 – редко и 5 – никогда.

Вопросы третьего раздела относились к тому, как обычно осуществлялось РУО, и почему это происходило именно так. Для понимания того, как участники осуществляли РУО, сначала их просили описать, как часто они осуществляли это управление на протяжении дня. Затем они должны были ответить на четыре группы вопросов о причинах, способствующих или препятствующих применению РУО, и об обстоятельствах, влияющих на их решение включить или выключить свет (таких как потребность в зрительном комфорте, обозначение своего присутствия, просьбы коллег, создание атмосферы и т.д.), которые оценивались по шкале Лайкерта, от 1 (всегда) до 5 (никогда). По шкале Лайкерта оценивались и все приведённые на рис. 1 ответы. Для оценки того, какие причины наиболее сильно влияют на частоту изменений условий освещения, был использован регрессивный анализ. Каждая группа ответов была проверена на значимость для частоты применения РУО при уровне значимости 0,05. Помимо того, что каждый из ответов рассматривался отдельно, их ещё и объединяли в группы, и определяли соответствующие агрегированные показатели.

Четвёртый раздел состоял из вопросов о субъективной оценке участниками текущей планировки их офисов и о том, смогут ли какие-нибудь изменения интерьера повлиять на осуществляемое ими РУО. Для выяснения того, что думают по этим поводам участники, лучше всего подходят вопросы, предусматривающие стереотипные альтернативные ответы. Первый вопрос, ответ на который оценивался по 5-балльной шкале Лайкерта, был сформулирован следующим образом: «как Вы оцениваете следующие особенности интерьера применительно к частоте осуществления Вами РУО?», и состоял из следующих пунктов: *расположение Вашего стола, расстояние между Вашим столом и окном, площадь окна, ориентация окна, цвета имеющихся в помещении поверхностей или предметов, расстояние между выключателем и Ва-*

2. Оцените, пожалуйста, следующие причины, по которым Вы управляете вручную светильниками/осветительными установками

	Никогда	Редко	Изредка	Обычно	Всегда
Для обеспечения зрительного комфорта					
Для экономии энергии					
Для обозначения своего присутствия/отсутствия					
По просьбам коллег					
Для обеспечения комфортной температуры					
Для работы на компьютере					
Для чтения печатного текста					
Для восполнения естественного освещения					
Для создания рабочей атмосферы					

(а)

3. Какие причины мешают Вам управлять вручную светильниками/осветительными установками

	Никогда	Редко	Изредка	Обычно	Всегда
Предпочтения моих коллег					
Необходимость оставаться сосредоточенным на моей работе					
Я нахожусь слишком далеко от выключателя					
Меня не волнует уровень освещённости в помещении					
Я не замечаю изменений уровня освещённости					

(б)

4. Как перечисленные ниже факторы влияют на Ваше решение включить свет вручную сразу после прихода

	Никогда	Редко	Изредка	Обычно	Всегда
Если в помещении темно					
Для обозначения своего присутствия					
Предпочитаю работать при искусственном освещении					
Обычно естественного освещения недостаточно на протяжении всего дня					

(в)

5. Как перечисленные ниже факторы влияют на Ваше решение не включать свет вручную в течение нормального рабочего дня

	Никогда	Редко	Изредка	Обычно	Всегда
Чтобы избежать избыточного освещения и блёскости					
Для обозначения своего отсутствия					
Я не замечаю, включён свет или нет					
Расположение выключателя					

(г)

Рис. 1. Факторы, влияющие на РУО: (а) причины применения РУО; (б) препятствующие факторы; (в) способствующие факторы; (г) причины не включать свет вручную

шим столом. Второй вопрос служил для выяснения того, до какой степени участники согласны с утверждением, которое начиналось словами «я начну чаще использовать РУО, если», за которыми следовали варианты: *изменится местоположение моего стола относительно окна, уменьшится расстояние между моим столом и окном, увеличится площадь окна, изменится ориентация окна, изменится цвет предметов/поверхностей/помещения, уменьшится расстояние между моим столом и выключателем*. Ответы предусматривали оценку по шкале от 1 (согласен) до 5 (не согласен).

Для выяснения реакции участников на изменения цвета поверхностей и времени суток *в пятом разделе* использовались фотографии и вопросы с ответами да-нет. Эти вопросы задавались применительно к изготовленной в масштабе 1:5 модели личного кабинета (3,6 × 5,4 × 2,7 м) [12]. Эта модель (рис. 2) использовалась для фотографического отображения разных вариантов. Для предотвращения появления возможных оптических иллюзий и обеспечения сбалансированного яркостного контраста, в программе *Photoshop* регулировали экспозиции. На всём протяжении опроса участники использовали один и тот же тот же экран, что позволило избежать различий в зрительном восприятии.

Поверхности внутри помещения вначале были закрыты тёмной бумагой (коэффициенты отражения (ρ) стен и потолка были равны, соответственно, 0,50 и 0,20), а затем светлой бумагой ($\rho = 0,85$ и 0,50 соответственно). Коэффициенты отражения определялись при помощи диска с известным коэффициентом отражения 92,5 %. Уменьшенная модель помещалась перед выходящим на север окном в Делфском техническом университете (52° 00' с.ш., 4° 37' в.д.). Фотографирование производилось 21 декабря 2014 г. при помощи цифровой камеры с объективом типа «рыбий глаз». Северное направление было выбрано во избежание больших различий в контрасте и зрительного дискомфорта из-за наличия прямого солнечного света. Диффузное естественное освещение обеспечивало относительно сбалансированное распределение естественной освещённости в течение всего дня.

Уменьшенную модель фотографировали три раза в течение одного дня:



Рис. 2. Уменьшенная модель помещения (слева) и фотографии с расположением к окну спиной или лицом (справа сверху) или левым или правым боком (справа внизу)

утром (9:00–9:30), днём после обеда (13:00–13:30) и в послеобеденное время после короткого перерыва (15:00–15:30). Глядя на фотографии, сделанные в эти три промежутка времени, участники должны были назвать свои действия в части РУО. На основании отображённой на фотографии зрительной среды они говорили о своём решении включить или не включать свет после входа в помещение. Зависимость принятых ими решений по управлению светом от расстояния от окна, положения стола или времени суток была проанализирована при помощи кросс-табуляции и критерия хи-квадрат.

3. Результаты обследования

Что касается вопросов о существующей обстановке, то 26, 17, 24 и 32 % участников занимали личные кабинеты, офисы на 2–3-х человек, офисы на 4–5-х человек и офисы с большим количеством работников соответственно. 51,2 % офисов имели площадь окон от 15 до 30 м², тогда как 16 % офисов имели площадь окон, меньшую чем 15 м², и у 32,8 % офисов площадь окон превышала 30 м². Большая часть помещений выходила на север (20,8 %), тогда как на другие стороны света выходили от 1,6 до 16,8 % помещений. У 40,8 % участников столы располагались на расстоянии от 1 до 2 м от окон, тогда как 31,2 % участников заявляли, что от них до окна меньше чем 1 м. Большая часть участников не страдают от воздействия блёскости в своих офисах (92 %).

На вопрос о том, как они оценивают степень своей удовлетворённости искусственным освещением в офисе, наибольшее количество ответов «удовлетворительное» было получено от участников, которые работают в лич-

ных кабинетах или в офисах на 2–4-х человек (такую оценку дали по 80 % участников). Участники, которые работают в офисах на 5 и более человек, чаще всего давали ответ «неудовлетворительное». Типы установок искусственного освещения не рассматривались из-за широкого ассортимента ламп и светильников и того обстоятельства, что респонденты могли и не суметь описать существующую установку. При этом пользователи чаще всего считали, что уровень освещённости превышает тот, который они хотели бы иметь (80 %). Этот результат можно понимать так, что если бы они имели возможность управлять освещением индивидуально, то предпочли бы более низкий уровень освещённости, что привело бы к уменьшению энергопотребления. Это согласуется с результатами исследования [13], согласно которым индивидуальное управление освещением приводит к экономии энергии, так как всегда есть люди, предпочитающие уровни освещённости, меньшие чем заданные. Этот результат может оказаться полезным для архитекторов, подталкивая их тому, чтобы ради экономии энергии они предусматривали офисы на от 1-го до 3–4-х человек. В случае многолюдных офисов имеется другая возможность: обеспечение персонального зрительного комфорта для каждого человека, освещая каждый из столов индивидуально.

Почти 55 % респондентов, офисы которых выходили на север, были удовлетворены условиями естественного освещения своих рабочих пространств, выбрав в вопроснике ответ «4 – очень удовлетворён». Сходная оценка удовлетворённости была получена в случае офисов, выходящих на северо-восток. Что касается ответов, связанных с расположением столов,

то при окне слева удовлетворённость была наибольшей (примерно 50 % ответов), тогда как при расположении спиной к окну она оказалась наименьшей (примерно 30 % ответов). Так как площадь окна рассматривалась с точки зрения удовлетворения потребности в естественном освещении, то наибольшая удовлетворённость (42 %) имела место при площади окна от 2 до 5 м². Ответы участников подтвердили, что те, чьи столы удалены от окон на расстояние, превышающее 5 м, считают естественное освещение недостаточным, тогда как участники, столы которых расположены на расстоянии 1–2 м от окна, в большинстве своём считали естественное освещение достаточным.

Для выяснения того, зависит ли удовлетворённость естественным освещением от ориентации, положения стола, площади окон и расстояния до них, или нет, были использованы критерии хи-квадрат и кросс-табуляция при равном 5 % уровне значимости ($\alpha = 0,05$). Удовлетворённость естественным освещением оказалась зависящей только от двух факторов: площади окна и расстояния от окна. Результаты, говорящие о независимости удовлетворённости участников естественным освещением от ориентации и положения стола, приведены в таблице.

Респонденты должны были сформулировать своё отношение к каждой из предложенных им мер, направленных на увеличение степени осуществления ими РУО. Из факторов, способных увеличить степень осуществления РУО, наиболее часто назывались ориентация окна (81 %) и увеличение его площади (79 %). Другими важными возможностями изменения степени осуществления РУО респонденты сочли уменьшение расстояния между столом и окном (всегда – 31 %, обычно – 43 %), изменение цвета поверхностей (всегда – 22 %, обычно – 29 %) и изменение положения стола (всегда – 37 %, обычно – 32 %), тогда как расстояние между столом и выключателем (всегда – 11 %, обычно – 14 %) оказалось наименее важным. В то же время, мнения пользователей о том, как перечисленные выше изменения могут повлиять на осуществление ими РУО, не согласуются с их ответами по поводу удовлетворённости естественным освещением в реальных условиях их работы.

Почти 57 % участников осуществляют РУО несколько раз в день в зависимости от своего присутствия в помещении или наличия естественного освещения. Они включают и выключают свет не только при приходе и уходе, вследствие чего их отнесли к категории активных пользователей. 21 % участников заявили, что они используют РУО два раза в день (только когда входят в офис в начале дня и покидают его в конце дня), тогда как 9 % утверждали, что они управляют светом не только при приходе в офис утром и уходе из него вечером, но и при уходе на обед и перерывы и при возвращении после них. При этом 13 % участников отметили, что обычно они не осуществляют РУО. Так что 34 % участников можно отнести к категории пассивных пользователей. Приведённые выше данные говорят о том, что используемое в исследованиях и моделях допущение, согласно которому всех пользователей можно считать пассивными, не соответствует действительности. Данное исследование говорит о необходимости исходить из реального поведения пользователей.

Большинство участников (соответственно, 39 и 40 %) заявили, что основной причиной осуществления ими РУО служит желание обеспечить зрительный комфорт и создать благоприятную рабочую атмосферу, то есть, другими словами, желание выполнять свою работу. Экономия энергии была второй по значимости личной причиной осуществления РУО (21 %). 52 и, соответственно, 20 % участников никак или почти никак не связывали осуществление ими РУО с желанием обозначить своё присутствие или отсутствие. Ответы на вопросы, связанные с работой на компьютере и чтением печатного текста, оказались очень схожими, так что ни один из этих видов деятельности не влиял на осуществление РУО сильнее, чем другой. Почти 27 % участников никогда не учитывают потребности своих коллег при управлении освещением, тогда как 32 % участников включают и выключают свет по просьбам своих коллег, даже если сами в этом не нуждаются. Так что индивидуальное управление освещением для каждого из рабочих мест может оказаться хорошим способом обеспечения зрительного комфорта.

Что касается того, как перечисленные в вопроснике причины влияют на РУО (см. выше описание третьего раздела вопросника, где говорится об агрегированном показателе для группы в целом), то полученные значения R^2 оказались довольно низкими: 0,12 для группы, указанной на рис. 1а, 0,04 для группы на рис. 1б и 0,04 для группы на рис. 1в, причём показатели значимости F и p превышали 0,05. Так что результаты не могут считаться надёжными, и количество существенных причин уменьшается: только две причины, а именно, обеспечение зрительного комфорта ($F = 0,002$, $p = 0,002$) и создание рабочей атмосферы ($F = 0,002$, $p = 0,001$) оказались значимо связанными с РУО при R^2 , почти равном 0,10. Это означает, что мы можем объяснить/спрогнозировать 10 % наблюдавшегося разброса данных. Например, зрительный комфорт сам по себе может повлиять на РУО, но не очень сильно. Это понятно и разумно, так как решение осуществить РУО принимает человек, и на него могут повлиять многие другие факторы, часть из которых спрогнозировать невозможно. Единственной существенной причиной ($F = 0,042$, $p = 0,04$),

по которой пользователи могут воздержаться от осуществления РУО, является то, что они не замечают изменений освещённости.

Почти 72 % респондентов считают, что изменение планировки помещения может существенным образом повлиять на осуществление ими РУО. Соответственно, площадь окна (всегда – 39 %, обычно – 40 %), его ориентация (всегда – 37 %, обычно – 44 %), положение стола (всегда – 37 %, обычно – 32 %), и расстояние от окна (всегда – 31 %, обычно – 43 %) оказывают сильное влияние на РУО, тогда как расстояние между столом и выключателем (редко – 18 %, никогда – 40 %) оказалось наименее действенным фактором. Что касается цвета поверхностей, то, судя по ответам, он не оказывает сколь-нибудь существенного влияния на РУО.

Для того, чтобы понять реакцию участников на положение стола, расстояние от окна, цвет стен и время суток, их попросили оценить фотографии нескольких вариантов компоновки уменьшенной модели. Эти оценки состояли в выборе одного из двух вариантов: «Я бы включил свет» и «Я бы не стал включать свет». Для

Результаты, полученные применительно к распределению хи-квадрат

	Критерий Пирсона (критерий χ^2)	Значение p	Вывод
Ориентация	33,267	0,405	Не влияет
Положение письменного стола	10,588	0,834	Не влияет
Площадь окна	18,407	0,018	Влияет
Расстояние от окна	24,024	0,020	Влияет

более глубокого понимания того, зависит РУО от вышеупомянутых особенностей помещения или нет, был использован критерий независимости хи-квадрат.

Вначале было проведено сравнение зависимости РУО от расстояния от окна (A или B). Если стол располагался в положении «спиной к окну» и все поверхности были светлыми, то ответы на указанные выше вопросы практически не зависели от расстояния от окна. После прихода с обеда количество ответов, что респонденты включили бы свет, при отодвигании стола от окна в положение B уменьшилось с 36 до 32,8 %. После «послеполуденного перерыва» отношение к осуществлению РУО оказалось иным. Количество ответов, что респонденты включили бы свет, при отодвигании стола от окна в положение B увеличилось с 32,8 до 40,8 %. Если стол располагался в положении «лицом к окну», то примерно 88–96 % респондентов предпочитали не включать свет на всём протяжении дня. Утром при перемещении стола к задней стене в положение B наблюдался сильный спад количества решений не включать свет (с 11 до 2,41 %).

Для статистической оценки того, существует ли какая-то значимая связь между расстоянием и включением или выключением света, использовались кросс-табуляция и критерий хи-квадрат. Для разного времени суток (утро, обеденное время и послеполуденное время) были подробно рассмотрены все варианты планировки и цвета. Результаты 24-х кросс-табуляций, выполненных по-отдельности для каждого времени суток (утро, обед, послеполуденный перерыв), говорят о том, что включение и выключение света зависит от расстояния от окна, так как во всех случаях значения p оказались меньшими чем $\alpha = 0,05$ ($p = 0,000$), за исключением перемещения стола, находящегося в положении «окно слева», из A в B ($\chi^2 = 2,65$; $df = 1$; $p = 0,104$).

При сравнении относящихся к РУО ответов, полученных в случаях «спиной к окну» и «лицом к окну», существенные различия имели место во все моменты времени (утро, обед, послеполуденный перерыв). Например, при входе в помещение утром ответ «включу свет» был получен в 57,6 % случаев в варианте «спиной к окну, положение B , светлые стены», тогда

как в варианте «лицом к окну, положение B , светлые стены» количество таких ответов в этих же условиях уменьшилось до 2,41 %. Аналогичные результаты были получены применительно к входу в помещение утром и вариантам «спиной к окну, положение A , тёмные стены» и «лицом к окну, положение A , тёмные стены». В варианте «спиной к окну, положение A » ответы «не включу свет» составляли 8 %, тогда как в варианте «лицом к окну, положение A » их количество возросло до 84 %. Однако в вариантах «окно справа» и «окно слева» ответы на эти вопросы отличались друг от друга не так сильно, как в вариантах «окно сзади» и «окно спереди». Например, после обеда на «не включу свет» в варианте «окно слева, положение A , тёмные стены» приходилось 87,2 % ответов, тогда как в варианте «окно справа, положение A , тёмные стены» количество таких ответов уменьшилось до 45,6 %. Согласно полученным очень низким значениям p ($p < 0,001$), критерий хи-квадрат и кросс-табуляция выявили зависимость осуществления РУО от положения стола, за исключением вариантов «лицом-спиной к окну, положение B » при входе в помещение утром и после обеда ($\chi^2 = 2,30$; $df = 1$; $p = 0,129$ и $\chi^2 = 3,34$; $df = 1$; $p = 0,067$ соответственно) и «лицом-спиной к окну, положение A , тёмные стены» утром ($\chi^2 = 0,29$; $df = 1$; $p = 0,589$).

Такие результаты имеют большое значение не только для проектов интерьеров, но и для увеличения возможностей в части оценки рабочих помещений на предмет естественного освещения и энергоэффективности. Положения столов пользователей могут выступать в роли некой значимой переменной или постоянной при проведении расчётов параметров освещения или энергоэффективности.

Кроме того, персональные моменты могут помочь лучше понять проблемы, связанные с освещением рабочих помещений. В рамках дальнейших исследований можно подробно проанализировать, до какой степени удовлетворённость левши, у которого источник дневного света находится слева, отличается от удовлетворённости правши в этих же условиях, и какковы потребление или экономия энергии в обоих этих случаях.

Для понимания того, влияет ли время суток на осуществление РУО, фотографии делали в три разных момента времени (утром, в обеденное время и во время послеполуденного перерыва). Придя на работу утром, пользователи чаще всего стараются включить свет при любых положениях стола и цвете стен. Например, в варианте «окно слева, положение A , светлые стены» количество ответов «включу свет» составило 65,85 %, тогда как после обеда и во время послеполуденного перерыва эта цифра уменьшилась до 4,8 и 4 % соответственно. Результаты, полученные применительно к послеобеденному времени и послеполуденному перерыву, ближе друг к другу, чем к результатам, полученным применительно к утреннему времени. Критерий независимости хи-квадрат, который был использован применительно к 48-ми кросс-табуляциям, подтвердил наличие существенной зависимости осуществления РУО от времени суток. Значимо низкие значения p изменялись в пределах от 0,000 до 0,003. Однако некоторые результаты, например, связь между утренними и обеденными данными для варианта «окно слева, положение A , светлые стены» ($\chi^2 = 3,27$; $df = 1$; $p = 0,070$) и между утренними и послеполуденными данными для варианта «окно слева, положение A , светлые стены» ($\chi^2 = 0,46$; $df = 1$; $p = 0,496$), демон-

стрируют независимость с большими значениями p .

4. Обсуждение и выводы

Целью данной работы была проведённая применительно к офисам университета статистическая оценка вклада ряда факторов (интерьерных и связанных с загруженностью помещений) на осуществление РУО и удобство для пользователей. Исследование связи между физическими особенностями окружающей среды и удовлетворённостью условиями естественного освещения показали, что из всех рассмотренных параметров наиболее значимыми с точки зрения удовлетворённости естественным освещением являются площадь окна и расстояние до него. С другой стороны, было установлено, что ни ориентация, ни расположение стола не оказывают статистически значимого влияния на удовлетворённость естественным освещением.

Было получено несколько результатов, важных с точки зрения осуществления РУО. В частности, ориентация на север или северо-восток, равная 2–5 м² площадь окна и равное 1–2 м расстояние от окна оказались достаточными для обеспечения хорошего естественного освещения. Такое освещение приведёт к увеличению количества людей, не включающий свет при входе в помещение. Ответы на вопросы показали, что большинство участников можно было отнести к категории «активный пользователь», так как они не только включали свет, входя в помещение утром, и выключали его, уходя из помещения в конце рабочего дня, что соответствует определению, приведённому в [10], но и часто включали и выключали свет в течение рабочего дня. Эти результаты не согласуются с европейскими стандартами, в которых значение показателя ручного управления освещением (*manual control factor*) (показателя заполняемости помещения (*occupancy dependency factor*)) считается равным 1 (а это означает, что свет включён на всём протяжении рабочего дня, а пользователи пассивны, т.е. вообще не используют РУО во время работы) [14]. Отмеченное в данной работе активное поведение пользователей может внести большой вклад в экономию энергии, однако полученные результаты не позволяют определить размеры этой эко-

номии. Можно предложить проведение дополнительных исследований зависимости экономии энергии от поведения пользователей. Существенное влияние на включение и выключение света оказывает потребность в обеспечении зрительного комфорта и создании благоприятной атмосферы, тогда как соображения, связанные с экономией энергии, имеют гораздо меньшее значение. Интересно было осознать, что озабоченность экономией энергии оказалась гораздо менее значимым фактором, чем стремление к комфорту. Причиной такого отношения может быть отсутствие у пользователей информации о количестве потребляемой ими энергии, вследствие чего они расходуют энергию неосознанно, что и было отмечено в [15].

Проведённый анализ показал, что сильнейшей побудительной причиной осуществления РУО является внутренняя планировка помещения (расположение столов). Например, размещение стола около окна (в положении А) и/или так, чтобы пользователь сидел лицом к окну, приведёт к менее частому включению и выключению света. Эти факторы оказывали существенное влияние во все рассмотренные моменты времени. Эти результаты аналогичны полученным в [16], где было установлено, что планировка помещения влияет на поведение пользователей. Осуществление РУО зависит от изменений естественной освещённости. Если естественной освещённости недостаточно (особенно утром), то это вынуждает пользователей включать свет, входя в помещение утром. Так что естественную освещённость следует учитывать при прогнозировании количества энергии, расходуемой на освещение.

Не следует недооценивать вклад пользователей в экономию энергии. Данное исследование было направлено на увеличения объёма знаний о том, как потребители расходуют энергию, для чего были выявлены факторы, способные повлиять на РУО, и проанализирована степень их влияния. Приведённые результаты, касающиеся частоты осуществления РУО и факторов, способствующих или препятствующих включению и выключению света, могут использоваться в качестве входных данных при проектировании экологичных офисов без автоматизированных систем управления освещением. Кроме того, это ис-

следование позволило лучше понять предпочтения пользователей и осуществляемое ими РУО, а также указать, как реально включить предпочтения пользователей в модели их поведения. Для создания энергоэффективных зданий требуется более углублённое понимание поведения пользователей с учётом характеристик помещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hoes, P., Hensen, J.L.M., Loomans, M.G.L.C., de Vries, B., Bourgeois, D. User Behavior in Whole Building Simulation // *Energy and Buildings*. – 2009. – Vol. 41, No. 3. – P. 295–302.
2. Mahdavi, A., Pröglhöf, C. User Behavior and Energy Performance in Buildings // 6th Int. Energiewirtschaftstagung IEWT 2009, TU Wien, 2009. – P. 1–13.
3. Tetlow, R.M., Beaman, C.P., Elmualim, A.A., Couling, K. Simple Prompts Reduce Inadvertent Energy Consumption from Lighting in Office Buildings // *Building & Environment*. – 2014. – Vol. 81. – P. 234–242.
4. Yang, L., Yan, H., Lam, J. Thermal Comfort and Building Energy Consumption Implications – A Review // *Applied Energy*. – 2014. – Vol. 115. – P. 164–173.
5. Yun, G.Y., Kim, H., Kim, J.T., Kong, H.J. Effects of Occupancy and Lighting Use Patterns on Lighting Energy Consumption // *Energy and Buildings*. – 2012. – Vol. 46. – P. 152–58.
6. Bourgeois, D., Reinhart, C., Macdonald, I.A. Assessing the Total Energy Impact of Occupant Behavioural Response to Manual and Automated Lighting Systems // 9th Int. IBPSA Conf., Montreal, Canada, 2005. – P. 99–106.
7. Reinhart, C.F. Lightswitch-2002: A Model for Manual and Automated Control of Electric Lighting and Blinds A Versio // *Solar Energy*. – 2004. – Vol. 77. – P. 15–28.
8. Hunt, D.R.G. The Use of Artificial Lighting in Relation to Daylight Levels and Occupancy // *Building and Environment*. – 1979. – Vol. 14. – P. 21–33.
9. Pigg, S., Eilers, M., Reed, J. Behavioral Aspects of Lighting and Occupancy Sensors in Private Offices: A Case Study of a University Office Building // ACEEE1996 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 1996. – P. 161–70.
10. Love, J.A. Manual Switching Patterns in Private Offices // *Lighting Research & Technology*. – 1998. – Vol. 30. – P. 45–50.
11. Bourgeois, D., Reinhart, C., Macdonald, I. Adding advanced behavioural models in whole building energy simulation: A study on the total energy impact of manual and automated lighting control // *Energy and Buildings*. – 2006. – Vol. 38. – P. 814–823.
12. Hellinga, H. Daylight and View: The Influence of Windows on the Visual Quali-

ty of Indoor Spaces // Technische Universiteit Delft, 2013.

13. Gu, Y. The Impacts of Real-Time Knowledge Based Personal Lighting Control on Energy Consumption, User Satisfaction and Task Performance in Offices // Carnegie Mellon University, 2011.

14. PrEN15193-1, Energy performance of buildings; Energy requirements for lighting, 2007.

15. Toth, N., Little, L., Read, J.C., Fitton, D., Horton, M. Understanding Teen Attitudes towards Energy Consumption // Journal of Environmental Psychology. – 2013. – Vol. 34. – P. 36-44.

16. Thorndike, A.N., Sonnenberg, L., Riis, J., Barraclough, S., Levy, D.E. A 2-Phase Labeling and Choice Architecture Intervention to Improve Healthy Food and Beverage Choices // American Journal of Public Health. – 2012. – Vol. 102. – P. 527-33.



Арзу Чилазун Кундурачи (Arzu Cilasun Kunduraci),

Ph.D. Доцент Университета Яшар. Имеет 7-летний опыт преподавательской работы в области проекти-

рования архитектурной подсветки, архитектуры и проектирования систем искусственного климата



Тугче Казанмаз (Tuğçe Kazanmaz),

Ph.D. Профессор кафедры архитектуры Измирского технического института. Имеет 18-летний опыт преподавательской

работы в области архитектурной подсветки, физики зданий и энергоэффективного проектирования



Г. Дж. Труус Хордидж (G.J. Truus Hordijk),

Ph.D. Доцент архитектурного факультета Делфского технического университета. Имеет 31-летний опыт преподавательской работы в области физики зданий

Световое оформление стелы «Триумф Российского флота»

СПб ГУП «Ленсвет» завершило стройку оборудования архитектурно-художественного освещения нового монумента «Триумф Российского флота», установленного на Якорной площади в Кронштадте.

Для оформления светом мозаичного панно применены восемь узконаправленных прожекторов со светодиодами мощностью 135 Вт и 155 Вт, размещённых на четырех фигурных опорах наружного освещения вокруг стелы. Каждый прожектор «отвечает» за свою часть освещения, а вместе они создают единую световую композицию освещения стелы.

Памятный знак представляет собой мозаичное воспроизведение картины народного художника Василия Нестеренко «Триумф Российского флота». Стела декорирована бронзовыми элементами с морской военной геральдикой.

Напомним, что 10 мая 2018 г. под руководством вице-губернатора Санкт-Петербурга И.Н. Албина состо-



ялось совещание по вопросам изготовления и установки памятного знака «Триумф Российского флота» на Якорной площади в Кронштадте ко дню Военно-Морского Флота в 2018 г. По поручению И.Н. Албина СПб ГУП «Ленсвет» установило освещение памятного знака, эскиз которого одобрен Градостроительным советом при Правительстве Санкт-Петербурга.

lensvet.spb.ru/news/
24.07.2018

В Тимирязевской академии подтверждают эффективность облучателей со светодиодами

В сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева) изучают влияние передовых облучателей с СД на развитие разных культур. Этой весной местом исследования стала теплица микроклонального размножения картофеля на Полевой опытной станции.

Эксперимент начался в марте. Учёные поставили задачу сравнить, как развивается картофель (сорта «Снегирь», «Метеор», «Жуковский ранний») под воздействием традиционных облучателей с НЛВД и облучателей с СД «AtomSvet® BIO» производства российского завода «АтомСвет». Ещё до окончания эксперимента учёные отмечают превосходство оборудования с СД.

Михаил Маврин – представитель компании «АтомСвет Энергосервис» (эксклюзивного поставщика продукции завода «АтомСвет») – рассказал, что облучатели с СД для теплиц были опробованы в нескольких крупных хозяйствах по выращиванию картофеля и дали прирост урожая на 20 %. Приборы «AtomSvet® BIO», по его словам, имеют спектр видимого излучения, максимально приближенный к солнечному. При этом в серии есть мо-



дели с разным цветовым набором СД, что позволяет выбрать техники под разные сельскохозяйственные культуры.

Тимирязевцы успешно используют спектральные особенности облучателей в технологии микроклонального размножения. При этом результаты тестовых испытаний склоняют агрономов к внедрению передового облучательного оборудования.

Особый интерес вызывает экономичность облучателей с СД, ведь тепличные хозяйства отличаются высокой энергоёмкостью. При использовании системы ассимиляционного освещения «AtomSvet® Grower» с функцией автоматического управления экономическая эффективность становится ещё больше.

svetozone.ru
16.07.2018