Исследование предпочтений по освещённости и коррелированной цветовой температуре в офисном освещении светодиодами

Р.Р. БАНЬЯ 1, Э. ТЭТРИ, Л. ХАЛОНЕН

Университет Аалто, Эспоо, Финляндия

Аннотация

Для исследования предпочтительного сочетания освещённости Е и коррелированной цветовой температуры T_u , а также предпочитаемой разными этносами T_u в офисном освещении, в освещённом светильниками со светодиодами (СД) помещении офиса был проведён масштабный эксперимент. 53 наблюдателя из 3-х этнических групп (азиаты, европейцы и африканцы) оценивали девять режимов освещения после выполнения разных офисных работ. Сочетание Е 750 лк и T_{ν} 4000 К оказалось статистически самым предпочтительным в офисном освещении. Было также установлено, что ощущение яркости с повышением T_{u} растёт и что более высокие T_{u} людей стимулируют лучше. Европейская группа предпочла офисное освещение с T_u 4000 K, тогда как предпочтения азиатской и африканской групп составили 4000-5000 К и зависели от E.

Ключевые слова: освещённость, коррелированная цветовая температура, СД, освещение, освещение офисов.

1. Введение

Предпочтения в освещении обусловлены большим количеством реакций людей на свет, таких как ощущение комфорта, эстетичность восприятия и работоспособность [1]. Обеспечение предпочтительного офисного освещения оказывает положительное влияние на работников, приводя к повышению работоспособности, производительности труда, творческих возможностей и улучшению социального поведения [2-4]. Освещённость Е и коррелированная цветовая температура T_{u} – две важные характеристики света, которые следует учитывать при рассмотрении человеческого

E-mail: rupak.baniya@aalto.fi Перевод с англ. Е.И. Розовского зрительного восприятия [5]. Значения E в помещениях нормируются, а значения $T_{\it u}$ нет. В то же время $T_{\it u}$ – важная составляющая цветового облика пространства.

Евростандартом [6] рекомендуется для неспециализированных офисов Е 500 лк. Для определения предпочтительной Е офисов был проведён целый ряд исследований. В работах [7-9] сообщалось, что предпочтительная E выше рекомендуемого уровня, тогда как другие исследования [10-12] продемонстрировали предпочтительность значений Е в офисных помещениях ниже рекомендуемого. Так что литература даёт противоречивые сведения о предпочитаемых уровнях E в офисах. Исследования влияния T_u на разные стороны восприятия освещения говорят о том, что T_{u} влияет на зрительное впечатление от освещённого пространства, а также на физиологическую реакцию и субъективное настроение человека [2, 13-15]. Кроме того, предпочтения по T_u сильно зависят от культуры и географического местоположения [16].

Для исследования предпочтительного сочетания E и T_{y} в освещённом светодиодами (СД) офисном помещении был проведён полномасштабный эксперимент. Дополнительная цель этого исследования — выявление пред-

почитаемых разными этническими группами значений T_{y} . В исследованиях участвовало 53 наблюдателя из 3-х этнических групп (20 азиатов, 20 европейцев и 13 африканцев). Наблюдатели выполняли разные офисные работы при девяти режимах освещения и оценивали освещение помещения. Полученные результаты можно использовать в автоматизации офисного освещения для поддержания предпочтительных режимов.

2. Исследование реакции потребителей

2.1. Экспериментальная установка

Исследование реакции потребителей проводилось в офисном помещении, организованном в Университете Аалто. Его размеры: 3,51 м в ширину, 4,22 м в длину и 2,80 м в высоту. В помещении было три окна, которые выходили на запад. Для предотвращения попадания в помещение естественного света окна были закрыты светлосерыми непросвечивающими шторами. Потолок и стены помещения были белого, а пол – серого цвета. Измеренные коэффициенты отражения потолка, стен и пола были равны, соответственно, 0,89; 0,85 и 0,25. Помещение было оборудовано и меблировано так, чтобы сформировать рабочее пространство (рис. 1). Прямоугольный стол цвета светлого бука и канцелярский стул, обтянутый красной тканью, были помещены около окон. Поверхность стола находилась на высоте примерно 0,72 м от пола. На столе были размещены 17-дюймовый жидкокристаллический монитор, цветовая таблица компании Macbeth (MCC)

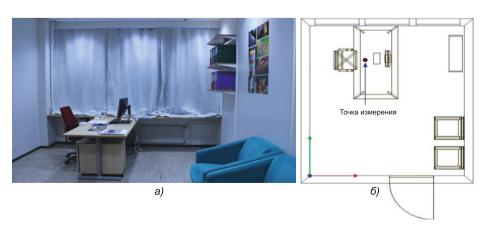


Рис. 1. Помещение для исследований: а – вид со стороны двери, б – план помещения

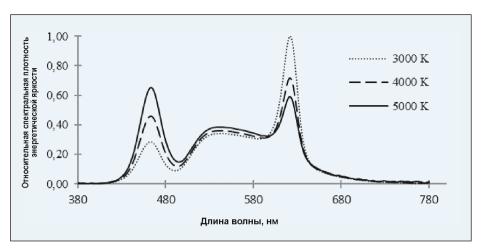


Рис. 2. Относительные спектральные распределения энергии излучения при трёх коррелированных цветовых температурах и освещённости 500 лк

	Очень неприятно О О О О О О О О О О О О О О О О О О О							
Очень тускло ОООООООООООООООООООООООООООООООООООО								
Очень некомфортно (зрительно)	0	Ο	О	О	О	0	О	Очень комфортно (зрительно)
Не стимулирует	0	О	О	0	О	0	О	Стимулирует
2) Для осуществления офисной деятельности свет в помещении: Слишком слабый О О О О О О О Слишком сильный								
) При этом освещении помещение	выг.	ляді	IT:					
Не просторным ООООО	0	О	О	Пр	осто	рны	М	
4) При этом освещении: а) рука выглядит: Очень неестественно О О О О О О О О О О О О О О О О О О								
Очень неестественно О О О О б) таблица цветов выглядит:	U		10	10	10	чспі	5 CC1	сственно
Очень неестественно О О О О О О О О Очень естественно								
5) Мебель и прочие объекты выглядят:								
Очень неестественно О О О О О О О О О Очень естественно								
6) В целом, для офисной деятельности я предпочёл бы это освещение:								

Рис. 3. Вопросник, который использовался в данном исследовании

и нужные в офисной работе материалы. Положения монитора и клавиатуры были неизменны, как и картинка на мониторе, на всём протяжении исследований. Кроме того, в помещении были ещё два одинаковых кресла в правом от двери углу, плакаты, книжная полка и картотека.

Для освещения помещения в нём были установлены девять круглых (27 Вт, Ø 200 мм) встроенных потолочных светильников с СД, объединённых в одну группу посредством цифрового интерфейса освещения с возможностью адресации (DALI). Этот интерфейс был подсоединён к компьютеру, на котором была установлена программа управления осве-

щением. Для изучения реакции пользователей были заранее сохранены девять режимов освещения, представляющих собой сочетания из трёх E (300, 500 и 750 лк) 2 и трёх T_{y} (3000, 4000 и 5000 К). E и T_{y} измерялись в точке, отмеченной на рис. 1, δ . Относительные спектральные распределения энергии излучения, соответствующие E 500 лк и трём T_{y} , приведены на рис. 2.

Общие индексы цветопередачи МКО R_a равнялись 93 (3000 K), 94 (4000 K) и 92 (5000 K) при всех трёх E, а значения Duv лежали в пределах \pm 0,0054. Равномерность E ($E_{\textit{мин}}/E_{\textit{сp}}$) измерялась с использованием сетки с ячейками 60×60 см (всего 42 узла) на высоте 0,72 м от пола (высота рабочего стола).

2.2. Метод

Всего в эксперименте участвовало 53 наблюдателя в возрасте от 23 до 53 лет (в среднем 29 лет, среднеквадратичное отклонение – 6 лет). Из 53 наблюдателей 20 относились к европейской, 20 - к азиатской и 13 - к африканской этническим группам. Перед началом экспериментов все наблюдатели были проверены на остроту зрения и цветовое зрение, и в экспериментах участвовали только те наблюдатели, которые имели нормальные остроту зрения (с очками или без очков) и цветовое зрение. Наблюдатели были или офисными работниками, или студентами, и никто из них не работал в области освещения.

Наблюдателю в случайном порядке демонстрировали девять выбранных режимов освещения. Освещение включалось до того, как наблюдатель входил в помещение. После входа в помещение наблюдателю предлагали посидеть одну минуту в кресле в углу помещения. В это время ему устно объясняли вопросы и шкалу оценки. Затем он садился за рабочий стол и проводил пять минут, выполняя задачи считывания, сравнения и набора на клавиатуре: для ознакомления с работами, которые выполняются в офисе. Задача считывания заключалась в прочтении параграфа, отпечатанного на белой бумаге формата A4 чёрным шрифтом «Times New Roman» размера 12 с междустрочным интервалом 1,5. Задача сравнения заключалась в сравнении двух столбцов листа Excel, содержащих случайные сочетания из пяти букв и цифр, и определении того, в одном ли порядке эти сочетания расположены в столбцах, а задача набора на клавиатуре - в печатании предложенного параграфа в течение одной минуты. После выполнения этого задания наблюдателя просили заполнить вопросник и написать в свободной форме свои комментарии по поводу режимов освещения в помещении (рис. 3).

² Евростандарт на внутреннее освещение [6] рекомендует для установления расхождений в зрительном восприятии использовать значения E, различающиеся в 1,5 раза.

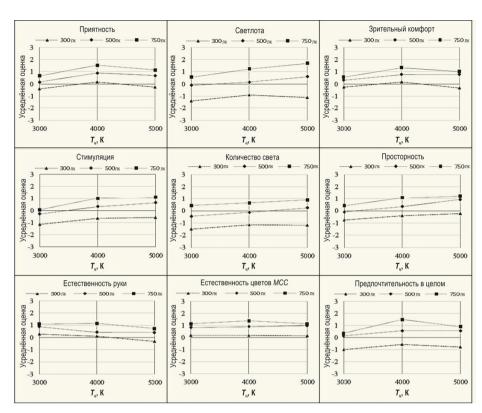
Вопросник был составлен таким образом, чтобы исследовать разные характеристики офисного освещения: приятность, яркость, зрительную комфортность, стимулирующее действие, количество света, воспринимаемую просторность помещения, естественность цветов и предпочтительность в целом. При этом использовались семибалльные шкалы, правые края которых обозначались терминами, соответствующими наиболее, а левые края – наименее благоприятному восприятию. После ответа на все вопросы наблюдателя просили выйти из помещения и подождать в коридоре в течение одной минуты. Окон в коридоре не было, так что условия освещения зоны ожидания оставались неизменными независимо от режимов освещения вне здания. Экспериментатор менял режим освещения в помещении на новый и приглашал наблюдателя снова войти в него по истечении упомянутой минуты ожидания. Этот процесс повторялся до тех пор, пока все девять режимов освещения не были продемонстрированы наблюдателю.

3. Результаты

Ответы на вопросы преобразовывались в оценки по семибалльной шкале между -3 и 3. Усреднённые оценки, соответствующие разным вопросам, приведены на рис. 4, а на рис. 5 приведены усреднённые оценки T_{η} наблюдателями из трёх этнических групп в плане естественности вида руки и общей предпочтительности при E 300, 500 и 750 лк.

3.1. Статистический анализ

Для определения статистической значимости оценок, произведённых наблюдателями при ответах на конкретные вопросы проводился дисперсионный анализ (ANOVA) при уровне значимости p = 0.05. При этом, если проставленные в ответах на вопросы усреднённые оценки значительно отличались друг от друга, то для определения того, какой режим освещения и какую T_u наблюдатели предпочитают, проводился апостериорный анализ с использованием критерия Дункана. Сводка результатов статистического анализа предпочтений, проведённого касательно девяти режимов освещения, Т_и при Е 300, 500 и 750



Puc. 4. Усреднённые ответы (оценки) наблюдателей на конкретные вопросы при разных режимах освещения

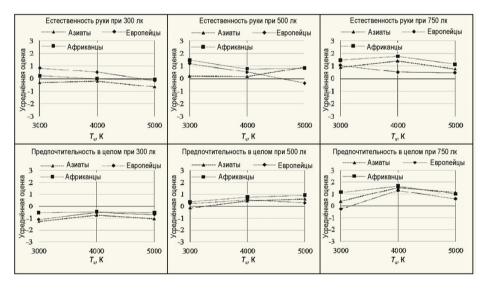


Рис. 5. Усреднённые оценки наблюдателей из трёх этнических групп (азиаты, европейцы и африканцы) предпочтительности трёх коррелированных цветовых температур $T_{\rm q}$ по естественности вида руки и общей предпочтительности освещения

лк и T_{μ} для трёх этногрупп (азиаты, европейцы и африканцы) при E 300, 500 и 750 лк, приведена в табл. 1, 2 и 3 соответственно.

4. Обсуждение

Из всех режимов освещения сочетание E 750 лк и T_{u} 4000 К получило наивысшую усреднённую оценку наблюдателей по приятности осве-

щённого пространства, зрительного комфорта, естественности вида руки наблюдателя, естественности цветов MCC и естественности вида мебели. К тому же, по предпочтительности освещённого пространства сочетание E 750 лк и T_{η} 4000 К получило наивысшую по сравнению с другими статистически значимую оценку наблюдателей. Наивысшую по сравнению с другими сочетаниями E и T_{η} оценку

Таблииа 1

Сводка результатов статистического анализа предпочтений наблюдателей применительно к девяти режимам освещения

Е	Вопрос	Предпочтительные условия освещения			
Приятность		750 лк, 4000 К			
Яркость		750 лк, 5000 К			
Зрительный комфорт		750 лк, 4000 К			
Стимуляция		750 лк, 5000 К			
Количество света		750 лк, 5000 К			
Просторность		750 лк, 5000 К			
Естественность	руки	750 лк, 4000 К			
	цветов МСС	750 лк, 4000 К			
	мебели	750 лк, 4000 К			
Предпочтительность в целом		750 лк, 4000 К			

Не выделенные жирным шрифтом условия освещения относятся к группе с наивысшими средними оценками по критерию Дункана и получили наивысшие средние оценки по сравнению с прочими входящими в эту группу условиями освещения.

Выделенные жирным шрифтом условия освещения получили наивысшую среди всех вариантов статистически значимую среднюю оценку.

по яркости, стимуляции, количеству света и просторности получило сочетание 750 лк и 5000 К. Следует также отметить, что хотя сочетанию 750 лк и 3000 К соответствует более высокий уровень E по сравнению с сочетаниями 500 лк и 4000 или 5000 К, усреднённые оценки наблюдателей по приятности, зрительному комфорту, яркости, стимуляции, просторности и предпочтительности у этого сочетания были ниже. А это значит, что на предпочтения наблюдателей в части освещения офисного помещения влияет не только E, но и T_u , и для улучшения зрительного впечатления

от офисного помещения правильное сочетание E и T_u важнее только повышенной E.

Хотя статистически значимого различия в оценках наблюдателей по приятности освещения при Е 300 лк и не было, наблюдатели в среднем оценили освещённое пространство при T_{u} 4000 К как приятное, а при T_{u} 3000 и 5000 К – как неприятное. Проводившиеся в кабинке исследования освещения СД-панелями [13] показали, что при Е 300 лк освещённое пространство при T_u 4000 К оценивалось как более приятное, чем при 2700 и 6500 К. При Е 500 и 750 лк усреднённая оценка наблюдателей по приятности освещения при T_u 4000 К была статистически значимо выше, чем при 3000 К. При других проводившихся в кабинке исследованиях освещения СД-панелями [17] были получены аналогичные результаты, согласно которым при Е 500 лк освещённое пространство при T_u 3728 К оценивалось как более приятное, чем при 2855 К. В отличие от этого, в [13] было установлено, что при 600 лк освещённое пространство при 2700 К оценивалось как более приятное, чем при 4000 К. Следует отметить, что наше исследование, возможно, не полностью сопоставимо с исследованиями [13] и [17], так как последние проводились в освещённой

Таблица 2 Сводка результатов статистического анализа предпочтений наблюдателей применительно к Ти при Е 300, 500 и 750 лк

Bot	300 лк	500 лк	750 лк	
Приятность	4000 K	4000 K	4000 K	
Яркость	4000 K	5000 K*	5000 K*	
Зрительный комфорт		4000 K	4000 К и 5000 К	4000 K
Стимуляция	5000 K	5000 K	5000 K	
Количество света		4000 K	4000 K 5000 K *	
Просторность		5000 K	5000 K*	5000 K
	руки	3000 K	3000 K	4000 K
Естественность	цветов МСС	3000 K	5000 K	4000 K
	мебели	4000 К и 5000 К	4000 K	4000 K
Предпочтительность в целом		4000 K	4000К и 5000 К	4000 K*

Не выделенные жирным шрифтом значения T_u получили наивысшие оценки при ответах на соответствующий вопрос при указанном уровне E, однако расхождения оценок наблюдателей не были статистически значимыми.

Выделенные жирным шрифтом значения Ти относятся к группе с наивысшими средними оценками по критерию Дункана и при указанном уровне E получили наивысшие для соответствующей группы средние оценки. Выделенные жирным шрифтом значения T_{μ}^{*} получили наивысшую среди всех T_{μ} статистически значимую среднюю оценку.

Сводка результатов статистического анализа предпочтений по T_u наблюдателей из трёх этнических групп

Уровень освещённости E	Этническая группа	Приятность	Яркость	Зрительный комфорт	Естественность руки	Предпочтительность в целом
	Азиаты	4000 и 5000 К	4000 K	4000 K	3000 K	4000 K
300 лк	Европейцы	4000 K	4000 K	4000 K	3000 K	4000 K
	Африканцы	4000 K	4000 K	4000 K	3000 K	4000 K
500 лк	Азиаты	5000 K	5000 K	5000 K	5000 K	5000 K
	Европейцы	4000 K	4000 K	4000 K	3000 K	4000 K
	Африканцы	5000 K	5000 K	5000 K	3000 K	5000 K
750 лк	Азиаты	5000 K	5000 K	4000 K	4000 K	4000 K
	Европейцы	4000 K	5000 K	4000 K	3000 K	4000 K
	Африканцы	4000 K	5000 K	4000 K	4000 K	4000 K

Не выделенные жирным шрифтом значения T_{ij} получили наивысшие оценки при ответах на соответствующий вопрос при указанном уровне E, однако расхождения оценок наблюдателей не были статистически значимыми.

Выделенные жирным шрифтом значения T_{ij} относятся к группе с наивысшими средними оценками по критерию Дункана и при указанном уровне E получили наивысшие для соответствующей группы средние оценки.

кабинке. По мнению авторов вышеуказанной работы [13], причина наибольшей оценки по приятности при наименьшей из рассматривавшихся ими T_{η} заключалась в ограниченности освещённого поля зрения в кабинке при больших размерах тёмного окружающего пространства.

При E 500 и 750 лк статистически значимая усреднённая оценка воспринимаемой яркости была наивысшей при T_u 5000 К. Это подтверждает полученные ранее результаты [18-20], согласно которым с ростом T_u росла и воспринимаемая наблюдателями яркость. Усреднённая оценка наблюдателями воспринимаемой просторности помещения также была наивысшей при T_u 5000 К при всех трёх Е. Причина, по которой усреднённая оценка наблюдателями воспринимаемой просторности помещения оказалась наивысшей при T_u 5000 K, может быть обусловлена тем обстоятельством, что увеличение яркости усиливает ощущение просторности [21]. То, что при Е 500 лк усреднённая оценка наблюдателей по количеству света говорит о его недостаточности для работы в офисе при $T_{\it u}$ 3000 и 4000 К и достаточности при $T_{\it u}$ 5000 К, также связано с тем, что воспринимаемая яркость при 5000 К выше, чем при 3000 и 4000 К. Статистически значимая усреднённая оценка по стимулирующему действию при T_u 5000 К была существенно выше, чем при T_u 3000 K, при всех уровнях E. Причина того, что усреднённая оценка по стимулирующему действию оказалась высшей при T_u 5000 K, может заключаться в повышении умственной активности, наблюдаемой при повышении T_u [22]. Было установлено, что статистически значимая усреднённая оценка наблюдателями зрительного комфорта при E 300 и 500 лк при T_u 4000 К была выше, чем при T_u 3000 K, а при E 750 лк она при T_u 4000 К была выше, чем при T_u 3000 К. Это подтверждает полученные ранее результаты [15], согласно которым при 600 лк усреднённая оценка наблюдателями комфорта при T_u 4000 К была выше, чем при 3000 К. Хотя между сделанными наблюдателями оценками и не было статистически значимых расхождений, при E 300 и 500 лк кожа руки наблюдателя выглядела естественней при T_u 3000 К, а при E 750 лк – при T_u 4000 К. При E 300 лк цвет мебели выглядел при T_u 4000 и 5000 К естественней, чем при T_u 3000 К, а при E 500 и 750 лк он наиболее естественно выглядел при T_u 4000 К.

Статистический анализ значений T_{ij} , предпочитаемых по приятности света разными этногруппами, показал, что при E 750 лк оценка освещаемого пространства европейцами при 4000 К была существенно выше, чем при 3000 К, а при E 500 лк оцен-

ка освещаемого пространства азиатами при T_u 5000 К была существенно выше, чем при T_u 3000 К. В целом полученные результаты показали, что наблюдатели из Европы при T_{ν} 4000 К сочли освещаемое пространство более приятным, чем при 3000 и 5000 К, а наблюдатели из Азии сочли это приятней при T_u 5000 K, чем при 3000 или 4000 К. При Е 300 и 750 лк проведённые всеми тремя этногруппами оценки по зрительному комфорту, равно как и их предпочтения в целом, были наивысшими при T_u 4000 К. Однако при E 500 лк наблюдатели из Азии и Африки наиболее высоко оценивали зрительный комфорт и предпочтительность в целом при T_u 5000 K, а европейцы — при 4000 К. По естественности вида своей руки европейские наблюдатели предпочли T_u 3000 K при всех трёх уровнях E, что согласуется с данными [23], о том, что для ощущения естественности кожи руки европейца КЛЛ с T_u 3000 К предпочтительнее, чем с T_u 4000 или 5000 К. Было также установлено, что восприятие яркости всеми тремя этническими группами с ростом T_u усиливалось. Полученные результаты показали, что по приятности, зрительному комфорту и предпочтительности в целом европейцы выбрали офисное освещение с T_u 4000 К. Причём и азиаты, и африканцы предпочли офисное освеще-

ние с $T_u > 3000$ K, в зависимости от E выбирая то 4000, то 5000 K.

5. Заключение

Настоящее исследование показало, что сочетание E 750 лк и T_{η} 4000 К статистически наиболее подходит для офисного освещения. Имелись признаки того, что на предпочтения наблюдателей влияет не только E, но и T_{η} , и для улучшения зрительного впечатления от офисного помещения правильное сочетание E и T_{η} важнее только повышенной E. Было также установлено, что восприятие яркости с ростом T_{η} усиливается, усиливая ощущение просторности офисного помещения и стимуляцию.

Исследования предпочтения разными этногруппами T_{η} показали, что ни одна из них не предпочла для офисного освещения T_{η} 3000 K, если не считать при этом оценки естественности вида кожи руки. Кроме того, исследования показали, что по приятности, зрительному комфорту и предпочтительности в целом европейцы выбрали офисное освещение с T_{η} 4000 K. Однако и азиаты, и африканцы предпочли офисное освещение с $T_{\eta} > 3000$ K, в зависимости от E выбирая то 4000, то 5000 K.

Полученные результаты будут полезны при выборе предпочтительных для офисного освещения значений E и T_{η} , указывая на то, что люди в среднем предпочитают более высокие, чем нормируемые действующими стандартами на внутреннее освещение уровни E и что в офисном освещении они предпочитают T_{η} 4000 K.

Данное исследование проводилось в рамках программы «RYM Indoor Environment research program», финансируемой Финским агентством по финансированию технологий и инноваций (TEKES), Университетом Аалто и несколькими финскими компаниями. Более полную информацию об этой программе можно найти на сайте http://rym.fi/program/indoor-environment/.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Butler, D.L, Biner, P.M.* Preferred Lighting Levels: Variability among Settings, Behaviours, and Individuals // Environment and Behavior. 1987. Vol. 19. P. 695–721.
- 2. *Manav, B.* An experimental study on the appraisal of the visual environment at offices in

- relation to colour temperature and illuminance // Building and Environment. 2007. Vol. 42, No. 2. P. 979–983.
- 3. *Veitch, J.A, Newsham, G.R.* Preferred luminious conditions in open-plan offices: Research and practice recommendations// Lighting Research and Technology. 2000. Vol. 32, No. 4. P. 199–212.
- 4. 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.
- 5. Barkmann, C, Wessolowski, N, Schulte-Markwort. Applicability and efficacy of variable light in schools // Physiology & Behavior. 2012. Vol. 105, No. 3. P. 621–627.
- 6. European standard (EN12464–1) Light and lighting Lighting of work places Part 1: Indoor work places. Brussels, Belgium, 14 April 2011.
- 7. Begemann, S.H.A, van den Beld, G.J, Tenner, A.D. Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses // International Journal of Industrial Ergonomics. 1997. Vol. 20, No. 3. P. 231–239.
- 8. Leslie, R.P, Hartleb, S.B. Human response and variability in the luminious environment / Proc. of the CIBSE National Lighting Conference, Cambridge, England, 1990.
- 9. *Saunders, J.* The role of the level and diversity of horizontal illumination in an appraisal of a simple office task // Lighting Research and Technology. 1969. No. 1. P. 37–46.
- 10. *Moore, T., Carter, D.J., Slater, A.I.* Longterm patterns of use of occupant controlled office lighting // Lighting Research and Technology. 2003. Vol. 35, No. 1. P. 43–59.
- 11. *Moore, T., Carter, D.J., Slater, A.I.* A field study of occupant controlled lighting in offices // Lighting Research and Technology. 2002. Vol. 34, No. 3. P. 191–205.
- 12. *Slater, A.* Lighting controls in offices: How to improve occupant comfort and energy efficiency /Proc. of CIBSE National Lighting Conference, Bath, England, 1996
- 13. Viènot, F., Durand, M.L., Mahler, E. Kruithof rule revisited using LED illumination // Journal of Modern Optics. 2009. Vol. 56, No. 13. P. 1433–1446.
- 14. Park, B.C., Chang, J.H., Kim, Y.S., Jeong, J.W., Choi, A.S. A study on the subjective response for correlated colour temperature conditions in a specific space // Indoor and Build Environment. 2010. Vol. 19, No. 6. P. 623–637.
- 15. Lin, R.F., Chou, C., Wang, Y.T., Tu, H.W. Effects of LED colour temperature on office workers / Proc. of the 2nd Southeast Asian Network of Ergonomics Societies Conference, Langkawi, Malaysia, July 9–12, 2012.
- 16. Commission Internationale de L'Eclairage. Review of lighting Quality Measures for

- Interior Lighting with LED Lighting System. CIE Technical Report 205, Vienna, Austria: CIE, 2013.
- 17. Dikel, E.E., Burns, G.J., Veitch, J.A., Mancini, S., Newsham, G.R. Preferred Chromaticity of Colour-Tunable LED Lighting // Leukos. 2014. Vol. 10, No. 2. P. 101–115.
- 18. *Ju, J., Chen, D., Lin, Y.* Effects of Correlated colour Temperature on spatial Brightness perception // Colour Research & Application. 2012. Vol. 37, No. 6. P. 450–454.
- 19. *Harrington, R.E.* Effect of colour temperature on apparent brightness // Journal of the Optical Society of America. 1954. Vol. 44, No. 2. P. 113–116.
- 20. Akashi, Y., Boyce, P.R. A field study of illuminance reduction // Energy and Building. 2006. Vol. 38. P. 588–599.
- 21. *Rea, M.S.* The IESNA lighting handbook: reference & application. 9th Edition, New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2000.
- 22. *Deguchi, T., Sato, M.* The effect of colour temperature of lighting sources on mental activity level // Ann Physiol Anthropol. 1992. Vol. 11, No. 1. P. 37–43.
- 23. *Quellman, E.M., Boyce, P.R.* The Light Source Colour Preference of people of Different Skin Tones // Journal of the Illuminating Engineering Society. 2002. Vol. 31, No. 1. P. 109–118.



Рупак Рэй Банья (Rupak Raj Baniya), М. Sc. Докторант (Ph. D.) Светотехнического блока Университета Аалто



Эйно Тэтри (Eino Tetri), D.Sc. Окончил в 2001 г. Хельсинкский технический университет. Руководитель группы по источникам света и энергоэффективным системам освещения

Светотехнического блока Университета Аалто



Лииза Халонен (Liisa Halonen), Dr. Sc. (1993 г.), проф. Руководитель Светотехнического блока Университета Аалто