

Оценка соответствия административного здания требованиям программы LEED¹

И. БАКИР КЮЧУККАЯ¹, У. АЛАКАВУК²

¹ Измирский экономический университет, Измир, Турция. E-mail: idilbakr@hotmail.com

² Университет Яшар, Измир, Турция. E-mail: ebru.alakavuk@yasar.edu.tr

Аннотация

Прогресс в промышленности и технике, начало которому было положено промышленной революцией, привёл к ухудшению экологического равновесия и истощению природных ресурсов. Экологичность, обеспечение которой изначально рассматривалось как решение этой проблемы, стала важной составляющей внутренней архитектуры зданий, учитываемой при их проектировании. Осветительные установки офисов, которые можно считать дополнительными жилыми помещениями, также следует оценивать с точки зрения их экологичности.

В данной работе экономия и перерасход энергии в установках искусственного освещения офиса были оценены в соответствии со стандартом *ASHRAE/IES Standard 90.1–2007* [1]², требования которого входят в критерии оценки освещения программы сертификации *LEED*³. Мощность, потребляемая установками искусственного освещения, измерялась во время работы этих установок. Результаты измерений сравнивались с нормами энергопотребления, что позволило определить размеры экономии или перерасхода энергии. Освещение офиса было оценено на соответствие требованиям *LEED*.

Ключевые слова: офис, освещение, экологичность, энергоэффективность, *LEED*.

1. Введение

Естественное освещение, источником которого является солнце, проектируется таким образом, чтобы оно удовлетворяло требованиям по обеспечению зрительного комфорта.

Некоторые источники света генерируют свет сами. Их называют естест-

венными источниками света, к которым относятся солнце, звёзды, светлячки, молнии, гнилушки и некоторые виды глубоководных рыб [2].

Основной особенностью естественного освещения является его изменчивость. Цвет естественного света изменяется в зависимости от времени суток, чистоты атмосферы и отражения от окружающих объектов. Интенсивность солнечного света изменяется в зависимости от времени суток, дня года и широты места. Яркость неба зависит от состояния неба, которое может быть пасмурным или чистым. В последнем случае результирующая яркость неба может быть обусловлена одним только небом или небом и прямым солнечным светом [3].

Прямой солнечный свет, если его не экранировать, обычно является неподходящим для внутреннего освещения источником света. Это же относится и к светильникам, конструкция которых должна исключать появление блёскости. Необходимо обеспечить контроль прямого солнечного света, поступающего внутрь зданий, что аналогично тому, что при конструировании светильников следует стремиться к уменьшению блёскости [3].

Веками естественное освещение играло важную роль при проектировании зданий. В результате технического прогресса для целей освещения начали использовать электроэнергию, что получило широкое распространение. Благодаря этому архитекторы получили свободу проектирования, хотя и с учётом необходимости бережного расходования энергоресурсов. Поэтому эффективное использование солнечного света и выработка решений, призванных уменьшить расход электроэнергии, стали наиболее важны-

ми проблемами современной архитектуры [4].

Важным для охраны окружающей среды решением стало освещение светодиодами (СД), которое используется для увеличения энергоэффективности.

СД – это источники света, в основе работы которых лежит электролюминесценция, и они очень похожи на обычные полупроводниковые диоды. Свет генерируется в обеднённом слое в результате рекомбинации электронов и дырок, и его спектр зависит от состава полупроводникового материала. Через несколько лет после создания цветных СД появились ещё и белые СД. Белое излучение генерируется не непосредственно СД, а возникает в результате преобразования излучения синего СД покрывающим его люминофором [5].

Требования экологичности довольно поздно проникли из области проектирования в область внутренней архитектуры зданий. Освещение является самым важным объектом при проектировании внутренней архитектуры зданий. Если естественное освещение используется в полном объёме и должным образом при одновременном максимальном сокращении использования искусственного освещения, то это способствует уменьшению как энергопотребления и связанных с выработкой электроэнергии выбросов CO_2 , так и светового загрязнения. В данной статье показано, что при правильном применении критериев экологичности осветительных установок можно решить многие экономические, социальные и экологические проблемы.

Экологичное проектирование – очень интересная область архитектуры и градостроительства, которая является для них одним из основополагающих моментов. И есть веские причины, чтобы считать «зелёные» или экологичные здания ещё и «высокоэффективными зданиями»: они не только позволяют сократить текущие расходы, но и могут способствовать увеличению производительности труда и улучшению самочувствия живущих и работающих в них людей в результате улучшения качества освещения и воздуха. Если офисные здания проектируют или ремонтируют с учётом требований экологичности, то это положительно сказывается на производительности труда в части улучшения его качества, а уменьшенные количества прогулов может до-

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

² В настоящее время уже действует новая редакция этого стандарта – *ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1–2016*. – Прим. пер.

³ *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design* – Лидерство в энергоэкономичном и экологичном проектировании) – программа по сертификации «зелёных» зданий, которая используется во всём мире. – Прим. пер.

полнить уменьшение счетов за электроэнергию [6].

В данной работе проведена оценка использования искусственного освещения в офисном здании в соответствии с критериями программы сертификации *LEED*. В качестве объекта исследования был выбран офис компании *Denge* в г. Измире, который был спроектирован архитектурной компанией *MATT*. Экономия или перерасход энергии офисными установками искусственного освещения были сначала рассчитаны, а затем разделены по секциям и типам в соответствии со стандартом [1], требования которого входят в критерии оценки освещения программы сертификации *LEED*.

1.1. Программа *LEED* и освещение

Связанные с глобальным потеплением экологические проблемы увеличивают значимость поиска путей уменьшения выбросов углекислого газа. Результаты различных исследований говорят о том, что здания ответственны за примерно 40 % мирового выброса CO_2 . Поэтому во всём мире принимаются программы сертификации «зелёных» зданий, призванные уменьшить связанные со зданиями выбросы CO_2 и отрицательно влияющие на окружающую среду [7].

Программа *LEED* (*Leadership in Energy and Environmental Design* – Лидерство в энергоэкономичном и экологичном проектировании) была разработана Советом по экологичному строительству США и является самой известной системой оценки коммерческих зданий. *LEED* включает в себя несколько категорий оценки, применимых к разным моментам жизненного цикла зданий [8].

В рамках этой программы для обеспечения выполнения требований к искусственной окружающей среде здание классифицируют в соответствии с его типом, и для целей сертификации были предложены 9 типов зданий: новые здания, существующие здания, коммерческие здания, здания без отделки, школы, торговые помещения, здания системы здраво-

охранения (*health buildings*), жилые дома и центры градостроительства (*urban development center*). Информация, требующаяся для сертификации здания, зависит от системы сертификации и типа здания, и для всех параметров задаются определённые значения [9].

В версии 4 *LEED* [10] предусмотрены четыре категории оценки освещения:

- Уменьшение светового загрязнения.
- Оптимизация энергоэффективности.
- Внутреннее освещение.
- Прогрессивные методы измерения энергопотребления.

1.1.1. Уменьшение светового загрязнения

В проекте освещения следует избегать как попадания света наружных светильников на соседнюю территорию, так и образования свечения неба при работе светильников, расположенных как внутри, так и вне здания [11].

В *LEED2009*⁴ критерии оценки попадания света на соседнюю территорию включали выраженные в фут-свечах максимальные значения горизонтальной и вертикальной освещённости, которые зависели от световой зоны, без подробных пояснений того, как эти данные следует регистрировать. Кроме того, к горизонтальной освещённости предъявлялось требование, чтобы она была меньше чем 0,1 фут-свечи (1,08 лк), а это означает, что в случае высокоэнергетической установки, создающей освещение, близкое к границе допустимого программой *LEED*, это требование почти невозможно удовлетворить, даже если внутреннее освещение будет очень хорошим и благоприятным для ночного неба. В версии 4 *LEED* [10] содержится только требование к вертикальной освещённости с указаниями относительно того, как строить расчётные сетки; кроме того, эти требования можно удовлетворить, используя осветительные приборы подходящего класса по *BUG*⁵ [12].

1.1.2. Оптимизация энергоэффективности

Этот критерий должен обеспечить более хорошую, чем предусмотренная стандартами, энергоэффективность в целях уменьшения отрицательных экологических и экономических последствий избыточного расходования электроэнергии [10].

Требования к административным зданиям (от маленьких до средних) соответствуют рекомендациям по 50-процентной экономии энергии в подобных зданиях, которые были разработаны Американской Ассоциацией инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха (*ASRAE50 % advanced energy design guide*). Этот критерий охватывает [10]:

- Непрозрачные конструктивные элементы здания: крыши, стены, полы, перекрытия, двери и препятствия для потоков воздуха (*continuous air barrier*) (1 балл).
- Прозрачные конструктивные элементы здания: вертикальные оконные проёмы (1 балл).
- Внутреннее освещение, включая естественное освещение и внутреннюю отделку здания (1 балл).
- Наружное освещение (1 балл).
- Подключённые к сети электрические приборы, включая оборудование и устройства управления (1 балл).

1.2.3. Внутреннее освещение

Этот критерий включает в себя использовавшийся ранее критерий «Управляемость систем – освещение» (*IEQ 6.1*), дополненный требованием, чтобы помещения были оборудованы двухуровневыми выключателями (*bi-level switching*) [12].

1.2.4. Прогрессивные методы измерения энергопотребления

Этот критерий предназначен для содействия управлению энергопотреблением и выявления возможностей для дополнительной экономии энергии за счёт отслеживания потребления энергии на уровне здания в целом и отдельных систем в частности. Требование состоит в том, чтобы реализовать прогрессивные методы измерения энергии применительно к [10]:

- Источникам энергии, используемой во всём здании в целом.

⁴ Этот документ в списке литературы отсутствует. – Прим. пер.

⁵ *BUG* (*Backlight, Uplight, and Glare* – свет в заднюю полусферу, свет в верхнюю полусферу и блёскость) – показатель, разработанный Северо-американским светотехническим обществом и Ассоциацией тёмного неба для оценки света, распространяющегося в нежелательных направлениях от светильников наружного освещения. – Прим. пер.



Рис. 1. Помещения офиса компании *Denge* (фотоархив Идил Бакир, 2015 г.)

- Любым индивидуальным конечным потребителям энергии, расходуящим 10 или более процентов от общего годового потребления энергии в здании.

2. Оценка административного здания: офис компании *Denge* в г. Измире

Denge – это сертифицированная консультационная компания, расположенная в г. Измире на 13-м этаже здания *Punta Residence*. Планировка рабочих зон должна была обеспечить комфорт и хорошие условия работы для 35 человек.

Этот офис включает в себя кабинеты, офисы с открытой планировкой, конференц-зал, кухню, туалеты, приёмную, коридоры, кладовую и техническое помещение. Для этих помещений и были спроектированы осветительные установки.

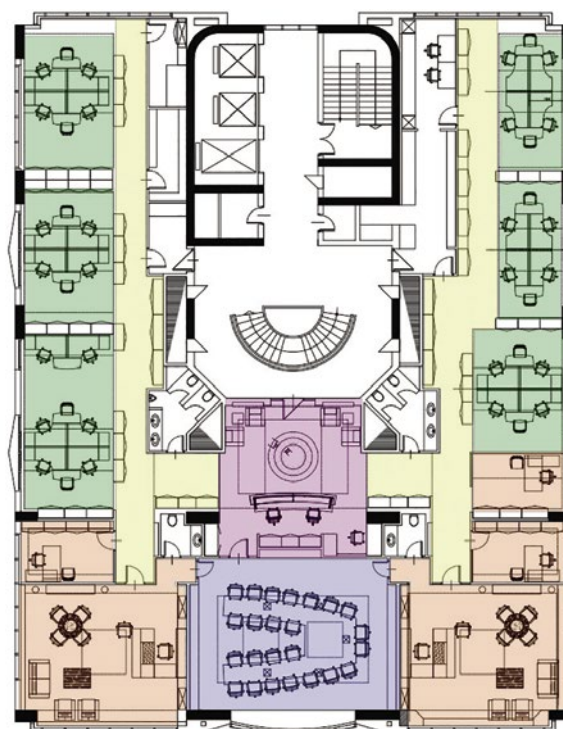
Естественное и искусственное освещение офиса компании *Denge* проектировались одновременно. Местоположение здания очень способствует использованию естественного освещения (рис. 1). Для искусственного освещения из эстетических соображений использовались концентрирующие свет («точечные») светильники типа *spotlight* (далее - точечные светильники). В качестве источников света в них использовались светодиоды, что позволило уменьшить затраты энергии на освещение. Эти светильники располагались над каждым из ра-

ботников, что обеспечивало комфортные условия для работы и исключало блёккость. В коридорах, приёмной и кабинетах использовались подсвечивающие картины настенные светильники, которые не только обеспечивали хорошее эстетическое восприятие, но и освещали коридоры [13].

Помещения, для которых рассчитывались освещение и энергопотребление, показаны на плане офиса (рис. 2).

Схема освещения офиса компании *Denge* приведена на рис. 3. Перед каждым из столов открытого офиса находится подвесной потолок (*drop ceiling*), в котором размещён точечный светильник. Миниатюрные точечные светильники с СД расположены также и над стенными шкафами. В кабинетах использовались светильники шести типов. Это круглые и квадратные точечные светильники, настенные (освещающие картины) светильники, потолочные светильники двух типов и ленточные светильники с СД. Над рабочим столом расположены точечный и потолочный светильники. В ложном потолке расположены скрытые источники света – ленточные светильники с СД. Ещё один потолочный светильник расположен над столом для заседаний и над кофейным столиком. В конференц-зале используется большое количество точечных светильников. Он имеет подвесной потолок, в котором расположены скрытые источники света. Местоположения светильников соответствуют расположению стульев

Рис. 2. План офиса компании *Denge*



- Открытый офис
- Кабинет
- Приёмная
- Коридор
- Конференц-зал

Осветительная установка офиса компании *Denge*

	Светильник	Номинальные размеры см	Источник света	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Напряжение, В	Номинальный ресурс, ч
Освещение открытых офисов	<i>NASSA Led Spotlight</i>	19,5 (радиус)	СД	18	2000	85–265	50000
	<i>NASSA Led Spotlight</i>	15,5 (радиус)	СД	20	2000	86–265	50000
Освещение кабинетов	<i>NASSA Led Spotlight</i>	13x13x8	СД	20	2000	85–265	50000
	<i>NASSA Led Spotlight</i>	15,5 (радиус)	СД	20	2000	86–265	50000
	<i>NASSA Jupiter Ceiling lighting</i>	35x35x37	Лампа Energy Smart Bulb	40	475	220–240	8000
	<i>PHILIPS</i>	206x117x5	ЛЛ	28	2900	230	24000
	<i>NASSA Wall Fixture</i>	53x52x29	4xE4	2x20	2000	230	24000
	<i>NASSA Band LED Lighting</i>	16 м	3x300 СД	14,4 (1 м)	475	12	24000
Освещение конференц-зала	<i>NASSA Led Spotlight</i>	19,5 (радиус)	СД	18	2000	85–265	50000
	<i>NASSA Led Spotlight</i>	15,5 (радиус)	СД	20	2000	86–265	50000
	<i>NASSA Band LED Lighting</i>	16 м	3x300 СД	14,4 (1 м)	475	12	24000
Освещение приёмной	<i>NASSA POWER LED</i>	Радиус 5	СД	1	130–150	3–4	10000
	<i>NASSA LED SPOTLIGHT</i>	15,5 (радиус)	СД	20	2000	86–265	50000
	<i>NASSA Jupiter Ceiling lighting</i>	35x35x37	Лампа Energy Smart Bulb	40	475	220–240	8000
	<i>NASSA Wall Lighting</i>	10x10x18	ГЛН	20	320	12	2000
	<i>NASSA Spotlight</i>	6x6x8	СД	20	2000	86–265	50000
	<i>NASSA Band LED Lighting</i>	16 м	3x300 СД	14,4 (1 м)	475	12	24000
Освещение коридоров	<i>NASSA Wall Fixture</i>	53x52x29	4xE4	2x20	2000	230	24000
	<i>NASSA Led Spotlight</i>	15,5 (радиус)	СД	20	2000	86–265	50000
	<i>NASSA Wall Fixture</i>	10x10x18	ГЛН	20	320	12	2000

и столов. В приёмной офиса компании *Denge* имеется подвесной потолок с 18-ю мощными СД (1 Вт) и скрытыми источниками света. Над столами приёмной расположены потолочные и настенные светильники. По бокам от двери расположены две ниши

с точечными светильниками. Во всех коридорах используются светильники с СД. Там также используются настенные светильники и подвесной потолок со скрытыми источниками света. Над шкафами расположены точечные светильники (табл. 1).

Суммарные значения мощности, расходуемой на освещение в каждом из помещений, делили на площади. Как следует из табл. 2, для открытых офисов 1, 2, 3, 4, 5 и 6 экономия расходуемой на освещение энергии составила, соответственно, 68, 31, 41,

Анализ потребления энергии в открытых офисах и кабинетах компании *Denge*

Помещение	Площадь, м ²	% от общей площади	Требования стандарта [1]		Подводимая мощность, Вт	Экономия/перерасход, %
			Вт/м ²	Вт		
Кабинет № 1	49	6	12	588	933	-59
Кабинет № 2	49	6	12	588	933	-59
Кабинет № 3	12	2	12	144	170	-18
Кабинет № 4	12	2	12	144	80	-18
Кабинет № 5	12	2	12	144	170	-18
Открытый офис № 1	34	4	12	408	132	68
Открытый офис № 2	28	4	12	336	232	31
Открытый офис № 3	30	4	12	360	212	41
Открытый офис № 4	25	3	12	300	132	56
Открытый офис № 5	20	3	12	240	212	12
Открытый офис № 6	20	3	12	240	112	53

56, 12 и 53 %, а в кабинетах 1, 2, 3, 4 и 5 имел место перерасход энергии на, соответственно, 59, 59, 18, 18 и 18 %. В конференц-зале перерасход энергии составил 21 %, в приёмной – 9 %, а в коридорах – 100 % (см. табл. 3, где проведено сравнение удовлетворяющего требованиям *ASHRAE* энергопотребления и реального потребле-

ния энергии в офисе). Общая экономия энергии в офисе компании *Denge* составила 3 %, что слишком мало по сравнению с 10 %, требующимися для получения сертификата *LEED*.

Не имеющее сертификата освещение офиса компании *Denge* было проанализировано на предмет его экологичности и расходуемой на освеще-

ние энергии. Согласно результатам, представленным в табл. 2, экономия энергии в этом офисе составила всего лишь 3 %. И хотя офис компании *Denge* нельзя считать экологичным, экономия энергии в нём всё же обеспечена, причём исключительно благодаря использованию эффективных источников света.

Согласно требованиям программы сертификации *LEED*, в случае административных зданий общего назначения критерием оптимизации энергопотребления является экономия 10 % энергии. Офис компании *Denge* этому требованию не удовлетворяет, потребляя энергии больше, чем требуется. Согласно полученным результатам, в конференц-зале и коридорах потребляется слишком много энергии. Это, в первую очередь, относится к коридорам, в которых настенные и точечные светильники потребляют на 100 % больше энергии, чем допустимо.

В табл. 4 приведены критерии оценки освещения в соответствии с программой *LEED* и степень соответствия этим критериям освещения офиса компании *Denge*. Экологичность офисного здания включает в себя удовлетворение всех критериев оценки освещения, таких как управляемость осветительной установки, качество внутреннего освещения, оптимизированное энергопотребление, естественное освещение и вид наружу, а в случае офиса компании *Denge* это не так. В офисе компании *Denge*

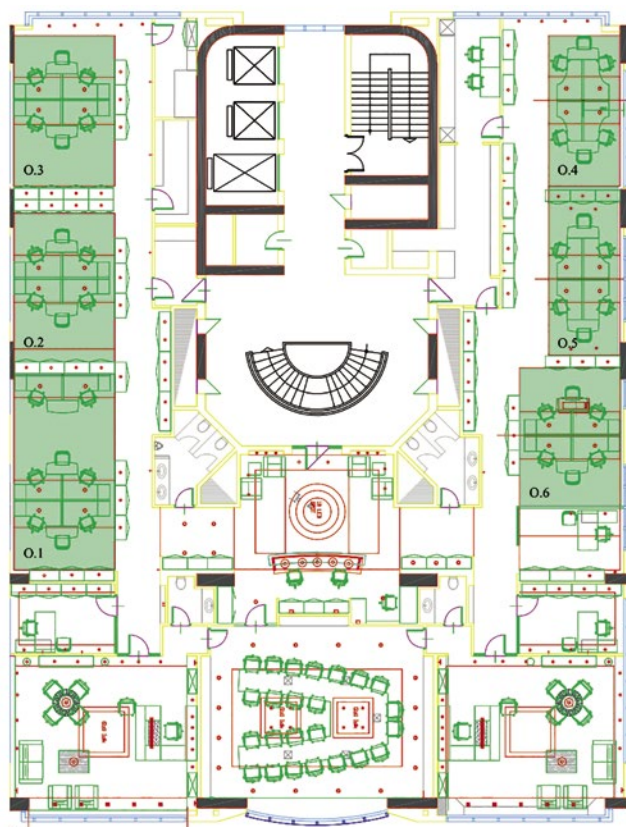


Рис. 3. Схема освещения офиса компании *Denge*

Экономия (–) или перерасход (+) энергии на освещение в помещениях компании *Denge*

Помещения	Площадь, м ²	% от общих энергозатрат	Требования стандарта [1]		Подводимая мощность, Вт	Экономия/перерасход, %
			Вт/м ²	Вт		
Открытые офисы	157	20	12	1884	1032	–45
Кабинеты	134	17	12	2278	2286	+0,3
Конференц-зал	65	8	11	715	872	+21
Коридоры	102	13	5	510	1025	+100
Приёмная	45	6	14	630	691	+9
Прочие	297	37	10	2970	2820	–5
Всего	800	100	–	8987	8726	–3

Таблица 4

Оценка освещения офиса компании *Denge* согласно критериям экологичности программы *LEED*

Показатель	Описание	
<i>SS Credit 8</i>	Уменьшение светового загрязнения	Не рассматривается
<i>EA Prerequisite 2</i>	Минимальное энергопотребление	Достигнуто равное 3 % уменьшение затрат энергии на освещение
<i>EA Credit 1</i>	Оптимальное энергопотребление	Достигнуто равное 3 % уменьшение затрат энергии на освещение
<i>IEQ Credit 6.1</i>	Управляемость – освещение	Установки искусственного освещения неуправляемы
<i>IEQ Credit 8.1</i>	Естественное освещение и вид наружу – естественное освещение	Недостаточное
<i>IEQ Credit 8.2</i>	Естественное освещение и вид наружу – вид наружу	Недостаточное
<i>Pilot Credit 22</i>	Внутреннее освещение – качество	Недостаточное

установки искусственного освещения неуправляемые, и в результате он не удовлетворяет требованиям программы сертификации *LEED* [13].

3. Заключение

В данной работе представлены результаты оценки экономии и перерасхода энергии офисными установками искусственного освещения, проведённые в соответствии со стандартом *ASHRAE/IES90.1–2007* [1], на котором основаны критерии оценки освещения программы сертификации *LEED*. Энергия, расходуемая на искусственное освещение в офисе компании *Denge*, рассчитывалась применительно к полностью включённому освещению

Проведённые оценки показали, что для открытых офисов экономия энергии составила 45 %, тогда как в кабинетах имел место равный 0,3 % перерасход энергии. Благодаря индивиду-

альному управлению искусственным освещением с использованием датчиков естественной освещённости, значительно уменьшился перерасход энергии в конференц-зале офиса компании *Denge*, составивший в результате 21 %. В приёмной и коридорах перерасход энергии составил, соответственно, 9 и 100 %, а это довольно плохо как с экономической, так и с экологической точек зрения. Энергосбережение в коридорах явно неудовлетворительное, что обусловлено плохим выбором светильников и требует проведения дополнительных исследований.

Офис компании *Denge* удовлетворяет только требованиям в части оконных проёмов и внутренней компоновки. С точки зрения энергосбережения самым важным является выбор подходящих и эффективных светильников. В результате использования неподходящих светильников, в коридорах, конференц-зале и приёмной

офиса компании *Denge* наблюдается значительный перерасход расходуемой на освещение энергии. Осветительные установки должны быть регулируемы и снабжены датчиками естественной освещённости. Лампы, используемые в осветительных установках, следует заменить на СД источники света. В коридорах, в которых наблюдается наибольшее избыточное потребление энергии, точечные и настенные светильники следует заменить на светильники с СД, потребляющие меньше энергии. В приёмной надо уменьшить количество точечных светильников, а используемые в них лампы следует заменить на СД источники света. В кабинетах также надо уменьшить количество точечных светильников, а что касается индивидуального освещения, то следует отдать предпочтение менее энергоёмким светильникам. Подобным образом можно оптимизировать энергоэффективность освещения офиса. В результате пере-

станут уставать глаза работников, исчезнет блёскость экранов и увеличится производительность труда в офисе.

Как следует из критериев оценки программы *LEED*, важное значение имеет управление освещением. В зданиях следует предусмотреть возможность управления освещением, и осветительные установки должны быть подключены к общей автоматической системе управления. Следует использовать СД источники света, что приведёт к значительной экономии энергии в установках искусственного освещения. Применение этих критериев может способствовать увеличению производительности труда работников.

Вопросы, которые были рассмотрены, проанализированы и представлены в этой работе, могут служить руководством для проектировщиков. Проектирование осветительной установки должно обеспечить как комфортные зрительные условия в офисе, так и уменьшение энергопотребления, и для этого его следует всячески совершенствовать.

И наконец, все связанные с экологией исследования направлены на то, чтобы оставить грядущим поколениям экологичный мир, в котором они смогут жить, в котором достаточно ресурсов и отсутствует световое загрязнение. И это в значительной мере относится к освещению. Во всех исследованиях, которые проводятся в настоящее время или будут проводиться в будущем, следует учитывать вопросы экологичности. Во всём мире, включая и Турцию, архитектура интерьеров и другие области знаний, связанные с проектированием зданий, должны считать экологию приоритетным направлением, учитывать критерии экологичности освещения и использовать при этом современные методы исследований. Осветительные установки офисов, в которых люди проводят большую часть своего времени, должны обеспечивать комфортные, без какой-либо блёскости, условия на рабочих местах, эффективное естественное освещение и наиболее рациональное расходование энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ASHRAE/IES Standard 90.1–2007. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, 2007. USA.
2. *Kılıçaslan, U.G.* Aydınlatma Tasarımı Kriterlerinin Hastane Mekanlarında İrdelenme-

si, Yüksek Lisans Tezi, MSÜ Güzel Sanatlar Fakültesi, İstanbul, 2011.– 159 p.

3. *Gordon, G.* Interior Lighting for Designers. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2003.– 203 p.

4. *Yener, A.K.* Binalarda Günışığından Yararlanma Yöntemleri, Çağdaş Teknikler VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 231 Sempozyum Bildirimi, 2008.– 11 p.

5. *Pohl, W., Zimmermann, A.* SynthLight Handbook Artificial Lighting. – Munich, 2003. –66 pp.

6. <http://www.morganlovell.co.uk/knowledge/whitepapers/sustainable-office-design-unlocking-performance-and-productivity>

7. *İtcalı, E., Somalı, B.* LEED ve BREEAM Uluslararası Yeşil Bina Değerlendirme Sistemlerinin Değerlendirilmesi. // IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 2009. – P. 1081–1082.

8. http://www.betterbricks.com/graphics/assets/documents/RatingSystem_Final.pdf.

9. *Uyan, F.* Binalarda Aydınlatma Sistemlerinin Sürdürülebilirliklerini değerlendirme ilkeleri, İstanbul, 2010.

10. LEED. Version 4 Reference Guide for Building Design and Construction, 2013.

11. Philips. Lighting for LEED Application Guide for Sustainable Offices. – New York, 2012.– 19 pp.

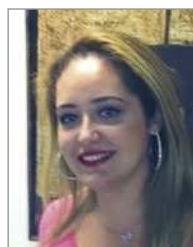
12. <http://www.maxpierson.me/2013/08/01/leed-v4-for-the-lighting-designer/>.

13. *Bakır, I.* The Evaluation Of The Office Buildings According To Leed Certificate Lighting Criteria // Yaşar University Graduate School Of Natural And Applied Sciences Interior Architecture Master Thesis. İzmir, 2015.



İdil Bakır Кючүккая (İdil Bakır Kılıçkaya),

M. Sc. Аспирантка Измирского экономического университета (Ph.D.). Область научных интересов: проектирование



Ебру Алакавук (Ebru Alakavuk),

Ph.D. Место работы – Университет Яшар, Измир, Турция. Область научных интересов: экологичные здания, современные фасады и строительные конструкции

Фотоны научились сталкивать друг с другом

Физики из Чикагского университета придумали новый, очень гибкий, способ заставить фотоны вести себя как частицы материи. Статья об исследовании опубликована 03.07.2019 в журнале «Nature Letters».



Фотоны обладают множеством интересных свойств, включая то, что они не склонны сталкиваться друг с другом. Однако физики всё же попытались сделать это. И у них получилось.

Хитрость в том, чтобы фотоны встретились на границах атома и объединили свои свойства со свойствами электронов. Исследователи изучают эти взаимодействия в лаборатории уже несколько лет. Электрон-фотонные «партнёрства» образуют своего рода гибридную квазичастицу, называемую поляритоном.

Обладание свойствами световой волны позволяет этим квазичастицам быстро перемещаться в пространстве, в то время как атомы, из электронов которых они появились, определяют тип взаимодействия этих частиц между собой. Маломассивные фотоподобные частицы обладают огромным потенциалом в вычислениях и зашифрованной связи, поэтому физики стремятся лучше контролировать их.

«Мы столкнулись с проблемой, потому что фотоны взаимодействуют только с атомами, чьи электронные орбитали имеют очень специфические энергии», – рассказал один из авторов исследования, сотрудник Чикагского университета Логан Кларк.

Поэтому в новом исследовании учёные разбили атомные орбитали на копии с помощью лазера. Они использовали атомы рубидия и смогли изменить их энергетический спектр и расположение орбиталей. Затем физикам удалось столкнуть фотоны с этими орбитальными-копиями, в результате чего получились стабильные поляритоны. В отличие от других таких квазичастиц, поляритоны, полученные по этой методике, можно лучше контролировать, изменяя характеристики излучения лазера.

indicator.ru/
05.07.2019