

Естественное освещение при ручном регулировании солнцезащитных устройств¹

Ц. ЯО

Университет г. Нинбо, Китай
E-Mail: yaojian@nbn.edu.cn

Аннотация

Проведено сравнение естественного освещения при наличии солнцезащитных устройств (СЗУ) с естественным освещением, обеспечиваемым двумя обычными вариантами окон. Стохастическая модель, разработанная для регулируемых вручную СЗУ, была использована для проведения совместного моделирования при помощи компьютерной программы *BCVTB*. Полученные результаты говорят о том, что по сравнению с обычными окнами регулируемые вручную СЗУ приводят к увеличению полезной естественной освещённости на примерно 160 % при менее значительных колебаниях естественной освещённости в помещении. Кроме того, установлено, что пользователи помещений эффективно регулируют СЗУ в конце весны и начале лета, тогда как в остальные времена года ручное регулирование СЗУ можно усовершенствовать для улучшения естественного освещения.

Ключевые слова: регулируемые вручную солнцезащитные устройства, естественное освещение, полезная естественная освещённость.

1. Введение

Естественное внутреннее освещение – это контролируемый доступ дневного света в здание, позволяющий уменьшить количество энергии, расходуемой на искусственное освещение. При обеспечении непосредственной связи с непрерывным динамическим изменением наружного освещения, естественное внутреннее освещение помогает сформировать стимулирующую и продуктивную визуальную среду для пользователей зданий. Считается, что естественное освещение имеет большое значение для обеспечения удовлетворённости офисных работников, т.к. оно создаёт

психологически приятную обстановку, тогда как системы искусственного освещения формируют равномерную и монотонную визуальную среду. Для того, чтобы максимально использовать естественное освещение, здания в настоящее время проектируются с большими окнами или застеклёнными наружными стенами, что, в свою очередь, может увеличить нагрузку на системы охлаждения летом и потери тепла зимой. Интенсивное естественное освещение приводит к повышенной блёскости в периферийной зоне, а естественное освещение со слишком большой солнечной составляющей приводит к увеличению расхода энергии на охлаждение помещений. Кроме того, попадание прямого солнечного света в глаза пользователей зданий может производить ослепляющий эффект, отрицательно влияющий на зрение людей и на их способность выполнять работу, так что его следует избегать. Для управления естественным освещением обычно используются солнцезащитные устройства (СЗУ), которые могут предотвратить перегрев, уменьшить расход энергии на обогрев и охлаждение помещений и обеспечить возможность управления визуальной средой.

Об использовании СЗУ, позволяющих уменьшить потребление энергии и регулировать естественное освещение, сообщали многие исследователи. Например, в [1] применительно к средиземноморскому климату было проведено сравнение коэффициентов естественной освещённости при использовании различных фиксированных СЗУ. В [2] исследовалось влияние нависающих элементов и боковых ламелей на естественное освещение офисов открытого типа. Такие СЗУ закрепляются на здании и должны быть достаточно длинными, чтобы препятствовать проникновению избыточного дневного света, обусловленного относительно малой угловой высотой солнца в восточном и западном направлениях. С другой

стороны, передвижные СЗУ могут регулироваться в соответствии с изменяющимися наружными условиями, с тем чтобы минимизировать расход энергии на освещение и, в то же время, обеспечивать комфортное естественное освещение. В [3] было исследовано влияние нефиксированных СЗУ на естественное освещение в офисных зданиях. В результате было установлено, что использование динамической солнцезащиты привело к значительному улучшению естественного освещения по сравнению со случаем использования фиксированных СЗУ.

Однако упомянутое исследование проводилось применительно к автоматическим СЗУ, нуждающимся в сложной системе управления для обеспечения частых изменений положения или углов СЗУ и более дорогостоящих по сравнению с регулируемыми вручную СЗУ. В Китае в большинстве офисных зданий используются только регулируемые вручную рулонные СЗУ [4]. Кроме того, осуществляемое пользователями зданий регулирование СЗУ не столь эффективно, как автоматические системы, так как эти пользователи ведут себя стохастически [5–7]. Поэтому при рассмотрении влияния регулируемых вручную СЗУ на естественное освещение следует принимать во внимание стохастические характеристики поведения пользователей зданий.

2. Методология

2.1. Модель здания

В данной работе использовалась модель типичного офисного помещения размером 4 x 4 x 3 м с окном размером 3,8 x 2,8 м, которое выходило на юг (рис. 1). Для сравнения естественного освещения при использовании регулируемых вручную СЗУ с освещением при отсутствии СЗУ были рассмотрены три варианта. Первые два варианта (окно с двойным прозрачным остеклением (ДПО) и окно с двойным энергосберегающим остеклением (ДЭО)) наиболее распространены в рассматриваемом регионе. Последний вариант предусматривал использование регулируемых вручную наружных СЗУ (НСЗУ). Характеристики офисного помещения и всех трёх вариантов приведены в табл. 1.

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

Рис. 1. Модель помещения с указанием рабочего места (юг расположен вверху рисунка)

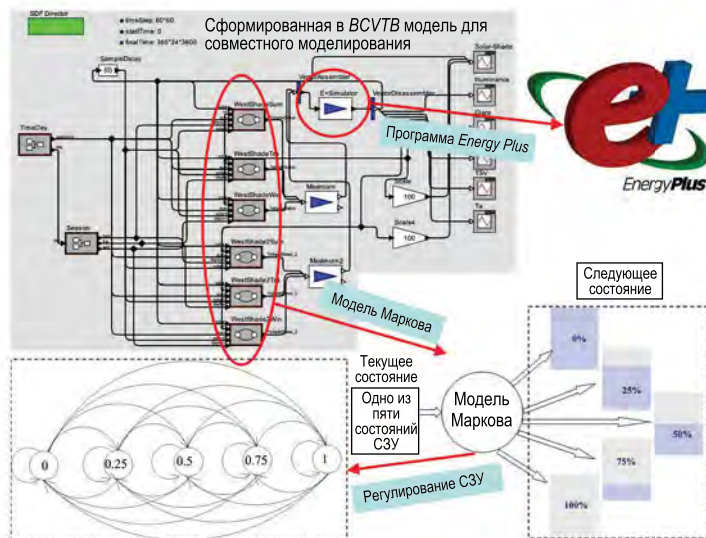
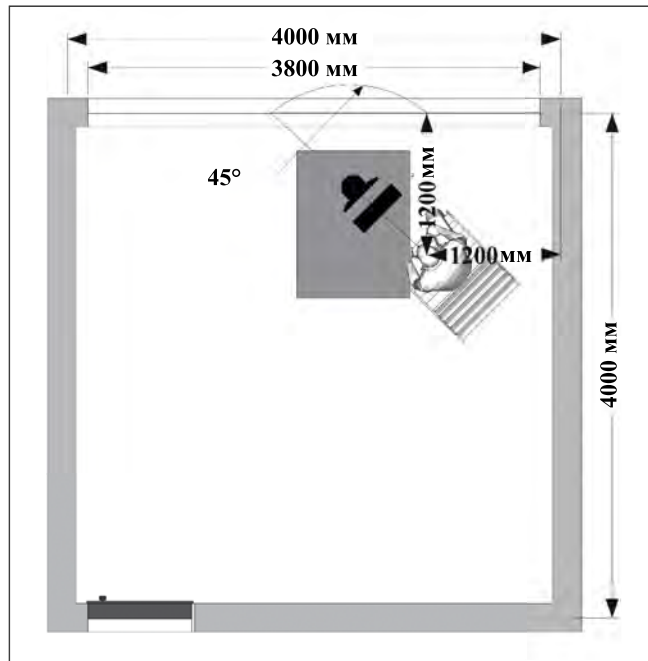


Рис. 2. Графическое представление разработанной модели для проведения совместного моделирования влияния СЗУ на естественное освещение

2.2. Стохастическая модель работы регулируемых вручную СЗУ

В этой статье для исследования влияния регулируемых вручную СЗУ на естественное освещение использовалась модель, разработанная автором ранее [4]. Эта модель была сформирована на основе результатов полевых исследований типичного многоэтажного остекленного здания, расположенного в районе Китая с жарким летом и холодной зимой. При проведении измерений использовались пиранометр *TB-2* и регистрирующий прибор *TC-2*, которые были установ-

лены на крыше здания для измерения суммарного солнечного излучения на южном фасаде, а настройка СЗУ, установленного на южном фасаде остекленного здания в г. Нинбо (примерно 30° с.ш.), регистрировалась посредством фотографирования СЗУ, осуществляемого вручную с интервалом 1 ч. Так как предыдущие исследования показали, что рассмотрение пяти состояний СЗУ вполне достаточно для моделирования освещения в здании [4], то осуществляемое пользователями регулирование было разбито на пять состояний СЗУ (0, 25, 50, 75 и 100 % затенением поверхности окна). Измерения прово-

дидись в 2011 г. на протяжении всего года. Хотя на управление СЗУ влияют многие факторы, такие как естественная освещенность и блескость, их можно прямо или опосредованно связать с солнечным излучением, так что коэффициент естественной освещенности не измерялся. Логистический регрессивный анализ, проведенный после завершения полевых измерений, показал, что регулирование СЗУ зависит, главным образом, от солнечного излучения (если сравнивать с другими факторами, такими как температура наружного воздуха). Поэтому для построения стохастической модели регулирования СЗУ исходя из уровня солнечного излучения была применена цепь Маркова, причём была рассчитана и классифицирована переходная матрица цепи Маркова (вероятность перехода СЗУ из текущего состояния в следующее) для различных состояний неба. Для лучшего моделирования регулирования СЗУ, осуществляемого пользователями здания при различных состояниях неба, в качестве разделительной линии при формировании переходной матрицы был введён пороговый уровень прямого солнечного излучения (в соответствии с результатами полевых измерений, он был принят равным примерно 300 Вт/м²). После этого модель Маркова для СЗУ была сформирована в *BSVTV* для совместного моделирования с программой *EnergyPlus*. На каждом шаге *BSVTV* оценивает полученную при помощи *EnergyPlus* энергетическую освещенность, создаваемую солнечным излучением на окнах, а затем в соответствии с распределением вероятности случайным образом определяет положение СЗУ, которое затем используется при моделировании, осуществляемом при помощи программы *EnergyPlus*. Краткое описание того, как сформирована эта стохастическая модель и как осуществляется совместное моделирование, можно найти на рис. 2. Более подробное описание этой стохастической модели и совместного моделирования приведено в [4].

2.3. Эксплуатационные показатели

Для всесторонней оценки уровня естественного освещения и защиты от блескости были использованы три показателя: полезная естественная ос-

Характеристики офисного помещения

Параметр	Значение
Местоположение	Город Нинбо, Китай. 30° с.ш., 120° в.д.
Ориентация помещения	Юг
Размеры	Помещение: 4 x 4 x 3 м, окно: 3,8 x 2,8 м.
Окно и СЗУ	Три варианта окон для сравнения: 1) Окно с двойным прозрачным остеклением (ДПО), коэффициент пропускания = 0,89. 2) Окно с двойным энергосберегающим остеклением (ДЭО), коэффициент пропускания = 0,69. 3) Окно с двойным прозрачным остеклением + регулируемое вручную наружное СЗУ (НСЗУ), коэффициент пропускания материала СЗУ = 0,2.
Местоположение точки расчёта естественной освещённости	Показанное на рис. 1 местоположение пользователя помещения, на высоте 0,75 м от уровня пола.

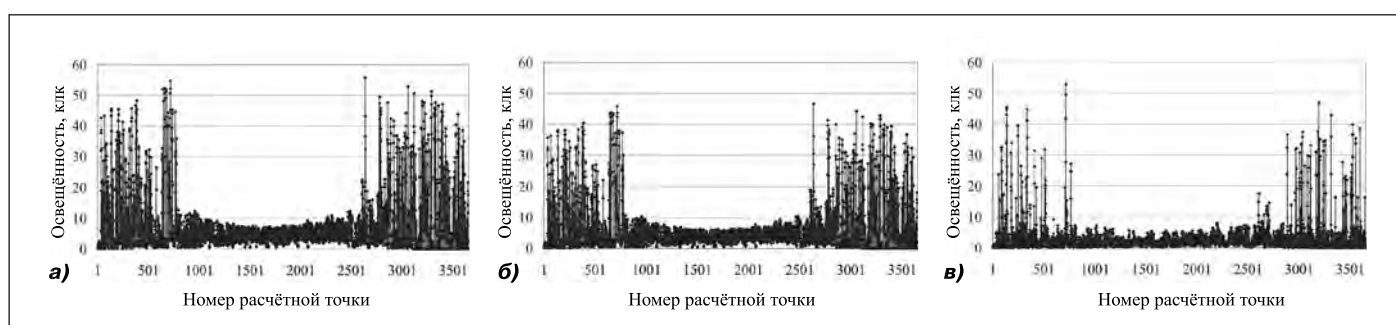


Рис. 3. Естественная освещённость в рабочие часы для трёх рассмотренных вариантов: а – ДПО; б – ДЭО; в – НСЗУ (номер расчётной точки = (D-1) x 10 + m, где D – день года, m = 1 для 8:00, 2 для 9:00, ..., 9 для 16:00, 10 для 17:00)

вещённость (ПЕО), колебания естественной освещённости и распределение естественной освещённости. ПЕО соответствует условиям, когда уровни освещённости полезны для пользователя зданием, то есть когда освещённость превышает 300 лк (уже не темно) [8] и меньше, чем 2000 лк (ещё не слишком ярко) [9]. Если естественная освещённость оказывается меньшей, чем 300 лк, то может потребоваться дополнительное искусственное освещение, тогда как если естественная освещённость превышает 2000 лк, то может возникнуть блёскость.

Колебания естественной освещённости также имеют большое значение для оценки естественного освещения.

В настоящее время нет ни уравнения, ни показателя, которые позволили бы оценить колебания естественной освещённости, так что в качестве соответствующего показателя автор использовал среднее квадратическое отклонение естественной освещённости E_{σ} , которое можно записать как:

$$E_{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i - E_{ave})^2}, \quad (1)$$

где N – количество расчётных точек в пределах рабочего дня (с 8:00 до 17:00, 10 точек: 8:00, 9:00, ..., 17:00), E_i – естественная освещённость, соответствующая i -ой расчётной точке,

а E_{ave} – средняя за рабочий день естественная освещённость, рассчитываемая по формуле:

$$E_{ave} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i. \quad (2)$$

3. Результаты и обсуждение

3.1. Полезная естественная освещённость

Естественная освещённость в рабочие часы приведена на рис. 3 для всех трёх вариантов. Вариантам с незатенёнными окнами (ДПО и ДЭО) соответствуют большие, чем в случае

Таблица 2

Распределение естественной освещённости

Естественная освещённость, лк	ДПО		ДЭО		НСЗУ	
	Часы	Проценты	Часы	Проценты	Часы	Проценты
< 300	89	2,44	95	2,60	229	6,27
300–2000	470	12,88	597	16,36	1553	42,55
> 2000	3091	84,68	2958	81,04	1868	51,18

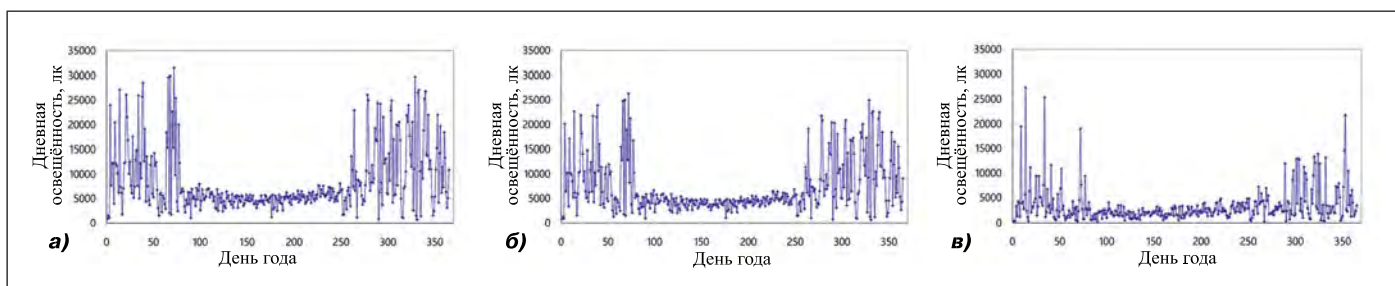


Рис. 4. Средняя дневная естественная освещённость для трёх рассмотренных вариантов: а – ДПО; б – ДЭО; в – НСЗУ

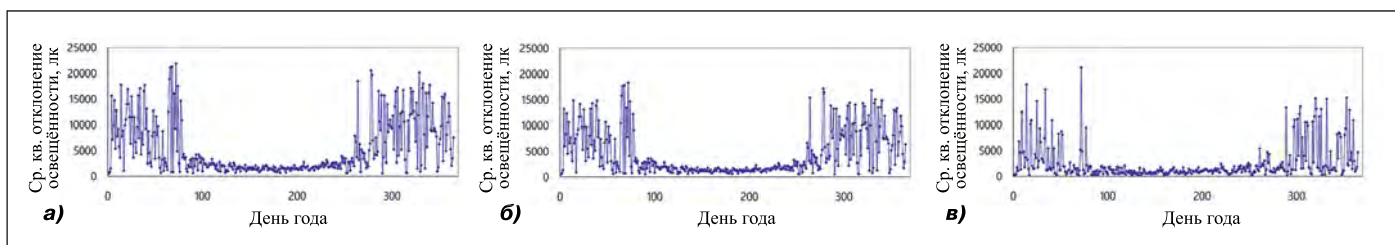


Рис. 5. Дневные среднеквадратические отклонения естественной освещённости для трёх рассмотренных вариантов: а – ДПО; б – ДЭО; в – НСЗУ

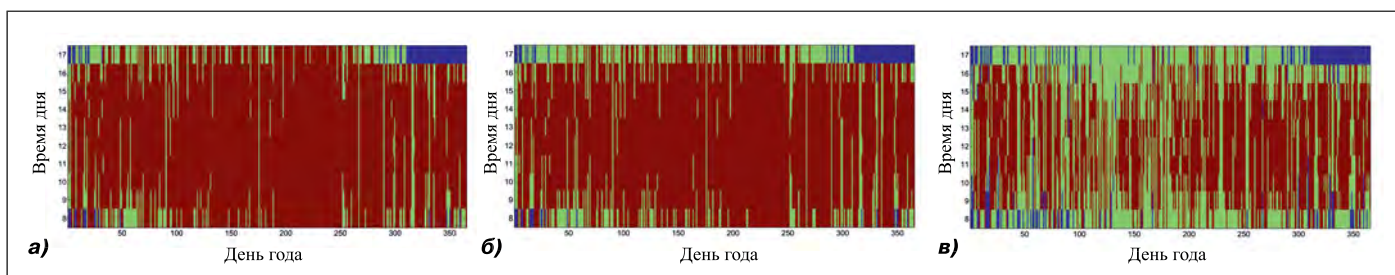


Рис. 6. Годовое распределение естественной освещённости в рабочие часы для трёх рассмотренных вариантов (синий цвет – < 300 лк, зелёный цвет – 300–2000 лк (ПЕО), красный цвет – > 2000 лк): а – ДПО; б – ДЭО; в – НСЗУ

НСЗУ, количества часов с высокой естественной освещённостью. Естественная освещённость была дополнительно разделена на три группы в соответствии с ПЕО (табл. 2). В случае НСЗУ ПЕО реализовывалась в течение 1553 ч, что соответствует 42,55 % рабочего времени, затем следует ДЭО (597 ч, 16,36 %), а самый плохой результат был получен в случае ДПО (470 ч, 12,88 %). А это означает, что регулируемые вручную СЗУ работают лучше, чем два других варианта, на примерно 160 %. Хотя у регулируемых вручную СЗУ и имеется небольшой недостаток, связанный с большим количеством часов, когда естественная освещённость оказывается меньше, чем 300 лк, большее значение имеет их преимущество, которое заключается в уменьшении потенциальной опасности возникновения блёккости благодаря уменьшению на более чем 100 ч по сравнению с ДПО и ДЭО периода, когда естественная освещённость превышает 2000 лк.

3.2. Колебания естественной освещённости

Средняя дневная естественная освещённость приведена на рис. 4 для всех трёх вариантов. В случаях ДПО и ДЭО этот показатель превышает 2500 лк, тогда как в случае НСЗУ он составляет всего лишь примерно 2500 лк. Это означает, что применительно к ПЕО регулируемые вручную СЗУ оказались эффективнее незащищённых окон (с ДПО и ДЭО). С другой стороны, из рис. 5, на котором приведены дневные среднеквадратические отклонения естественной освещённости, следует, что регулируемые вручную СЗУ также действуют на 44–53 % лучше, чем, соответственно, ДЭО и ДПО, применительно к этому показателю (см. табл. 3). Последнее объясняется тем, что пользователи помещения могут вручную регулировать СЗУ в соответствии с изменяющимся состоянием неба, благодаря чему естественная освещённость в рабочей зоне будет под-

держиваться на сравнительно комфортном уровне.

3.3. Распределение естественной освещённости

Из-за стохастического характера осуществляемого пользователями помещений ручного регулирования СЗУ, важно понимать, когда СЗУ устанавливаются в такое положение, что естественная освещённость остаётся в пределах ПЕО (300–2000 лк). На рис. 6 для всех трёх вариантов приведено распределение естественной освещённости в рабочее время на протяжении всего года. На рисунке видно, что ДПО и ДЭО работают схожим образом с почти одним и тем же распределением естественной освещённости. Это связано с тем, что и ДПО, и ДЭО – это, в сущности, прозрачные окна, несколько отличающиеся друг от друга коэффициентами пропускания. И в их случаях ПЕО обеспечивается только ранним утром и в предвечернее время, когда солнце

E_{ave} и E_{σ} для трёх вариантов

	ДПО	ДЭО	НСЗУ
E_{ave} , лк	8461,48	7081,41	3358,12
E_{σ} , лк	5341,93	4471,99	2524,83

светит не очень ярко. В то же время, варианту НСЗУ на протяжении всего дня соответствует более обширная зелёная область, что особенно заметно в конце весны и начале лета и обусловлено более частым использованием СЗУ по сравнению с остальными временами года. Из рис. 6 следует, что пользователи помещения эффективно используют СЗУ именно в конце весны и начале лета, тогда как в остальные времена года ручное регулирование можно усовершенствовать для улучшения естественного освещения.

4. Заключение

В статье проведено моделирование естественного освещения при наличии управляемых вручную СЗУ, и полученные при этом результаты сравниваются с соответствующими двум обычным вариантам окон. В результате было получено, что использование регулируемых вручную СЗУ приводит к увеличению периода ПЕО на примерно 160 % по сравнению с обычными окнами при менее значительных колебаниях естественной освещённости. Кроме того, было установлено, что пользователи помещения эффективно используют СЗУ в конце весны и начале лета, тогда как в остальные времена года ручное регулирование можно усовершенствовать для улучшения естественного освещения.

Эта работа финансировалась Национальной программой НИОКР в области важнейших технологий Министерства науки и техники (грант 2013BAJ10B06), и кроме того, автор хотел бы выразить свою благодарность фонду *K.C. Wong Magna Fund* Университета г. Нинбо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stazi, F., Marinelli, S., Di Perna, C., Munafò, P. Comparison on solar shadings: Monitoring of the thermo-physical behaviour, assessment of the energy saving, thermal comfort, natural lighting and environmental im-

pact // SOL ENERGY. – 2014. – Vol. 105. – P. 512–528.

2. Esquivias, P., Munoz, C., Acosta, I., Moreno, D., Navarro, J. ДПОoimate-based daylight analysis of fixed shading devices in an open-plan office // Lighting Research and Technology. – 2015. – Vol. 48. – No. 2. – P. 205–220.

3. Nielsen, M.V., Svendsen, S., Jensen, L.B. Quantifying the potential of automated dynamic solar shading in office buildings through integrated simulations of energy and daylight // SOL ENERGY. – 2011. – Vol. 85. – P. 757–768.

4. Yao, J. Determining the energy performance of manually controlled solar HCЗУs: A stochastic model based co-simulation analysis // APPL ENERG. – 2014. – Vol. 127. – P. 64–80.

5. Sun, K., Yan, D., Hong, T., Guo, S. Stochastic Modeling of Overtime Occupancy and Its Application in Building Energy Simulation and Calibration // BUILD ENVIRON. – 2014. – Vol. 79. – P. 1–12.

6. Haldi, F., Robinson, D. On the behaviour and adaptation of office occupants // BUILD ENVIRON. – 2008. – Vol. 43. – P. 2163–2177.

7. Haldi, F., Robinson, D. Adaptive actions on shading devices in response to local visual stimuli // J BUILD PERFORM SIMU. – 2010. – Vol. 3, No. 2. – P. 135–153.

8. China Academy Of Building Research, Standardforlightingdesignofbuildings, GB50034–2013. Beijing: China Architecture and Building Press, 2013.

9. Nabil, A., Mardaljevic, J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors // ENERG BUILDINGS. – 2006. – Vol. 38. – P. 905–913.



Цзянь Яо (Jian Yao), Ph.D. (2013 г.).
Доцент Университета г. Нинбо, Китай. Область научных интересов: солнцезащитные устройства, естественное освещение, тепловой комфорт

внутри помещений и энергетическая оптимизация зданий. Автор более 20-ти статей в авторитетных международных журналах.

Создан датчик, способный с высокой скоростью снимать высококачественные изображения в условиях недостаточной освещённости

Инженеры из Дартмутского колледжа (ХанOVER, Нью-Гэмпшир, США) разработали и изготовили опытные образцы сенсоров, в которых заложена радикально новая технология формирования изображений, получившая название «квантовый фотосенсор» (*Quanta Image Sensor, QIS*). Основным преимуществом новой технологии является возможность съёмки высококачественных изображений в условиях недостаточной освещённости. И такая возможность может произвести революцию в некоторых областях науки и техники, включая системы безопасности, фотографию, видеосъёмку, медицину, фотометрию, астрономию, естествознание и т.п.

Для того, чтобы делать снимки в условиях слабого освещения, при свете Луны, например, фотографы используют длительные выдержки, время, в течение которого затвор камеры остаётся в открытом состоянии. Это время, в зависимости от условий, может исчисляться секундами, десятками секунд или даже минутами. Естественно, что столь длительное время экспозиции полностью лишает фотографов производить съёмку объектов, двигающихся даже с небольшой скоростью.

Датчик, основанный на технологии «QIS», может «ловить» даже единичные фотоны света, его опытный образец имеет разрешающую способность в один мегапиксель. Но, по мнению разработчиков данной технологии, не существует никаких помех для изготовления таких датчиков, разрешающая способность которых составит сотни мегапикселей, а скорость работы – тысячи кадров в секунду.

Самым примечательным является то, что, в отличие от других датчиков, способных улавливать единичные фотоны, новый QIS-датчик не требует охлаждения до криогенной температуры и работает при нормальной комнатной температуре. Для его изготовления используется стандартная CMOS-технология, что позволит без труда наладить в ближайшем времени выпуск таких датчиков, стоимость которых будет не так уж и высока. Данные исследования были проведены при содействии инженеров из компании *Rambus Inc.* и тайваньской компании *TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Corporation)*, специализирующейся на производстве полупроводниковой продукции. А финансирование исследований обеспечило Агентство передовых оборонных исследовательских проектов Пентагона (*DARPA*). Разработчики и их партнёры организовали компанию *Gigajot Technology*, которая будет заниматься дальнейшими исследованиями и продвижением технологии «QIS» на потребительский рынок.

dailytechinfo.org
30.12.2017