

Неопределённость характеристик естественного освещения при использовании регулируемых вручную солнцезащитных устройств и её влияние на расходуемую на освещение энергию¹

Ц. ЯО¹, Л.И. ЧЭНЬ, У. ЦЗИНЬ

Университет г. Нинбо, Нинбо, Китай

¹ E-mail: yaojian@nbu.edu.cn

Аннотация

Поведение пользователей помещений существенным образом влияет на энергопотребление зданий. В статье рассмотрена неопределённость характеристик естественного освещения и расходуемой на освещение энергии при использовании регулируемых вручную солнцезащитных устройств (СЗУ), установленных на южном фасаде здания. Стохастическая модель, разработанная для регулируемых вручную СЗУ, была использована для проведения совместного моделирования при помощи компьютерной программы *BCVTB*. Полученные результаты говорят о том, что неопределённость результатов работы СЗУ не была исключена при использовании модели работы СЗУ с очень слабой взаимосвязью между результатами различных циклов моделирова-

ния. Неопределённость характеристик естественного освещения составила 15,08 %, тогда как неопределённость расходуемой на освещение энергии оказалась равной 10,38 %. Хотя подобная неопределённость расхода энергии не очень существенна, она всё же влияет на результаты экономического анализа регулируемых вручную СЗУ, так что при прогнозировании энергоэффективности этих СЗУ неопределённость поведения пользователей следует учитывать.

Ключевые слова: регулируемые вручную солнцезащитные устройства, неопределённость, характеристики естественного освещения, расходуемая на освещение энергия.

1. Введение

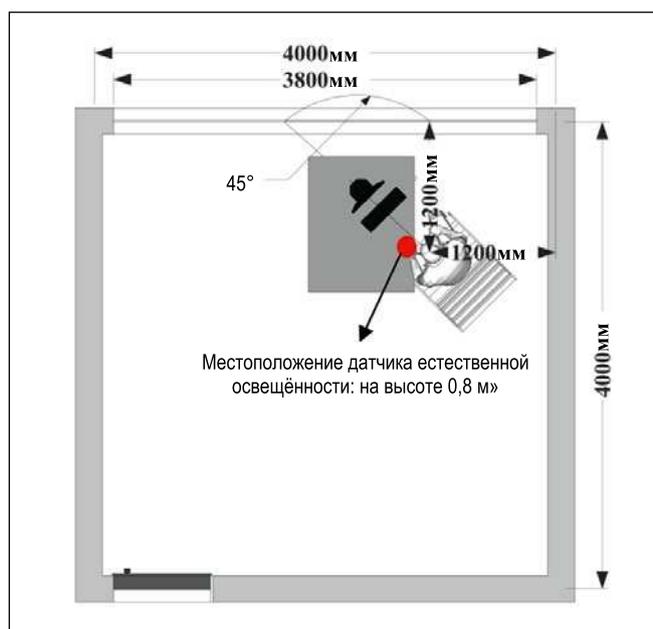
Солнцезащитные устройства (СЗУ) можно использовать для управления поступающей в здание энергией солнечного излучения, регулирования

уровня естественной освещённости в помещении и исключения блёскости и больших контрастов [1]. Для борьбы с нежелательным солнечным излучением в летний период в строительстве часто используются фиксированные СЗУ, такие как горизонтальные навесы или вертикальные ребристые выступы. Однако они задерживают и значительное количество прямого и отражённого дневного света и неэффективны в условиях облачного неба. В то же время, нефиксированные СЗУ можно регулировать в соответствии с изменяющимися наружными условиями. Поэтому в зданиях часто используются нефиксированные СЗУ, как регулируемые вручную, так и контролируемые автоматизированной системой управления здания. Но несмотря на то, что автоматизированные системы управления СЗУ обеспечивают высокоэффективный контроль нагрева помещения, естественного освещения и блёскости, присущие им высокие капитальные и эксплуатационные затраты всё ещё препятствуют их широкому распространению в районах Китая с жарким летом и холодной зимой. Поэтому регулируемые вручную рулонные СЗУ широко используются в Китае, особенно в остеклённых зданиях [2].

Регулируемые вручную СЗУ рассчитаны на управление пользователями помещений (далее – пользователи), и при прогнозировании их влияния на естественную освещённость и поступление энергии следует учитывать поведенческие характеристики людей, так как результаты проведённых исследований показали, что на потребляемую зданием энергию влияет не только технические моменты, но и культурные аспекты, поведение людей, социальная среда и т.д. Накопленный опыт говорит о том, что полное энергопотребление существенно зависит от поведения пользователей [3]. Например, в [4] приведены численные оценки и результаты чувствительного анализа энергопотребления шести французских промышленных зданий. Было установлено, что рассчитанные значения энергии, расходуемой на отопление и охлаждение, были скорее чувствительны к параметрам, связанным с использованием здания, чем к параметрам, связанным с наружной оболочкой здания. Проведённые в последние годы исследования в области строительства продемонстриро-

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

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



Описание офисного помещения

Параметр	Описание
Местоположение	Г. Нинбо, Китай, 30° с.ш., 121° в.д.
Ориентация помещения	Юг
Размеры, м	Помещение: 4×4×3. Окно: 3,8×2,8.
Окно и СЗУ	Прозрачное окно с двойным остеклением + управляемое вручную наружное СЗУ, представляющее собой разворачиваемую сверху вниз белую рулонную штору из полиэфира (30 %) и поливинилхлорида (70 %) с коэффициентом пропускания 0,2.
Местоположение датчика естественной освещённости	Красная точка на рис. 1.
Использование естественного света	Время, на протяжении которого полезная естественная освещённость лежит в интервале 300–2000 лк [11, 12].
Расходуемая на освещение энергия, Вт/м ²	11 (при естественной освещённости, меньшей чем 300 лк)

вали различия между реальной и прогнозируемой энергоэффективностью зданий. Некоторые из этих различий обусловлены поведением пользователей [5]. В [6] приведены количественные оценки влияния поведения пользователей на энергопотребление зданий. Различные модели поведения пользователей были включены в программу *CitySim*, моделирующую потребление энергии в городах. Полученные результаты говорят о том, что поведение пользователей оказывает существенное (вплоть до двукратного) влияние на энергопотребление зданий.

Хотя некоторые исследователи и говорили о влиянии поведения пользователей (при применении регулируемых вручную СЗУ) на энергопотребление [7, 8], использовавшиеся в этих работах модели штор неприменимы к регулируемым вручную СЗУ с возможностью частичной солнцезащиты (в современных исследованиях рассматриваются либо два состояния штор (полностью открытые или полностью закрытые), либо необычные СЗУ с механизированным управлением). Например, в [9] для рассмотрения энергопотребления здания была использована модель *Lightswitch-2002*, которая, однако, применима только для прогнозирования расхода энергии на освещение, тогда как неопределённость естественного освещения вследствие зависящего от действий потребителей влияния штор в этой модели учесть невозможно. Более того, из-за различий в типах СЗУ и поведенческих характеристиках результаты этих исследований нельзя непосредственно распространить на функционирование зданий в районах Китая с жарким летом и холодной зимой.

Для анализа влияния неопределённости осуществляемого пользователями регулирования СЗУ на энергоэффективность зданий в данной работе используется стохастическая модель, разработанная на основе результатов полевых исследований, проведённых применительно к выходящему на запад фасаду [2]. Ранее уже были проведены исследования в части экономии энергии по сравнению с обычными окнами, теплового режима [10], естественного освещения [11, 12] и выполнения зрительной работы [13]. Данная работа, являющаяся развитием проведённых ранее исследований, посвящена влиянию неопределённости поведения пользователей на работу СЗУ

и, как следствие, на естественное внутреннее освещение и расходуемую на искусственное освещение энергию.

2. Методика

2.1. Стохастическая модель регулируемых вручную СЗУ

В данной работе рассматривается типичное офисное помещение размером 4×4×3 м с выходящим на юг окном (рис. 1). Характеристики этого офисного помещения, включая регулируемое вручную СЗУ, и местоположение датчика естественной освещённости приведены в табл. 1.

Для исследования влияния неопределённости поведения пользователей на работу СЗУ и, как следствие, на естественное освещение и расходуемую на освещение энергию здесь используется разработанная одним из авторов стохастическая модель [2]. Эта модель была разработана на основе результатов полевых исследований типичного многоэтажного остеклённого здания, расположенного в районе Китая с жарким летом и холодной зимой. В этой модели обусловленные стохастическим поведением пользователей состояния СЗУ были разделены на 5 категорий: полное затенение, затенение на 75 %, затенение на 50 %, затенение на 25 % и отсутствие затенения. Соответствующие коэффициенты наружного затенения (*K₃*) (*external shading coefficient*) были равны 0; 0,25; 0,5; 0,75 и 1. Регулирование СЗУ прогнозировалось на основе

текущего состояния СЗУ и создаваемой солнечным светом освещённости на фасаде здания, которая согласно результатам, полученным посредством логистического регрессивного анализа накопленных различий (*cumulative odds logit regression*), является основным фактором. Прогнозирование осуществлялось методом дискретных цепей Маркова 1-го и 2-го порядков, который позволяет формировать переходную матрицу цепи Маркова (матрицу вероятности перехода СЗУ из текущего состояния в следующее) для работы совместно с программой *EnergyPlus*. Краткое пояснение формирования этой стохастической модели и проведения совместного моделирования приведено на рис. 2. Более подробную информацию об этой стохастической модели и о совместном моделировании можно найти в [2].

2.2. Показатель неопределённости

2.2.1 Регулирование СЗУ

В данной работе неопределённость соотносят со связанной с поведением пользователей стохастической регулировкой СЗУ, которая приводит к зависимости значений *K₃* от конкретного пользователя и, в конце концов, к неопределённости энергопотребления здания. Показатель неопределённости используется для оценки взаимосвязи между двумя переменными (в данном случае, между соответствующими двум различным циклам мо-

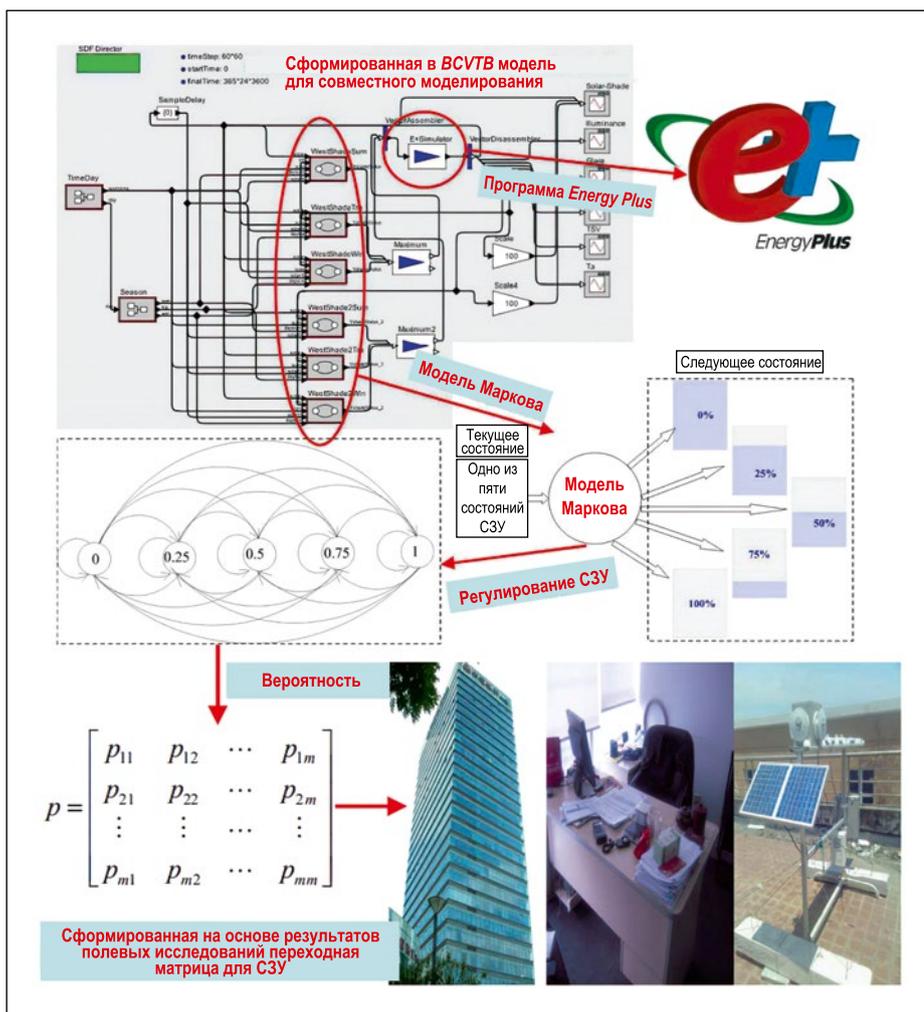


Рис. 2. Графическое представление разработанной модели для проведения совместного моделирования влияния СЗУ на естественное освещение

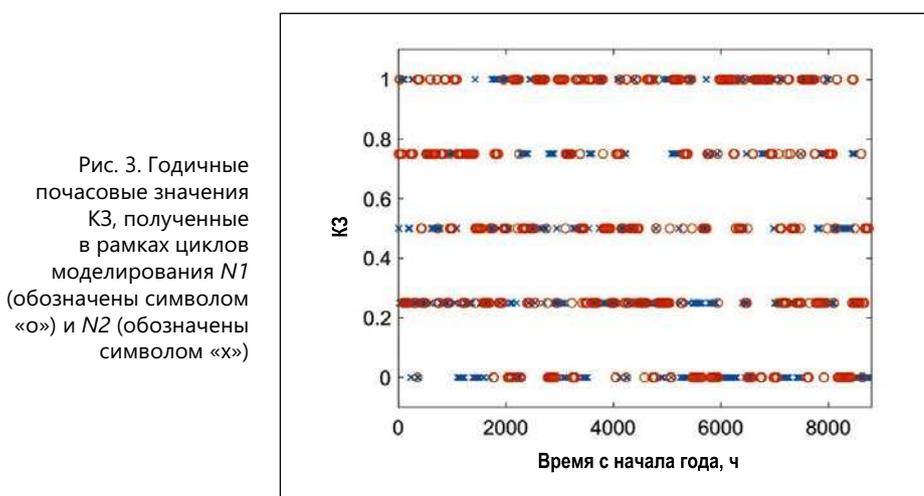


Рис. 3. Годичные почасовые значения КЗ, полученные в рамках циклов моделирования N1 (обозначены символом «o») и N2 (обозначены символом «x»)

делирования почасовыми значениями КЗ) и представляет собой коэффициент корреляции, который лежит в интервале между +1 и -1. Равное +1 значение показателя неопределённости соответствует полной положительной корреляции между двумя переменными, тогда как значение -1 соответ-

ственный анализ по Спирмену не предусматривает каких бы то ни было допущений относительно распределения данных и поэтому подходит для проведения корреляционного анализа значений КЗ.

2.2.2. Естественное освещение и расходуемая на освещение энергия

Применительно к неопределённости естественного освещения и расходуемой на освещение энергии для аппроксимации полученных данных использовалась плотность распределения вероятности. В данной работе распределение данных считали нормальным, что подтверждается результатами последующего анализа, и, соответственно, использовали совокупность двухпараметрических кривых. Первым параметром является среднее значение (μ), а вторым – среднеквадратическое отклонение (σ). Нормальная плотность распределения вероятности для энергетических показателей $f(x)$ можно записать, как:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (1)$$

При помощи упомянутой выше аппроксимации (*fitting analysis*) можно получить распределение продолжительности полезной естественной освещённости (ПЕО), а затем, исходя из свойств нормального распределения, можно рассчитать 95-процентный доверительный интервал (CI) для неопределённости естественного освещения (продолжительности ПЕО):

$$CI = \bar{X} \pm t_{n-1, \alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где \bar{X} – усреднённый по циклам результат моделирования, n – количество циклов моделирования, $t_{n-1, \alpha/2}$ – значение, полученное применительно к t -распределению Стьюдента с $(n - 1)$ степенями свободы и уровнем значимости $\alpha/2$. В данной работе уровень значимости α принят равным 5%. Это означает, что истинное среднее значение находится в пределах доверительного интервала CI с вероятностью 95%. Для того, чтобы оперировать не абсолютным, а относительным значением неопределённости, величина CI была разделена на среднее значение.

2.3. Количество циклов моделирования

Так как моделирование энергопотребления, в основу которого положена поведенческая модель работы СЗУ, приводит к разным результатам, то для понимания возможного распределения выходных параметров требуется многократное повторение циклов моделирования. Как отмечалось в [14], дополнительное время, затрачиваемое на повторное моделирование, можно считать слабым местом используемого метода. В данной статье проводится расчёт минимального количества циклов моделирования, требующегося для получения сходящегося решения в рамках графического метода, который был рекомендован в [15]. Этот графический метод предусматривает построение зависимости среднего значения полученных данных от количества циклов моделирования, которая в конце концов становится горизонтальной линией. Требуемое количество циклов моделирования соответствует точке, в которой график становится плоским. Посредством описанного выше анализа можно рассчитать как неопределённость характеристик естественного освещения (применительно к продолжительности ПЕО, так как этот показатель имеет большое значение для оценки естественного освещения [11, 12]), так и количества расходуемой на освещение энергии.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Неопределённость регулирования СЗУ

3.1.1. Сравнение двух циклов моделирования

Для демонстрации обусловленной поведением пользователей неопределённости, в этом разделе рассмотрены два цикла моделирования. На каждом временном шаге моделирования осуществляется случайная выборка значения из непрерывного равномерного распределения в интервале от 0 до 1 и производится сравнение с переходной матрицей цепи Маркова (см. раздел 2). В результате при помощи поведенческой модели работы СЗУ (рис. 2) были получены почасовые значения КЗ. На рис. 3 приведены годовые почасовые значения КЗ для

Рис. 4. Годичные почасовые разности значений КЗ, полученных в рамках двух циклов моделирования

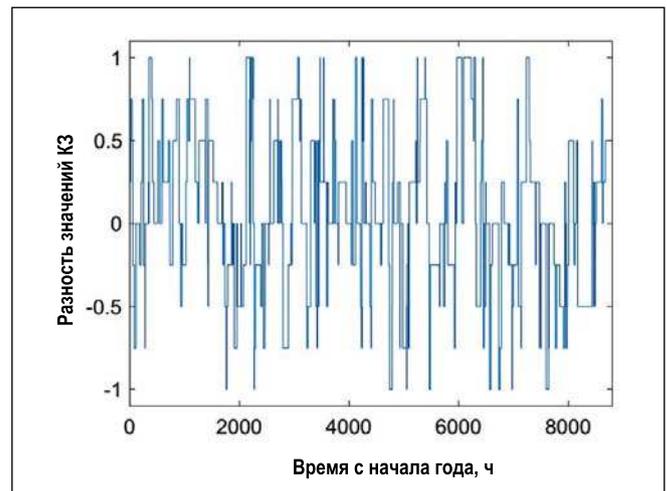


Рис. 5. Сходимость среднегодовых значений естественной освещённости. Сплошная линия соответствует средним значениям, а штриховые линии ограничивают 95 % доверительную область

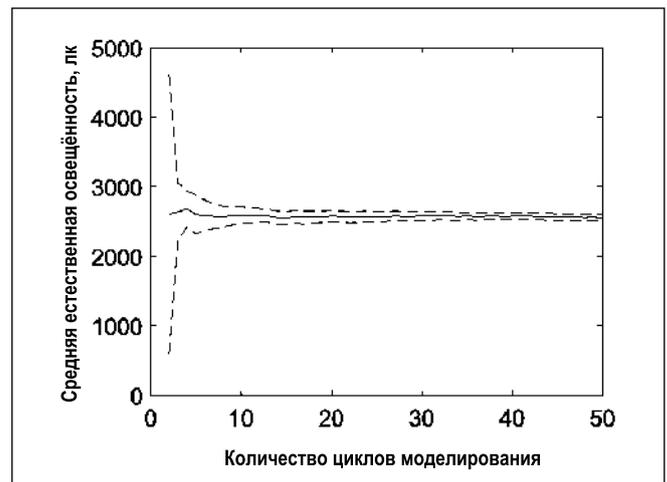
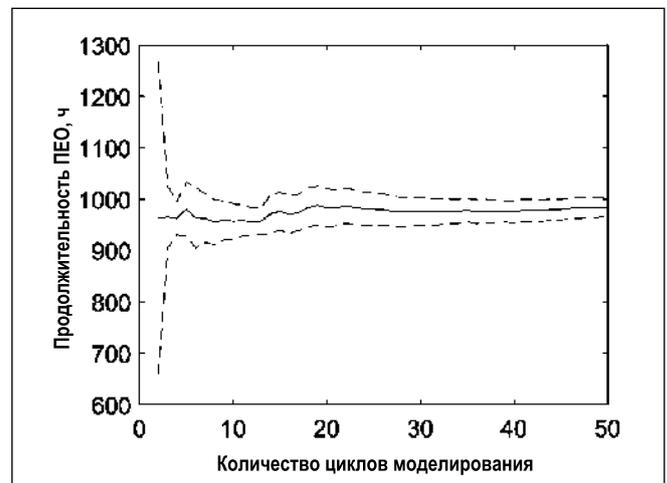


Рис. 6. Сходимость продолжительности ПЕО. Сплошная линия соответствует средним значениям, а штриховые линии ограничивают 95 % доверительную область



двух циклов моделирования, обозначенных как $N1$ и $N2$. При этом можно заметить значительные различия между этими двумя циклами моделирования, характеризующимися разными направлениями случайных изменений параметров. Соответствующие зависимости приведены на рис. 4, где продемонстрированы различия между значениями КЗ, полученными применительно к двум рассмотренным

циклам моделирования. Поведение пользователей является стохастическим, и обусловленная этим поведением неопределённость проявляется в том, что различия значений КЗ по большей части отличны от 0 (они преимущественно лежат в интервале от -1 до 1). Эти различия непосредственно влияют на энергопотребление, так что один единственный цикл моделирования не способен отразить

Рис. 7. Коэффициент корреляции между почасовыми значениями КЗ, соответствующими разным парам циклов моделирования

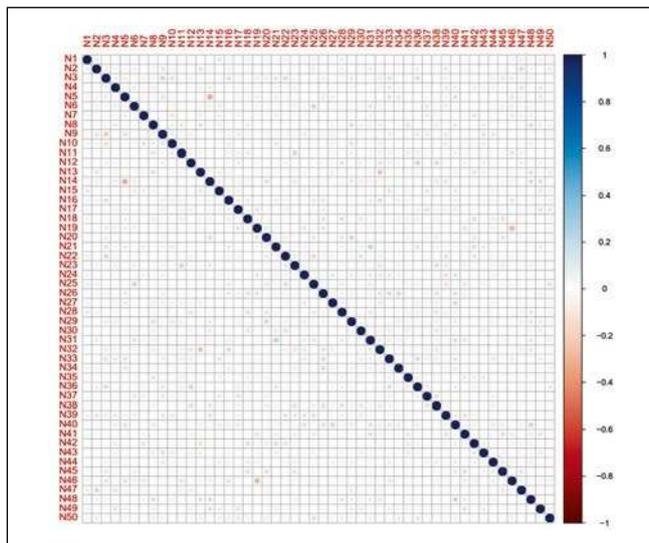


Рис. 8. Распределение коэффициента корреляции почасовых значений КЗ для 50-ти циклов моделирования (при построении этого графика учитывались только недиагональные элементы рис. 7)

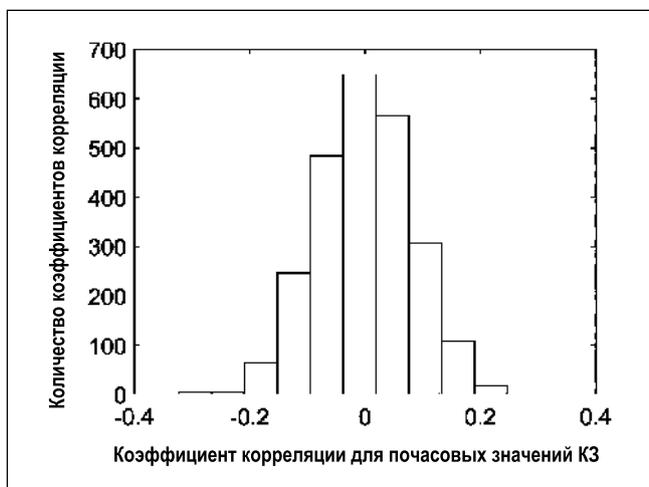
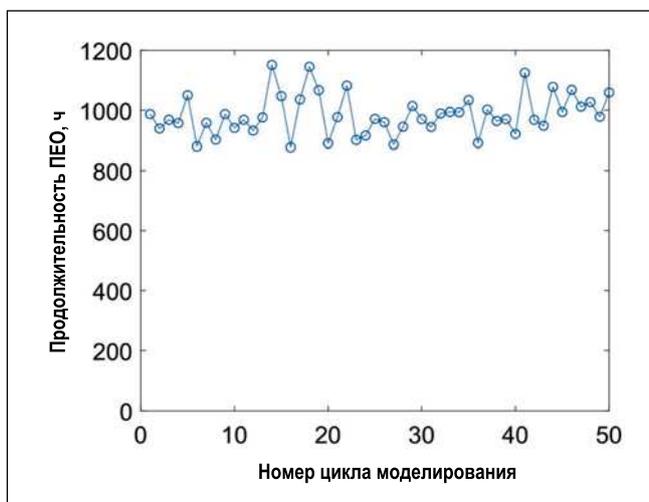


Рис. 9. Продолжительности ПЕО для всех циклов моделирования



обусловленную поведение пользователей неопределённость.

3.1.2. Требуемое количество циклов моделирования

Минимальное количество циклов моделирования, необходимое для получения сходящегося решения, опре-

делялось графическим методом. Полученные результаты приведены на рис. 5 и 6, из которых следует, что после 20 циклов моделирования среднегодовая естественная освещённость сходится, тогда как для сходимости продолжительности ПЕО требуется примерно 25 циклов моделирования. Для более точной оценки неопреде-

лённости в данной работе было выбрано равное 50 количество циклов моделирования. При этом следует отметить, что это количество требующихся циклов моделирования было получено применительно к работе СЗУ в рассматриваемых климатических условиях. В других работах, в которых моделировали больше вариантов поведения пользователей (сочетание регулировки СЗУ, открывания окна, выбора режима работы кондиционера и т.д.), это количество оказалось большим [14]. Так что чем меньше вариантов поведения пользователей принимаются во внимание, тем меньше и требуемое количество циклов моделирования. А при рассмотрении других моделей работы СЗУ требуемое количество циклов моделирования может отличаться от полученного в этой работе, и его следует определить при помощи метода, описанного в разделе 2.3.

3.1.3. Корреляция между результатами различных циклов моделирования

На рис. 7 приведены полученные на основе 50-ти циклов моделирования значения коэффициента корреляции Спирмена для почасовых значений КЗ, соответствующих разным парам циклов моделирования (на рис. 7 видны только диагональные элементы, так как прочие элементы имеют слишком маленькие размеры). При этом площадь круга отражает абсолютное значение соответствующего коэффициента корреляции (чем больше площадь круга, тем сильнее корреляция между циклами моделирования). Круги, расположенные на главной диагонали, имеют наибольшую площадь, так как в этом случае расчёты проводятся применительно к одному и тому же циклу моделирования, и коэффициент Спирмена равен 1. Распределение коэффициентов корреляции для недиагональных элементов приведено на рис. 8, из которого следует, что коэффициенты корреляции между почасовыми значениями КЗ по большей части близки к 0 и только в некоторых случаях достигают значений порядка 0,2/-0,2, что говорит об отсутствии корреляции или об очень слабой корреляции. Так что поведенческая модель не нивелирует неопределённость работы СЗУ, и её можно использовать для проведения анализа неопределённости естествен-

ного освещения и расходуемой на освещение энергии.

3.2. Неопределённость характеристик естественного освещения

На рис. 9 приведены продолжительности ПЕО для каждого из циклов моделирования, которые изменяются от цикла к циклу в пределах диапазона 800–2000 ч, что говорит о довольно большой неопределённости (в крайних случаях равной примерно $(1200-800)/800 \cdot 100\% = 50\%$). Для дальнейшего рассмотрения возможного распределения продолжительности ПЕО на рис. 10 приведён график нормальной вероятности, на котором полученные данные лежат примерно на прямой линии или около неё, что говорит о том, что распределение продолжительности ПЕО скорее всего является нормальным. Кроме того, для подтверждения нормального распределения этих данных был использован более строгий статистический критерий Шапиро-Вилка [16]. В результате было получено, что p -значение превышает 0,05 (пороговое значение), а это говорит о невозможности исключения нулевой гипотезы и нормальном распределении данных. При помощи уравнений (1) и (2) была рассчитана неопределённость характеристик естественного освещения (продолжительности ПЕО), оказавшаяся равной 15,08 %, а это означает, что если при прогнозировании естественного освещения не принимать во внимание поведение пользователей, то погрешность может оказаться равной примерно 15 %.

3.3. Неопределённость расходуемой на освещение энергии

Согласно действующим в Китае стандартам на освещение офисных зданий, если естественная освещённость оказывается меньшей, чем 300 лк, то необходимо ещё и искусственное освещение. Поэтому количество расходуемой на освещение энергии можно определить исходя из характеристик естественного освещения. Соответственно, для каждого из циклов моделирования была рассчитана продолжительность искусственного освещения (т.е. продолжительность периодов, в течение которых естественная

Рис. 10. График нормальной вероятности для продолжительности ПЕО

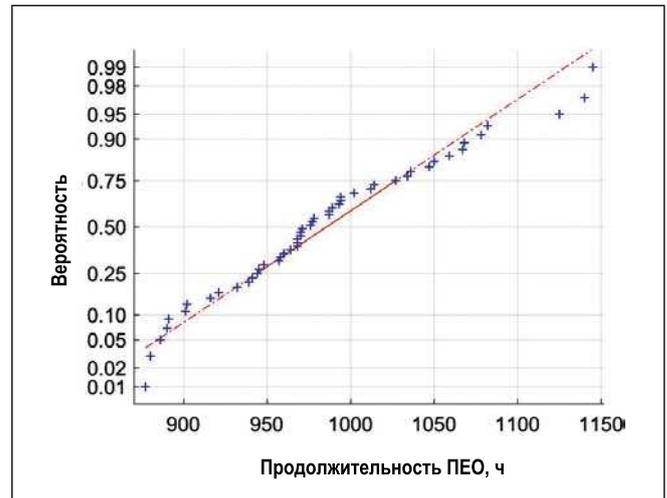


Рис. 11. Продолжительность искусственного освещения для всех циклов моделирования

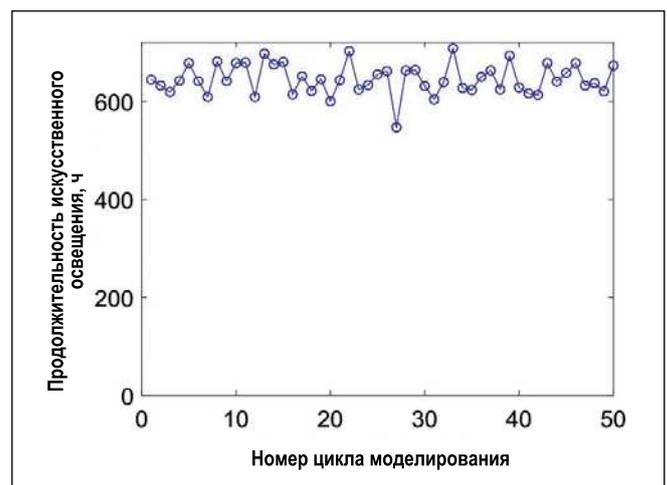
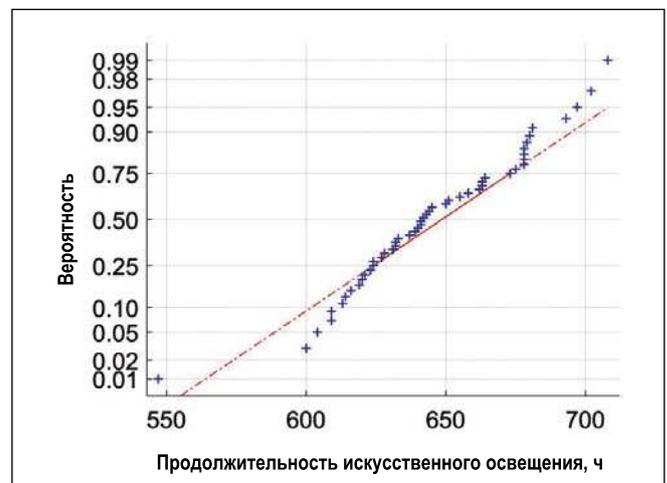


Рис. 12. График нормальной вероятности для продолжительности искусственного освещения



освещённость становится меньшей (менее чем 300 лк). Полученные результаты приведены на рис. 11, на котором видно, что продолжительность искусственного освещения лежит главным образом в интервале 600–700 ч. А на представленном на рис. 12 графике нормальной вероятности для продолжительности естественного освещения видно, что полученные данные

лежат примерно на прямой линии или около неё. Кроме того, в результате применения критерия Шапиро-Вилка было получено, что p -значение превышает 0,05 (пороговое значение), а это говорит о нормальном распределении данных. Поэтому была произведена аппроксимация в соответствии с уравнением (1), после чего на основе приведённых в табл. 1 данных

об удельном количестве расходуемой на освещение энергии при помощи уравнения (2) была рассчитана выраженная в процентах неопределённость этой энергии, оказавшаяся равной 10,38 %. Хотя такой уровень неопределённости расхода энергии не очень существенен и меньше, чем неопределённость характеристик естественного освещения, он всё же влияет на результаты экономического анализа (например, на определение срока окупаемости) регулируемых вручную СЗУ, так что при прогнозировании энергоэффективности регулируемых вручную СЗУ неопределённость поведения пользователей следует учитывать.

Если не учитывать поведение пользователей, то сравнение различных способов экономии энергии (например, сравнение сочетания прозрачных окон и регулируемых вручную СЗУ с окнами с пониженной прозрачностью без СЗУ) может привести к неправильным результатам. Например, моделирование энергозатрат требуется производить на стадии проектирования здания, и согласно требованиям китайских стандартов на энергоэффективность зданий прогнозируемая экономия энергии должна составлять не менее чем 50 %. И даже если прогнозируемая экономия энергии окажется всего лишь на 1 % меньше, чем 50 %, то для удовлетворения обязательным нормативным требованиям нужно будет предпринять более эффективные по сравнению с уже задействованными меры, позволяющие увеличить экономию энергии по меньшей мере на 1 %. И равная примерно 10 % неопределённость энергозатрат может существенным образом повлиять на выбор мер по обеспечению энергоэффективности зданий, так что при расчётах следует учитывать обусловленную поведением потребителей неопределённость энергозатрат. Однако включение точного анализа неопределённости энергозатрат в обязательные стандарты связано с большими трудностями, так как существующие поведенческие модели СЗУ всё ещё разрабатываются в исследовательских целях и не могут быть напрямую использованы при проектировании зданий. Тем не менее, можно предложить некоторые усовершенствования связанных с проектированием стандартов, которые обеспечили бы более точное

прогнозирование неопределённости энергозатрат вместо использования простых сценариев регулирования СЗУ (таких как полное затенение или полное отсутствие затенения, что соответствует совершенно нереальному поведению пользователей), приводящих к единственному детерминированному варианту энергозатрат. Например, таким усовершенствованием может стать использование характерных значений КЗ (например, нижняя и верхняя границы доверительного интервала с уровнем доверия 75 %) для моделирования, осуществляемого в соответствии с рис. 3. Этот подход обеспечивает получение вероятного интервала энергоэффективности и уровня неопределённости. Кроме того, более реалистичные параметры моделирования работы регулируемых вручную СЗУ нужны и для связанных с проектированием стандартов. При этом возможные усовершенствования этих стандартов нуждаются в дополнительном рассмотрении и проверке на основе большего количества результатов полевых исследований.

4. Заключение

В статье представлен анализ неопределённости характеристик естественного освещения и расходуемой на освещение энергии при использовании регулируемых вручную СЗУ. При этом для проведения совместного моделирования использовалась разработанная ранее стохастическая модель. Полученные результаты показали, что использование поведенческой модели СЗУ с очень слабой связью между результатами различных циклов моделирования (значений КЗ) не привело к устранению неопределённости работы СЗУ. Неопределённость характеристик естественного освещения составила 15,08 %, тогда как неопределённость затрачиваемой на освещение энергии оказалась равной 10,38 %. Хотя подобная неопределённость расхода энергии не очень существенна, она всё же влияет на результаты экономического анализа регулируемых вручную СЗУ, так что при прогнозировании энергоэффективности регулируемых вручную СЗУ неопределённость поведения пользователей следует учитывать. В ином случае сравнение различных способов экономии энергии может привести к неправильным результатам.

Эта работа финансировалась Фондом естественнонаучных исследований провинции Чжэцзян, Китай (грант № LY18E080012), Китайским национальным фондом естественнонаучных исследований (грант № 51878358) и Национальной программой НИОКР в области важнейших технологий Министерства науки и техники (грант 2013BAJ10B06). Кроме того, авторы хотели бы выразить свою благодарность фонду *K.C. Wong Magna Fund* Университета г. Нинбо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yao, J. An investigation into the impact of movable solar shades on energy, indoor thermal and visual comfort improvements // *Building and Environment*.– 2014. – No. 1. – P. 24–32.
2. Yao, J. Determining the energy performance of manually controlled solar shades: A stochastic model based co-simulation analysis // *Applied Energy*.– 2014. – No. 8. – P. 64–80.
3. Yan, D., et al. IEA EBC Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings // *Energy and Buildings*.– 2017. – Supplement C. – P. 258–270.
4. Labat, M., Attonaty, K. Numerical estimation and sensitivity analysis of the energy demand for six industrial buildings in France // *Journal of Building Performance Simulation*.– 2018. – No. 2. – P. 223–240.
5. Guerra-Santin, O., et al. Mixed methods approach to determine occupants' behaviour – Analysis of two case studies // *Energy and Buildings*.– 2016. – Vol. 130, No. 10. – P. 546–566.
6. Haldi, F., Robinson, D. The impact of occupants' behaviour on building energy demand // *Journal of Building Performance Simulation*.– 2011. – No. 4. – P. 323–338.
7. Brien, W.O., Gunay, H.B. Mitigating office performance uncertainty of occupant use of window blinds and lighting using robust design // *Building Simulation*.– 2015. – No. 6. – P. 621–636.
8. Gilani, S., O'Brien, W., Gunay, H.B. Simulating occupants' impact on building energy performance at different spatial scales // *Building and Environment*.– 2018. – Vol 132, No. 3. – P. 327–337.
9. Reinhart, C.F. Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds // *Solar Energy*.– 2004. – No. 1. – P. 15–28.
10. Yao, J., et al. Occupants' impact on indoor thermal comfort: a co-simulation study on stochastic control of solar shades // *Journal of building performance simulation*.– 2016. – No. 3. – P. 272–287.
11. Yao, J. Daylighting performance of manual solar shades // *Light & Engineering*.– 2018. – No. 1. – P. 99–104.

12. *Яо Ц.* Естественное освещение при ручном регулировании солнцезащитных устройств // Светотехника.– 2018.– № 1. – С. 57–61.

13. *Yao, J., Chow, D., Chi, Y.* Impact of Manually Controlled Solar Shades on Indoor Visual Comfort // Sustainability.– 2016. – No. 8. – Article number 727.

14. *Chapman, J., Siebers, P., Robinson, D.* On the multi-agent stochastic simulation of occupants in buildings // Journal of Building Performance Simulation.– 2018. – No. 5. – P. 604–621.

15. *Robinson, S.* Simulation: The Practice of Model Development and Use. – UK: Palgrave Macmillan, 2014.– 392 p..

16. *Prada, A., et al.* Uncertainty propagation of material properties in energy simulation of existing residential buildings: The role of buildings features // Building Simulation.– 2018. – No. 3. – P. 449–464.



Цзянь Яо (Jian Yao), Ph.D. (2013 г.). Доцент архитектурного факультета 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



Ли И Чэнь (Li Yi Chen). Преподаватель архитектурного факультета Университета г. Нинбо, Китай. Имеет многолетний опыт работы в области архитектурно-строительного проектирования



У Цзинь (Wu Jin). Преподаватель архитектурного факультета Университета г. Нинбо, Китай. Имеет многолетний опыт преподавания в области архитектурно-строительного

проектирования, в том числе проектирования коммерческих зданий, жилых домов, школьных зданий и др.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И ВЫСТАВКИ В 2020 ГОДУ (II квартал)

Дата	Название мероприятия	Место проведения
	ElectronTechExpo - 2020 18-я Международная выставка технологий, оборудования и материалов для производства изделий электронной и электротехнической промышленности	
14–16.04	ExpoElectronica - 2020 23-я Международная выставка электронных компонентов, модулей и комплектующих	Москва, РФ exponet.ru
	ВакуумТехЭкспо - 2020 15-я Международная выставка вакуумной техники, материалов и технологий	
20–22.04	Свет в музее 2-я Международная научно-практическая конференция по вопросам музейного освещения	Санкт-Петербург, РФ svet-v-muzee-2020.nts-svet.ru
20–22.04	9th LUX PACIFICA 9-я Международная конференция светотехнических обществ стран Тихоокеанского региона	Санкт-Петербург, РФ luxpacifica2020.vnisi.ru
21–23.04	EnergyExpo Kyrgyzstan - 2020 11-я Международная специализированная выставка энергетики и освещения	Бишкек, Кыргызстан exponet.ru
22–24.04	LEDTEC Asia Вьетнамская международная торгово-промышленная выставка по светодиодам, органическим светодиодам и цифровым медиасистемам	Хошимин, Вьетнам lightsearch.com
05–07.05	LIGHTFAIR International Международная светотехническая торгово-промышленная выставка	Лас-Вегас (Нев.), США lightsearch.com
08–11.06	Электро - 2020 29-я Международная выставка электрооборудования для энергетики и электротехники, автоматизации и промышленной светотехники	Москва, РФ exponet.ru
	Мир стекла - 2020 Международная выставка стеклопродукции, технологий и оборудования для изготовления и обработки стекла	
18–21.06	Lightovation: Dallas International Lighting Show Международная светотехническая торговая выставка	Даллас (Тех.), США lightsearch.com