Определение распределения яркости в условиях тропического неба

Нгуен Тхи Хань Фьонг^{1,2}

¹ *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;*

² *Национальный строительный университет (NUCE); Ханой, Вьетнам*

АННОТАЦИЯ

Введение. Расчеты естественного освещения зависят от распределения яркости неба. Наиболее часто используемая диаграмма яркости неба в руководствах и рекомендациях — это распределение яркости в облачное небо, предложенное Муном и Спенсером, включая тропические районы Вьетнама, где облачное небо и ясное небо обычно не встречаются. Для совершенствования расчета естественного освещения необходимо определить распределение яркости реального неба.

Материалы и методы. Реальные типы неба для Ханоя были определены с использованием пятнадцати международных стандартных типов небосвода с их описаниями по световому климату, который предоставляется с помощью метода R. Kittler. Эти описания получены из данных по диффузной горизонтальной освещенности D_v , внеземной горизонтальной освещенности E_v и коэффициенту световой мутности T_v . При определенном типе неба выбраны стандартные параметры для расчета распределения яркости реального неба.

Результаты. Полученные результаты показывают, что типичным типом неба для Ханоя является частично облачное небо, без градиента к зениту, с небольшим просветлением к солнцу (тип 6). Типы неба с октября по декабрь частично облачные и с затененным Солнцем (тип 9) и частично облачные и с более яркой околосолнечной областью (тип 10). Исследование показывает, что состояние облачности имеет большое влияние на уровень диффузной горизонтальной освещенности и распределения яркости в условиях тропического неба.

Выводы. Выявлено, что типичное небо для Ханоя не является облачным, ясным. Частично-облачное небо с высокой статистикой облачных типов перистых и слоистых под воздействием высокой солнечной радиации тропического климата Вьетнама дает высокую диффузную горизонтальную освещенность. Сравнение расчетных значений распределения яркости между определенным промежуточным и стандартным пасмурным небом показывает, что различие в распределении яркости ниже 10 %, когда угол возвышения участка неба над горизонтом γ выше 50°. То есть для системы бокового естественного освещения распределение яркости β предлагаемого типа неба представляет большую разницу.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: типы небосводов, распределение яркости неба, расчет естественного освещения, ясное небо, пасмурное небо, промежуточное небо, состояние облачности, диффузная горизонтальная освещенность, внеземная горизонтальная освещенность

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Фьонг Н.Т.Х. Определение распределения яркости в условиях тропического неба // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 9. С. 1096–1105. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.9.1096-1105

Determination of luminance distribution under tropical sky conditions

Nguyen Thi Khanh Phuong^{1,2}

¹ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation;*

² *National University of Civil Engineering (NUCE); Hanoi, Vietnam*

ABSTRACT

Introduction. Natural illumination calculations depend on the sky luminance distribution. The most often used diagram of sky luminance in handbooks and guidelines is the luminance distribution in the cloudy sky proposed by Moon and Spencer. This concept actually includes the tropical areas of Vietnam, where the overcast sky and clear sky does not typically occur. To improve the calculation of natural illumination, it is necessary to determine the luminance distribution in the real sky.

Materials and methods. In solving the research problem, the real sky types for Hanoi were identified using the 15 international standard sky types with their descriptions by lighting climate, which is provided using the method by R. Kittler. The descriptions are derived from the data on diffuse horizontal illumination D_v , extraterrestrial horizontal illumination E_v and light turbidity coefficient T_v . For a specific sky type, the standard parameters were selected for calculating the luminance distribution of the real sky.

Results. The obtained results show that the typical sky type of Hanoi is the partly cloudy sky, no gradation towards zenith, with slight bleaching towards the Sun (type VI). The sky types from October to December are partly cloudy with the obscured Sun (type IX) and partly cloudy with the more luminant circumsolar area (type X). The study shows that the state of cloud coverage has a great influence on the level of diffuse horizontal illumination and luminance distribution under tropical sky conditions.

Conclusions. It is revealed that the typical sky type for Hanoi is neither overcast nor clear sky. A typical sky with statistic dominance of cirrus and stratus clouds under effect of high solar radiation of Vietnamese tropical climate gives a high level of diffuse horizontal illuminance. The results show that the difference in luminance distribution between the CIE standard overcast sky and Kittler's intermediate sky can be resolved at the angles of sky point elevation above horizon γ is higher than 50° with the relative errors below 10 %. In other words, the luminance distribution β of the considered sky type is significant for a system of side natural illumination.

KEYWORDS: sky type, sky luminance distribution, natural illumination calculation, clear sky, overcast sky, intermediate sky, cloudy state, diffuse horizontal illumination, extraterrestrial horizontal illumination

FOR CITATION: Phuong N.T.K. Determination of luminance distribution under tropical sky conditions. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2019; 14:9:1096-1105. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.9.1096-1105

ВВЕДЕНИЕ

Дневной свет является устойчивым источником света для зданий. Исследования доказали, что он может обеспечить энергосбережение, хорошую цветопередачу, высокую производительность труда, хороший визуальный комфорт, а также физиологические и психологические потребности человека [1–3]. Естественный свет всегда играл доминирующую роль в жизни человека [4–6]. Для правильного расчета естественного освещения и правильного моделирования энергопотребления необходимо изучать условия распределения естественного освещения в течение всего года [7–10]¹. В работах [11–14] подход доступности освещения рассчитывался с помощью интеграции яркости в телесный угол окна, при этом возможно определить распределение яркости неба в различных ситуациях. В большинстве программ моделирования применялись модели облачного неба Международной комиссии по освещению (МКО), в некоторых программах моделирования, таких как RADIANCE, Design Builder рассматривается промежуточное небо [15–17].

Согласно труду R. Perez и соавторов [18], распределение яркости неба представляется как суперпозиция четырех типов неба МКО:

1. Для ясного неба (*the clear skies*) согласно «CIE Technical Committee 4.2. Standardization of Luminance Distribution on Clear Skies» распределение

яркости было определено по исследованию². Общими характеристиками распределения яркости ясного неба являются большой пик около Солнца, включая минимум в точке на другой стороне зенита от Солнца и в вертикальной плоскости, содержащей Солнце, а также увеличение яркости при приближении к горизонту.

$$\beta_{cs} = \frac{L_{(\alpha, \gamma)}}{L_z} = \frac{\left(1 - e^{\frac{-0,32}{\sin \gamma}}\right) (0,91 + 10 \cdot e^{-3X} + 0,45 \cdot \cos^2 X)}{0,274 \cdot (0,91 + 10 \cdot e^{-3Z_s} + 0,45 \cdot \cos^2 Z_s)}, \quad (1)$$

$$X = \arccos(\cos Z_s \cdot \cos Z + \sin Z_s \cdot \sin Z \cdot \cos A_z). \quad (2)$$

2. Для ясного мутного неба (*the clear turbid skies*) по данным K. Matsuura [19] распределение яркости ясного мутного неба определялось по формуле (3):

$$\beta_{ts} = \frac{L_{(\alpha, \gamma)}}{L_z} = \frac{\left(1 - e^{\frac{-0,32}{\sin \gamma}}\right) (0,856 + 16 \cdot e^{-3X} + 0,3 \cdot \cos^2 X)}{0,274 \cdot (0,856 + 10 \cdot e^{-3Z_s} + 0,3 \cdot \cos^2 Z_s)}. \quad (3)$$

3. Для промежуточного неба (*the intermediate skies*) в работе «CIE Technical Committee 4.2. Standardization of Luminance Distribution on Clear Skies»

¹ ГОСТ Р 57260-2016 (ИСО 15469:2004). Климатология строительная. Параметры для расчета естественного освещения с учетом распределения яркости по небосводу. М. : Стандартинформ, 2016.

² CIE Technical Committee 4.2. Standardization of Luminance Distribution on Clear Skies. Commission Internationale d'Éclairage. CIE Publish. 1973. No. 22. 33 p.

отмечается, что распределение яркости этого неба имеет следующий вид:

$$\beta_{is} = \frac{L_{(\alpha, \gamma)}}{L_z} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_3 Z_4}, \quad (4)$$

где

$$Z_2 = \exp[-0,563\gamma(\gamma_s - 0,008)(\gamma + 1,059) + 0,812]; \quad (5)$$

$$Z_3 = 0,99224 \cdot \sin(2,6\gamma_s + 0,316) + 2,73852; \quad (6)$$

$$Z_4 = \exp\left[-0,563\left(\frac{\pi}{2} - \gamma_s\right) \times \right. \\ \left. \times (2,6298(\gamma_s - 0,008) + 0,812)\right]. \quad (7)$$

4. Для облачного неба МКО (*the overcast sky*) распределение яркости по закону Муна – Спенсер [21] вычисляли по формуле (8):

$$\beta_{os} = \frac{L_\gamma}{L_z} = \frac{1 + 2 \sin \gamma}{3}. \quad (8)$$

В отличие от случая ясного неба, распределение яркости для пасмурного неба не зависит от солнечного азимута или небесного азимута. Кроме того, яркость зенита ($\gamma = \pi/2$) на фиксированной солнечной высоте в три раза ярче горизонта ($\gamma = 0$). Где β_{cs} — распределение яркости ясного неба, кд/м²; β_{is} — распределение яркости ясного мутного неба, кд/м²; β_{os} — распределение яркости промежуточного неба, кд/м²; β_{as} — распределение яркости облачного неба, кд/м²; α, γ — азимут и высотные углы участка неба, радиан; α_s — азимут солнца (по ходу часовой стрелки от севера), радиан; $A_z = |\alpha - \alpha_s|$; L_z — яркость неба в зените, кд/м²; γ_s — угол возвышения солнца над горизонтом, радиан; Z — угловое расстояние между участком неба и зенитом, $Z = 90^\circ - \gamma$; $L_{\gamma a}$ — яркость в любом произвольном участке неба,

кд/м²; X — наиболее короткое угловое расстояние между участком неба и солнцем, определяемое уравнением (2) (радиан); Z_s — угловое расстояние между солнцем и зенитом, радиан.

В исследованиях R. Kittler и R. Perez [21, 22] были определены типы неба на основе концепций, обосновывающих задачу разработки нового набора стандартов неба, который использует отношение рассеянной освещенности неба к внеземной горизонтальной освещенности D_v/E_v и коэффициент световой мутности T_v как дескрипторы типов неба. Углы, определяющие положение элемента солнца и неба, представлены на рис. 1.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Чтобы создать измерительную линейку распределения относительной яркости в различных типах неба, набор стандартных небесных облаков, характеризующих условия дневного света, отождествляется с тремя основными концепциями³:

- расхождение и отсутствие стандартов для характеристики неустойчивого состояния светового климата;
- необходимость связать весь спектр неба между стандартизованным облачным МКО и МКО ясного неба, охватывающим реальные условия;
- тенденция оценивать и принимать также модели облачного и частично облачного неба, которые редко указывались из-за полного отсутствия параметризации и измеренного распределения яркости неба.

³ CIE DS 011.0/E-2001. Spatial distribution of daylight-CIE standard general sky. Draft standard. CIE Central Bureau. Vienna, 2001. 12 p.

Рис. 1. Углы, определяющие положение элемента солнца и неба [23]

Fig. 1. Angles determining the Sun and sky element positions [23]

Принимая во внимание эти понятия, в работах [21, 23] были представлены пятнадцать типов относительного распределения яркости неба. Кроме того, это определение условий дневного освещения является более подробным и охватывает весь спектр с учетом различного диффузного рассеяния в атмосфере и воздействия прямых солнечных лучей [23, 24].

В последние годы, чтобы идентифицировать типы неба, необходимо рассчитать, по крайней мере, два описания: отношение диффузной горизонтальной освещенности D_v к внеземной горизонтальной освещенности E_v и коэффициент световой мутности T_v , который приблизительно соответствует количеству идеально чистых атмосфер, представляющих фактический случай и рассчитывается по формулам (10)–(14) [23, 25].

$$T_v = \frac{-\ln\left(\frac{P_v}{E_v}\right)}{av \cdot m}, \quad (9)$$

$$\frac{P_v}{E_v} = \frac{G_v}{E_v} - \frac{D_v}{E_v}; \quad (10)$$

$$E_v = 133,8 \sin \gamma_s, \text{ lux}; \quad (11)$$

$$m = \frac{1}{\sin \gamma_s + 0,50572(\gamma_s + 6,07995^0)^{-1,6364}}; \quad (12)$$

$$A_v = \frac{1}{9,9 + 0,043 \cdot m}, \quad (13)$$

где T_v — коэффициент световой мутности; P_v — прямая солнечная горизонтальная освещенность,

Клк; E_v — внеземная горизонтальная освещенность, Клк; D_v — рассеянная освещенность неба, Клк; G_v — глобальная освещенность, Клк; m — воздушная масса проникла и A_v — идеальное свечение, зависит от солнечной высоты γ_s , °.

Расчет распределения яркости неба был обеспечен функциональной формулой, в которой положение Солнца и произвольного элемента неба, а также параметры a , b , c , d и e , описывающие атмосферные условия, должны приниматься в качестве входных расчетных величин по формуле (14):

$$\beta = \frac{L_{\gamma\alpha}}{L_z} = \frac{f(X)\phi(Z)}{f(Z_s)\phi(0^0)}. \quad (14)$$

Функция градации яркости ϕ связывает яркость элемента неба с его зенитным углом по формулам (15)–(18):

$$\phi(Z) = 1 + a \cdot \exp\left(\frac{b}{\cos Z}\right); \quad (15)$$

$$\phi(0^0) = 1 + a \cdot \exp b; \quad (16)$$

$$f(X) = 1 + c \left[\exp(dX) - \exp\left(\frac{d\pi}{2}\right) \right] + e \cdot \cos^2 X; \quad (17)$$

$$f(Z_s) = 1 + c \left[\exp(dZ_s) - \exp\left(\frac{d\pi}{2}\right) \right] + e \cdot \cos^2 Z_s. \quad (18)$$

где $0 \leq Z \leq \pi/2$ и на горизонте $\phi(\pi/2) = 1$.

Стандартные параметры a , b , c , d и e могут быть оценены после определения типа неба, типичное значение дескриптора для этого неба представлено в табл. 1, 2.

Табл. 1. Стандартные параметры различных типов распределения яркости по небу (МКО) [23]

Table 1. The standard parameters with various sky types (CIE) [23]

Тип / Type	Градация / Gradation	Индикатриса / Indicatrix	a	b	c	d	e	Описание распределения яркости / Luminance distribution description
1	I	1	4,0	−0,7	0	−1,0	0,00	СIE Стандартное облачное небо, альтернативная форма крутая градация яркости к зениту, азимутальная однородность / CIE Standard Cloudy Sky, alternative form steep luminance gradation towards zenith, azimuthal uniformity
2	I	2	4,0	−0,7	2	−1,5	0,15	Пасмурно, с крутой градацией яркости и небольшим освещением к солнцу / Overcast, with steep luminance gradation and low solar illumination
3	II	1	1,1	−0,8	0	−1,0	0,00	Облачно, умеренно градуировано с азимутальной однородностью / Cloudy, moderate luminance gradation with azimuthal uniformity
4	II	2	1,1	−0,8	2	−1,5	0,15	Облачно, умеренно градуировано и слегка осветляет Солнце / Cloudy, moderate luminance gradation and slight solar illumination
5	III	1	0,0	−1,0	0	−1,0	0,00	Небо равномерной яркости / Uniform luminance sky

Тип / Type	Градация / Gradation	Индикатриса / Indicatrix	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	Описание распределения яркости / Luminance distribution description
6	III	2	0,0	−1,0	2	−1,5	0,15	Переменная облачность, нет градации к зениту, небольшое просветление к солнцу / Intermittent cloud cover, no gradation towards zenith, slight bleaching towards sun
7	III	3	0,0	−1,0	5	−2,5	0,30	Переменная облачность, нет градации к зениту, более яркая околосолнечная область / Intermittent cloud cover, no gradation towards zenith, more luminant circumsolar area
8	III	4	0,0	−1,0	10	−3,0	0,45	Переменная облачность, нет градации к зениту, четкая солнечная корона / Intermittent cloud cover, no gradation towards zenith, sharp solar corona
9	IV	2	−1,0	−0,55	2	−1,5	0,15	Переменная облачность с затененным солнцем / Intermittent cloud cover, obscured sun
10	IV	3	−1,0	−0,55	5	−2,5	0,30	Переменная облачность, с более яркой околосолнечной областью / Intermittent cloud cover, more luminant circumsolar area
11	IV	4	−1,0	−0,55	10	−3,0	0,45	Бело-голубое небо с ярко выраженной солнечной короной / Blue-white turbid with pronounced solar corona
12	V	4	−1,0	−0,32	10	−3,0	0,45	CIE Стандартное ясное небо, мутность при низкой освещенности / CIE Standard Clear Sky, turbidity at low luminance
13	V	5	−1,0	−0,32	16	−3,0	0,30	CIE Standard Clear Sky, загрязненная атмосфера / CIE Standard Clear Sky, polluted atmosphere
14	VI	5	−1,0	−0,15	16	−3,0	0,30	Безоблачное мутное небо с широкой солнечной короной / Cloudless turbid sky with wide solar corona
15	VI	6	−1,0	−0,15	24	−2,8	0,15	Бело-голубое мутное небо с широкой солнечной короной / Blue-white turbid with wide solar corona

Табл. 2. Параметры описания различных типов неба [23]

Table 2. Description parameters for various sky types [23]

Тип неба / Sky type	Код неба / Sky code	T_v	D_v/E_v
1	I.1	> 45	0,10
2	I.2	> 20	0,18
3	II.1	> 45	0,15
4	II.2	> 20	0,22
5	III.1	> 45	0,20
6	III.2	> 20	0,38
7	III.3	12,0	0,42
8	III.4	10,0	0,41
9	IV.2	12,0	0,40
10	IV.3	10,0	0,36
11	IV.4	4,0	0,23
12	V.4	2,5	0,10
13	V.5	4,5	0,28
14	VI.5	5,0	0,28
15	VI.6	4,0	0,30

Стандартные параметры: в табл. 1 представлено пятнадцать типов стандартного неба и распределение яркости, которые основаны на шести группах значений *a* и *b* для функции градации, а также шести группах значений *c*, *d* и *e* для функции индикатрисы.

Standard parameters: table 1 gives 15 types of standard sky and luminance distribution based on 6 groups of values *a* and *b* for gradation function as well as 6 groups of values *c*, *d* and *e* for indicatrix function.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение типа неба с относительными D_v/E_v и коэффициентом световой мутности T_v на основе набора стандартного неба, предложенного R. Kittler

Чтобы получить соотношение D_v/E_v , данные о диффузной освещенности по горизонтали и вне-земной горизонтальной освещенности собраны для Ханоя из файла ASHRAE IWEC2 — «White Box Technologies, weather data for energy calculations». Этот файл основан на интегрированной почасовой

основе по поверхности ISD за 12 лет записи [26]. Полученные результаты расчетов приведены в табл. 3.

Типы неба с октября по декабрь частично облачные с затененным солнцем и частично облачные с более яркой околосолнечной областью, которая описывается с помощью кода неба IV.2 и IV.3 для типов неба 9 и 10. С января по сентябрь типичное небо идентифицирует частично облачное небо, без градации к зениту, небольшое просветление к солнцу с кодом неба III.2 для типа неба 6. Графическое представление распределения яркости неба можно получить, как показано на рис. 2.

Табл. 3. Помесячные значения отношения D_v/E_v для различных типов неба

Table 3. Monthly values of D_v/E_v ratio for various sky types

Месяц / Month	Январь / January	Февраль / February	Март / March	Апрель / April	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Сентябрь / September	Октябрь / October	Ноябрь / November	Декабрь / December	Годовой средний / Average annual
T_v	17,8	17,3	13,4	22,6	30,2	23,5	26,1	17,1	18,6	6,5	6,5	12,5	17,7
D_v/E_v	0,36	0,31	0,38	0,35	0,37	0,37	0,35	0,36	0,36	0,33	0,33	0,34	0,35
Тип неба / Sky type	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	X	X	IX	VI

Рис. 2. Распределение относительной яркости β в зависимости от типа неба (тип неба VI для Ханоя)

Fig. 2. Distribution of relative luminance β in depending on sky types for general sky type IV (in comparison with sky types IX, X in October to December)

Табл. 4. Статистические диапазоны облачности и часы воздействия солнечного света для Ханоя (QCVN 02:2009/BXD Vietnam Building Code Natural Physical & Climatic Data for Construction, 2009) ⁵

Table 4. Statistic cloud cover ranges and sunlight exposure hours for Hanoi (QCVN 02:2009/BXD Vietnam Building Code Natural Physical & Climatic Data for Construction, 2009) ⁵

	Январь / January	Февраль / February	Март / March	Апрель / April	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Сентябрь / September	Октябрь / October	Ноябрь / November	Декабрь / December	Годовой средний / Average annual
(1)	8,2	9,1	9,2	8,7	7,7	8,2	8,0	7,9	6,8	6,4	6,5	6,7	7,8
(2)	74	47	47	90	183	172	195	174	176	167	137	124	1585

Примечание: (1) — статистическая облачность; (2) — часы солнечного света.

Note: (1) — statistic cloud cover; (2) — sunlight hours.

Статистическая облачность во Вьетнаме

По исследованиям Nguyen Sanh Dan, Pham Ngoc Dang и др.⁴ [27] о световом климате во Вьетнаме, соответственно со Строительным кодексом «QCVN 02:2009/BXD Vietnam Building Code Natural Physical & Climatic Data for Construction, 2009»⁵ было показано, что статистика облачности оказывает большое влияние на дневной климат (табл. 4).

Тропическое небо Ханоя, как правило, покрыто с высоким диапазоном, облака перистые (Ci), слоистые (St) и кучевые (Cu). Статистическая облачность перистых (Ci) и слоистых (St) облаков формируется на большой высоте между 4...12 км, характерной для солнечных дней. В этом состоянии небо характеризует высокий уровень рассеянного

излучения и рассеянной горизонтальной освещенности. Тип облаков кучевые (Cu) и кучево-дождевые облака (Cb) образуются на малых высотах, ниже 2 км (0,6...1 км), характерных для пасмурных дней. Облако кучево-дождевых облаков является плотным. При этом облако — вертикально возвышающееся и образующееся из водяного пара, переносимого мощными восходящими воздушными потоками. Кроме того, существуют различные типы облаков, как перисто-слоистых (Cs), слоисто-кучевых (Sc), которые формируются на средней высоте. Статистический диапазон облачности в Ханое показан в табл. 4.

Используя относительные D_v/E_v и коэффициент световой мутности T_v , основанные на наборе стандартного неба, предложенном R. Kittler, тип неба в Ханое был определен как «Облачно с прояснениями, без градации к зениту, незначительное осветление к солнцу» — тип VI. Этот тип неба почти приблизился к стандартному небу CIE с равномерной

⁴ QCVN 02:2009/BXD. Vietnam building code natural physical & climatic data for construction. Hanoi: Ministry of Construction, 2009. 324 p.

⁵ Design standard TCXD 29:1991. Natural lighting in civil works. Hanoi : Ministry of Construction, 1991. 187 p.

Табл. 5. Результаты сравнения, определяющие распределение яркости для Ханоя

Table 5. The comparison results defining luminance distribution for Hanoi (Vietnam)

$\gamma, ^\circ /$ γ, degree	Распределение яркости β / Luminance distribution β		
	CIE пасмурное небо / CIE overcast sky	Реальное небо (тип VI) / Real sky (type VI)	Относительная ошибка, % / Relative error, %
10	0,45	0,99	119,41
20	0,56	0,98	75,79
30	0,67	0,98	46,69
40	0,76	0,98	29,31
50	0,84	0,98	17,18
60	0,91	0,99	8,48
70	0,96	0,99	3,56
80	0,99	1,00	0,95
90	1,00	1,00	—

яркостью. Частично, в зимний период небо становится более ясным и отодвигается от CIE Standard Clear Sky, мутность при низкой освещенности (тип неба IX и X, рис. 2). При сравнении со стандартным пасмурным небом CIE (табл. 5) видно, что с высотными углами точки на небе γ выше 50° , относительные ошибки значений распределения яркости β меньше, чем 10 %. В условиях городского строительства, когда нижняя часть горизонта перекрыта соседним зданием, результаты, полученные этими двумя типами неба, дают небольшую разницу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных расчетных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Небо тропического Ханоя является промежуточным, его характеризует высокий уровень

диффузной горизонтальной освещенности с высокой статистикой облачности перистых и слоистых типов.

2. Тип неба Ханоя на основе двух стандартных типов МКО: пасмурное небо (Мун – Спенсер) и стандартное ясное небо (R. Kittler). Использование предлагаемого метода при определении реального состояния неба и реального распределения яркости помогает уточнить расчет естественного освещения при определении значения коэффициента естественной освещенности применительно к световому климату местности.

3. Сравнение расчетных значений распределения яркости между промежуточным и стандартным пасмурным небом показывает, что различие достаточно большое, когда угол возвышения участка неба над горизонтом γ меньше 50° .

ЛИТЕРАТУРА

1. Dahlan N.D., Jones P.J., Alexander D.K., Salleh E., Alias J. Daylight ratio, luminance, and visual comfort assessments in typical malaysian hostels // *Indoor and Built Environment*. 2009. Vol. 18. Issue 4. Pp. 319–335. DOI: 10.1177/1420326X09337041
2. Dubois M.C., Blomsterberg A. Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: a literature review // *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43. Issue 10. Pp. 2572–2582. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.07.001
3. Mardaljevic J., Heschong L., Lee E.S. Daylight metrics and energy savings // *Lighting Research & Technology*. 2009. Vol. 41. Issue 3. Pp. 261–283. DOI: 10.1177/1477153509339703
4. Phuong N.T.X., Solovyov A.K., Ha P.T.H., Hanh D.K. Confirmed method for definition of daylight climate for tropical Hanoi // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 982. Pp. 35–47. DOI: 10.1007/978-3-030-197 https://doi.org/56-8_4
5. Solovyov A.K. Research into illumination of buildings and constructions conducted in architectural and construction educational and scientific institutes: a review // *Light & Engineering*. 2017. Vol. 25. Issue 1. Pp. 23–30.
6. Boyce P.R. Human factors in lighting. London : CRC Press, 2014. 703 p. DOI: 10.1201/b16707
7. Соловьев А.К., Фьюнг Н.Т.Х. Метод расчета параметров светового климата по световой эффективности солнечного излучения: пример сравнительного анализа светового климата Ханоя и Москвы // *Светотехника*. 2018. № 5. С. 21–24.
8. Dubois M.C., Blomsterberg A. Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review // *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43. Issue 10. Pp. 2572–2582. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.07.001
9. Mardaljevic J., Heschong L., Lee E.S. Daylight metrics and energy savings // *Lighting Research & Technology*. 2009. Vol. 41. Issue 3. Pp. 261–283. DOI: 10.1177/1477153509339703
10. Lim Y.W., Mohd Zin K., Mohd Hamdan A., Ossen D.R., Aminatuzuhariah M.A. Building facade design for daylighting quality in typical government office building // *Building and Environment*. 2012. Vol. 57. Pp. 194–204. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.04.015
11. Dumortier D., Fontoynt M., Avouac-Bastie P. Daylight availability in Lyon // *Proc. of the European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings*. Ecole Nationale des Travaux de l'Etat Lyon. 1994. Pp.1315–1320.
12. Phuong Nguyen Thi Khanh, Solovyov A. Potential daylight resources between tropical and temperate cities — a case study of Ho Chi Minh city and Moscow // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 193. P. 04013. DOI: 10.1051/mateconf/201819304013
13. Mardaljevic J., Christoffersen J., Raynham P. A proposal for a European standard for daylight in buildings // *Lux Europa 2013 12th European Lighting Conference*. Krakow. Poland. 2013. 14 p.
14. Lim Y.W., Heng C.Y.S. Dynamic internal light shelf for tropical daylighting in high-rise office buildings // *Building and Environment*. 2016. Vol. 106. Pp. 155–166. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.06.030
15. Munoz C., Esquivias P., Acosta I., Navarro J. Climate-based daylighting analysis for the effects of lo-

cation, orientation and obstruction // *Lighting Research & Technology*. 2014. Vol. 46. Issue 3. Pp. 268–280. DOI: 10.1177/1477153513487005

16. *Mardaljevic J.* Climate-based daylight modeling and its discontents // *CIBSE Technical Symposium*. London, 2015. 12 p.

17. *Yaik-Wah Lim, Mohd Hamdan Ahmad, Dilshan Remaz Ossen.* Empirical validation of daylight simulation tool with physical model measurement // *American Journal of Applied Sciences*. 2010. Vol. 7. Issue 10. Pp. 1426–1431. DOI: 10.3844/ajassp.2010.1426.1431

18. *Perez R., Ineichen P., Seals R., Michalsky J., Stewart R.* Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance // *Solar Energy*. 1990. Vol. 44. Issue 5. Pp. 271–289. DOI: 10.1016/0038-092X(90)90055-H

19. *Matsuura K.* Luminance distributions of various reference skies // *CIE Technical Report of TC*. CIE Pub. 1987. Pp. 03–09.

20. *Moon P., Spencer D.R.* Illumination from a nonuniform sky // *Illuminating Engineering*. 1942. Vol. 37 (12). Pp. 707–726.

21. *Kittler R., Perez R., Darula S.* A set of standard skies characterizing daylight conditions for computer and energy conscious design. US SK 92 052 Final Report. ICA SAS. Bratislava : Polygrafia Bratislava. 1998. 52 p.

22. *Kittler R., Darula S.* Parametric definition of the daylight climate // *Renewable Energy*. 2002. Vol. 26. Issue 2. Pp. 177–187. DOI: 10.1016/S0960-1481(01)00128-8

23. *Darula S., Kittler R.* CIE general sky standard defining luminance distributions // *Proc. Conf. eSim 2002*. The Canadian conference on building energy simulation. Montreal, Canada, 2002. 9 p.

24. *Darula S., Kittler R., Wittkopf S.K.* Outdoor illuminance levels in the tropics and their representation in virtual sky domes // *Architectural Science Review*. 2006. Vol. 49. Issue 3. Pp. 301–313. DOI: 10.3763/asre.2006.4940

25. *Kasten F., Young A.T.* Revised optical air mass tables and approximation formula // *Applied Optics*. 1989. Vol. 28. Issue 22. Pp. 4735–4738. DOI: 10.1364/AO.28.004735

26. *Joe Huang.* ASHRAE Research Project 1477-RP Development of 3,012 typical year weather files for international locations. White Box Technologies. Moraga CA. 19 October 2011. 97 p.

27. *Pham Ngoc Dang, Pham Duc Nguyen, Luong Minh.* Architecture lighting, Building Physics (Part II, III). Hanoi : Construction Publishing, 1982. 53 p.

Поступила в редакцию 19 апреля 2019 г.

Принята в доработанном виде 20 мая 2019 г.

Одобрена для публикации 31 мая 2019 г.

ОБ АВТОРЕ: **Нгуен Тхи Хань Фьонг** — аспирант кафедры проектирования зданий и сооружений; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; **Национальный строительный университет (NUCE)**; РИНЦ ID: 6183-8190, ORCID: 0000-0001-8466-9067; 55 Giai Phong, Ханой, agpz@mgsu.ru.

REFERENCES

1. *Dahlan N.D., Jones P.J., Alexander D.K., Salleh E., Alias J.* Daylight ratio, luminance, and visual comfort assessments in typical malaysian hostels. *Indoor and Built Environment*. 2009; 18(4):319-335. DOI: 10.1177/1420326X09337041

2. *Dubois M.C., Blomsterberg A.* Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: a literature review. *Energy and Buildings*. 2011; 43(10):2572-2582. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.07.001

3. *Mardaljevic J., Heschong L., Lee E.S.* Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research & Technology*. 2009; 41(3):261-283. DOI: 10.1177/1477153509339703

4. *Phuong N.T.X., Solovyov A.K., Ha P.T.H., Hanh D.K.* Confirmed method for definition of day-

light climate for tropical Hanoi. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020; 982:35-47. DOI: 10.1007/978-3-030-19756-8_4

5. *Solovyov A.K.* Research into illumination of buildings and constructions conducted in architectural and construction educational and scientific institutes: a review. *Light & Engineering*. 2017; 25(1):23-30.

6. *Boyce P.R.* Human factors in lighting. London, CRC Press, 2014; 703. DOI: 10.1201/b16707

7. *Solovyov A.K., Phuong N.T.H.* The method of calculating the light climate by the luminous efficiency of solar radiation: an example of a comparative analysis of the light climate of Hanoi and Moscow. *Light engineering*. 2018; 5:21-24. (rus.).

8. *Dubois M.C., Blomsterberg A.* Energy saving potential and strategies for electric lighting in future

North European, low energy office buildings: a literature review. *Energy and Buildings*. 2011; 43(10):2572-2582. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.07.001

9. Mardaljevic J., Heschong L., Lee E.S. Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research & Technology*. 2009; 41(3):261-283. DOI: 10.1177/1477153509339703

10. Lim Y.W., Mohd Zin K., Mohd Hamdan A., Ossen D.R., Aminatuzuhariah M.A. Building facade design for daylighting quality in typical government office building. *Building and Environment*. 2012; 57:194-204. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.04.015

11. Dumortier D., Fontoynt M., Avouac-Bastie P. Daylight availability in Lyon. *Proc. of the European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings. Ecole Nationale des Travaux de l'Etat Lyon*. 1994; 1315-1320.

12. Phuong Nguyen Thi Khanh, Solovyov A. Potential daylight resources between tropical and temperate cities — a case study of Ho Chi Minh city and Moscow. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 193:04013. DOI: 10.1051/mateconf/201819304013

13. Mardaljevic J., Christoffersen J., Raynham P. A proposal for a European standard for daylight in buildings. *Lux Europa 2013 12th European Lighting Conference. Krakow. Poland*. 2013; 14.

14. Lim Y.W., Heng C.Y.S. Dynamic internal light shelf for tropical daylighting in high-rise office buildings. *Building and Environment*. 2016; 106:155-166. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.06.030

15. Munoz C., Esquivias P., Acosta I., Navarro J. Climate-based daylighting analysis for the effects of location, orientation and obstruction. *Lighting Research & Technology*. 2014; 46(3):268-280. DOI: 10.1177/1477153513487005

16. Mardaljevic J. Climate-based daylight modeling and its discontents. *CIBSE Technical Symposium. London. UK. April 2015*; 12.

17. Yaik-Wah Lim, Mohd Hamdan Ahmad, Dilshan Remaz Ossen. Empirical validation of day-

light simulation tool with physical model measurement. *American Journal of Applied Sciences*. 2010; 7(10):1412-1429. DOI: 10.3844/ajassp.2010.1426.1431

18. Perez R., Ineichen P., Seals R., Michalsky J., Stewart R. Modelling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. *Solar Energy*. 1990; 44(5):271-289. DOI: 10.1016/0038-092X(90)90055-H

19. Matsuura K. *Luminance distributions of various reference skies*. CIE Technical Report of TC. CIE Publ. 1987; 03-09.

20. Moon P., Spencer D.R. Illumination from a nonuniform sky. *Illuminating Engineering*. 1942; 37(12):707-726.

21. Kittler R., Perez R., Darula S. *A set of standard skies characterizing daylight conditions for computer and energy conscious design*. US SK 92 052 Final Report. ICA SAS. Bratislava, Polygrafia Bratislava, 1998; 52.

22. Kittler R., Darula S. Parametric definition of the daylight climate. *Renewable Energy*. 2002; 26(2):177-187. DOI: 10.1016/S0960-1481(01)00128-8

23. Darula S., Kittler R. CIE general sky standard defining luminance distributions. *Proc. Conf. eSim 2002. The Canadian conference on building energy simulation. Montreal, Canada*. 2002; 9.

24. Darula S., Kittler R., Wittkopf S.K. Outdoor illuminance levels in the tropics and their representation in virtual sky domes. *Architectural Science Review*. 2006; 49(3):301-313. DOI: 10.3763/asre.2006.4940

25. Kasten F., Young A.T. Revised optical air mass tables and approximation formula. *Applied Optics*. 1989; 28(22):4735. DOI: 10.1364/AO.28.004735

26. Joe Huang. *ASHRAE Research Project 1477-RP Development of 3,012 typical year weather files for international locations*. White Box Technologies. Moraga CA. 19 October 2011; 97.

27. Pham Ngoc Dang, Pham Duc Nguyen, Luong Minh. *Architecture lighting, building physics (Part II, III)*. Hanoi, Construction Publishing, 1982; 53.

Received April 19, 2019.

Adopted in a modified form on May 20, 2019.

Approved for publication May 31, 2019.

BIONOTES: **Nguyen Thi Khanh Phuong** — postgraduate student of Department of Building Design; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; employee Faculty of Architecture and Planning; **National University of Civil Engineering (NUCE)**; 55 Giai Phong Road, Hanoi; SPIN code RISC: 6183-8190, ORCID: 0000-0001-8466-9067; agpz@mgsu.ru.