

Кузьмин Сергей Иванович,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: sergey.kuzmin@mail.ru

Соколов Дмитрий Александрович,

магистрант, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: pgs@angtu.ru

МОДЕЛЬ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРЯМОЙ И РАССЕЯННОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Kuzmin S.I., Sokolov D.A.

MODEL OF SOLAR RADIATION INTENSITY ON A VERTICAL SURFACE

Аннотация. В работе рассмотрен метод составления модели интенсивности прямой и рассеянной солнечной радиации на вертикальные поверхности произвольной ориентации.

Ключевые слова: наружный климат, параметр климата, климатическое районирование, солнечная радиация, моделирование системы.

Abstract. The paper considers a method for compiling a model of the intensity of direct and scattered solar radiation on vertical surfaces of arbitrary orientation.

Keywords: outdoor climate, climate parameter, climatic zoning, solar radiation, system simulation.

Расчётная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания определяется с учётом удельной характеристики теплопоступлений в здание от солнечной радиации $k_{\text{рад}}$ (Вт/м³°C) [1-3]:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 \cdot Q_{\text{рад}}^{\text{год}}}{V_{\text{от}} \cdot D}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{рад}}^{\text{оп}}$ – теплопоступления от солнечной радиации через светопрозрачные проёмы за отопительный период, МДж/год:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{оп}} = \beta_{1\text{ок}} \cdot \bar{\beta}_{2\text{ок}} \cdot \sum_1^4 (A_{\text{ок},i} \cdot I_i^{\text{вер}}), \quad (2)$$

где $\beta_{1\text{ок}}$ – коэффициент относительного проникновения солнечной радиации через светопрозрачные проёмы.

$\beta_{2\text{ок}}$ – коэффициент, учитывающий затенение светопрозрачных фрагментов непрозрачными элементами.

$A_{\text{ок},i}$ – площадь светопрозрачного проёма, ориентированного на i -му направлению, м²;

$I_i^{\text{вер}}$ – суммарная (прямая и рассеянная) за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальную поверхность i -й ориентации при действительных условиях облачности, МДж/м² год.

Величину солнечной радиации на вертикальную поверхность можно определить через инсоляцию на горизонтальную поверхность [2]:

$$I_i^{\text{вер}} = \sum_{j=1}^m (S_j^{\text{гоп}} \cdot K_{\text{гв},ij} + 0,5 \cdot D_j^{\text{гоп}}), \quad (3)$$

где $S_j^{\text{гоп}}$ и $D_j^{\text{гоп}}$ – солнечная радиация на горизонтальную поверхность в j -м месяце, соответственно прямая и рассеянная, Вт/м² мес.;

$K_{гв.ij}$ – коэффициент пересчёта величины прямой солнечной радиации с горизонтальной на вертикальную поверхность i -й ориентации за j -й месяц.

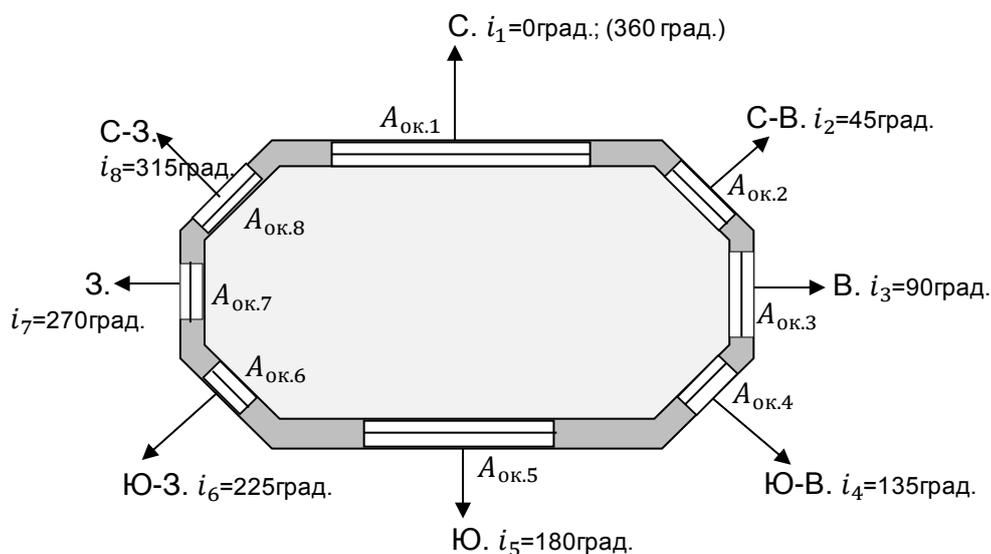


Рисунок 1 – Расчётная схема здания

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации и коэффициенты пересчёта можно определить для некоторых пунктов в справочнике по климату [4, 5], где информация приведена в виде таблиц. Табличная форма неудобна для проведения анализа и оптимизации вариантов конструктивных размеров элементов здания и его расположения по сторонам света. Поэтому представляется полезным разработка метода представления интенсивности солнечной радиации в виде математической модели, обеспечивающей достаточную точность для любых исходных параметров.

Распределение интенсивности солнечной радиации на горизонтальную поверхность по месяцам отопительного периода (с октября по май) $I_j^{гop}$ и коэффициенты пересчёта представляют сложные зависимости. На рисунке 2 приведены распределения этих параметров для характерного района умеренно-холодного климата (г. Улан-Удэ) [6, 7].

Интенсивность солнечной радиации по месяцам можно выразить следующими зависимостями:

$$S_j^{гop} = 385,2 + 0,091 \cdot j^5 - 3,137 \cdot j^4 + 35,68 \cdot j^3 - 140,84 \cdot j^2 + 95,91 \cdot j, \quad (4)$$

$$D_j^{гop} = 111,41 + 0,052 \cdot j^5 - 1,753 \cdot j^4 + 20,06 \cdot j^3 - 87,03 \cdot j^2 + 113,77 \cdot j \quad (5)$$

$$K_{гв.j} = \sum_{i=0}^{i=360} K_{гв.ij} \quad (6)$$

С целью унификации распределения коэффициентов пересчёта по азимуту ориентации вертикальной поверхности дискретное изменение заменим интегральным распределением в пределах каждого месяца (рис. 3):

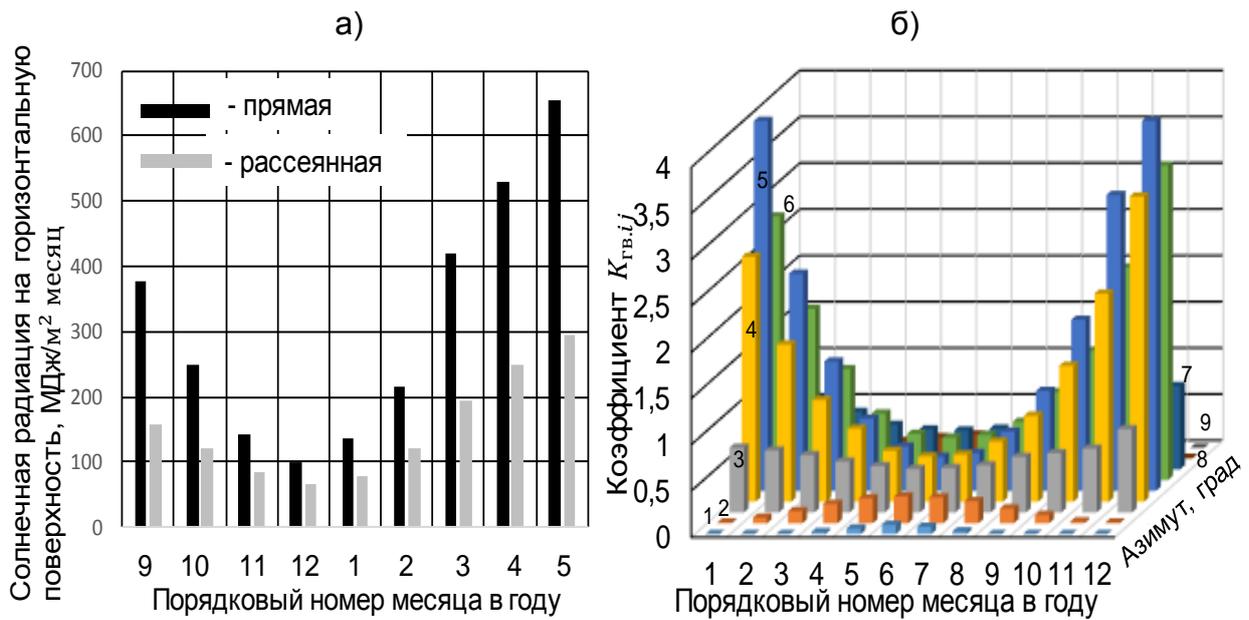


Рисунок 2 – Распределение интенсивности помесичной солнечной радиации на горизонтальную поверхность за отопительный период а) и коэффициентов пересчёта по месяцам года и ориентации вертикальной поверхности б) для г. Улан-Удэ. 1 – 0 град.; 2 – 45 град.; 3 – 90 град.; 4 – 135 град.; 5 – 180 град.; 6 – 225 град.; 7 – 270 град.; 8 – 315 град.; 9 – 360 град.

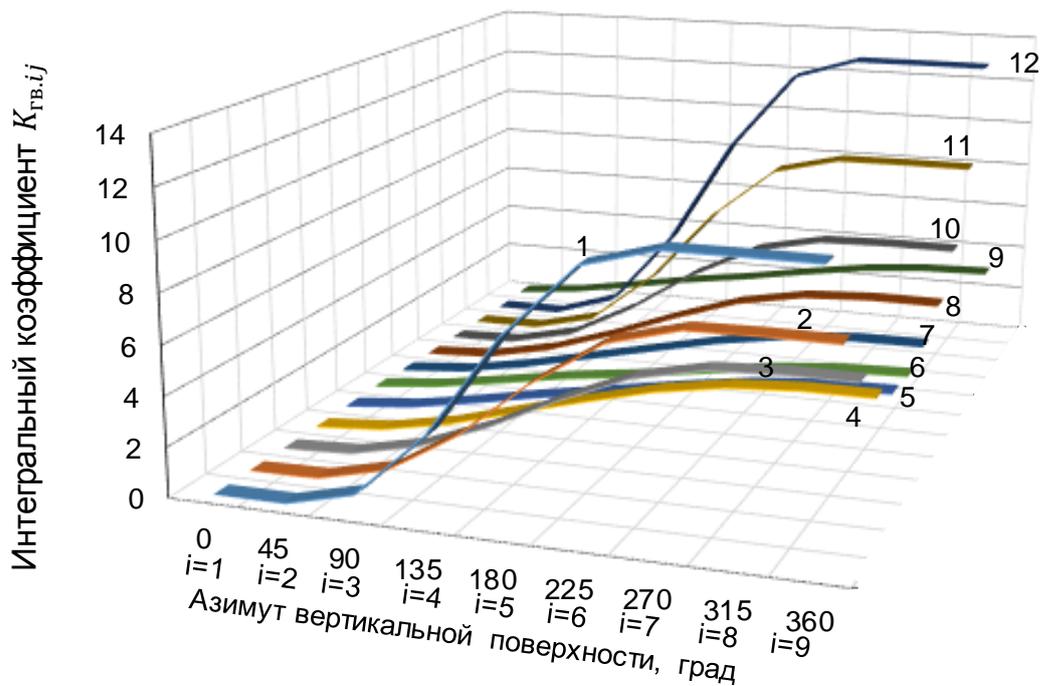


Рисунок 3 – Интегральное распределение расчётных коэффициентов по азимутам для г. Улан-Удэ

Совокупность множества данных, представленных на рисунке 3, аппроксимируется следующей функцией (с ошибкой не более 8 %):

$$K_{гв,ji} = \exp\left(-\frac{360-45 \cdot i}{180} \cdot p_j\right)^{r_j} - \exp\left(-\frac{360-45 \cdot (i-1)}{180} \cdot p_i\right)^{r_i}, \quad (7)$$

где p_j и r_j – расчётные коэффициенты, зависящие от номера месяца:

$$p_j = 1,157 - 0,0036 \cdot j^2 + 0,047 \cdot j, \quad (8)$$

$$r_j = 5,867 - 0,0009 \cdot j^4 + 0,01 \cdot j^3 - 0,039 \cdot j^2 - 0,84 \cdot j, \quad (9)$$

где i – условный (дискретный) номер азимута $i = 1, 2, 3, \dots, 9$.

Таким образом, используя зависимости (4), (5), (7-9) можно определить суммарную солнечную радиацию, поступающую на вертикальную поверхность любой ориентации за произвольный период времени.

Соответственно, представленный метод может быть применен для составления модели распределения сочетаний параметров климата для любого географического пункта при наличии соответствующей цифровой информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Российская Федерация. Стандарты.** СП 50.133330.2012. Тепловая защита зданий.
2. **Российская Федерация. Стандарты.** СП 60.133330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
3. **Российская Федерация. Стандарты.** СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты.
4. **Коркина, Е.В.** Основные соотношения для расчета облучения солнечной радиацией стен отдельно стоящих зданий / Е.В. Коркина, Е.В. Горбаренко, В.Г. Гагарин, И.А. Шмаров. – Текст: непосредственный // Жилищное строительство. – 2017. – № 6. – С. 27–33.
5. **Куприянов, В.Н.** Обоснование и развитие энергетического метода расчета инсоляции жилых помещений / В.Н. Куприянов, Ф.Р. Седова. – Текст: непосредственный // Жилищное строительство. – 2015. – № 5. – С.83–87.
6. **Российская Федерация. Стандарты** ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6, вып. 1–34. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат. 1989–1998.