

## МОДЕЛЬ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Kuzmin S.I.

### A MODEL OF THE INTENSITY OF SOLAR RADIATION 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 modeling.

Расчётная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания (рис. 1) определяется с учётом удельной характеристики теплоступлений в здание от солнечной радиации  $k_{\text{рад}}$  (Вт/м<sup>3</sup>°C):

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

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

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

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

$\bar{\beta}_{2\text{ок}}$  – коэффициент, учитывающий затенение светопрозрачных фрагментов непрозрачными элементами;

$A_{\text{ок},i}$  – площадь светопрозрачного проёма, ориентированного на  $i$ -му направлению, м<sup>2</sup>;

$I_i$  – суммарная (прямая и рассеянная) за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальную поверхность  $i$ -й ориентации при действительных условиях облачности, МДж/м<sup>2</sup> год.

Величину солнечной радиации на вертикальную поверхность можно определить через инсоляцию на горизонтальную поверхность [1]:

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

где  $S_j^{\text{гор}}$  и  $D_j^{\text{гор}}$  – солнечная радиация на горизонтальную поверхность в  $j$ -м месяце, соответственно прямая и рассеянная, Вт/м<sup>2</sup> мес.;

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

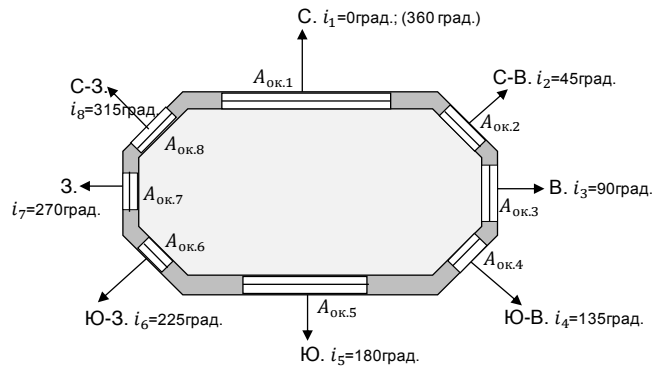


Рисунок 1 – Расчётная схема здания

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации и коэффициенты пересчёта можно определить для некоторых пунктов в справочнике по климату [2], 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 полезной разработка метода представления интенсивности солнечной радиации в виде математической модели, обеспечивающей достаточную точность для любых исходных параметров.

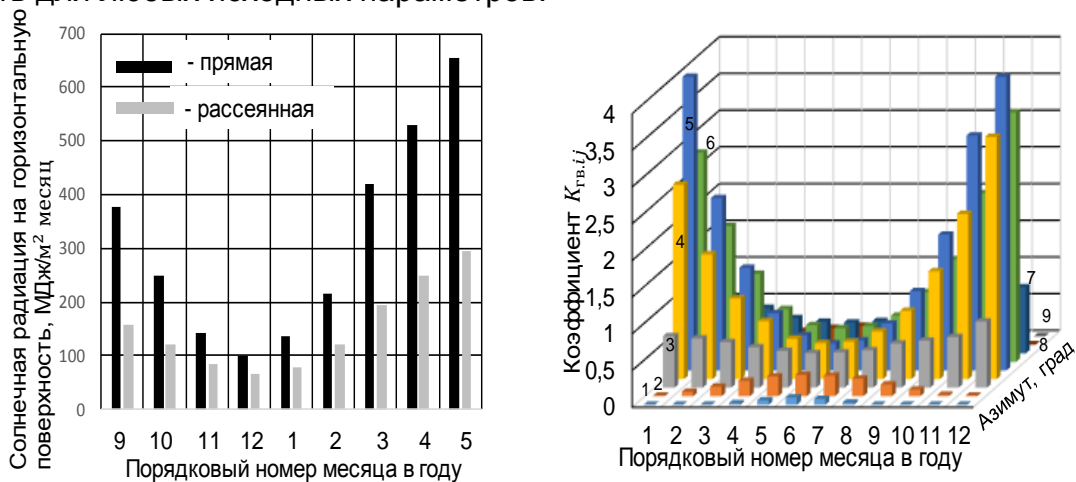


Рисунок 2 – Распределение интенсивности помесечной солнечной радиации на горизонтальную поверхность за отопительный период (а); и коэффициенты пересчёта по месяцам года и ориентация вертикальной поверхности (б) для г. Улан-Удэ. 1 – 0 град.; 2- 45 град.; 3- 90 град.; 4- 135 град.; 5 – 180 град.; 6- 225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

Распределение интенсивности солнечной радиации по месяцам отопительного периода (с октября по май)  $I_j^{Гор}$  и коэффициенты пересчёта представляют сложные зависимости. На рисунке 2 приведены распределения этих па-

раметров для характерного района умерено-холодного климата (г. Улан-Удэ). Интенсивность солнечной радиации по месяцам можно выразить следующими зависимостями:

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

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

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

$$K_{\text{ГВ},j} = \sum_{i=0}^{i=360} K_{\text{ГВ},ij} \quad (6)$$

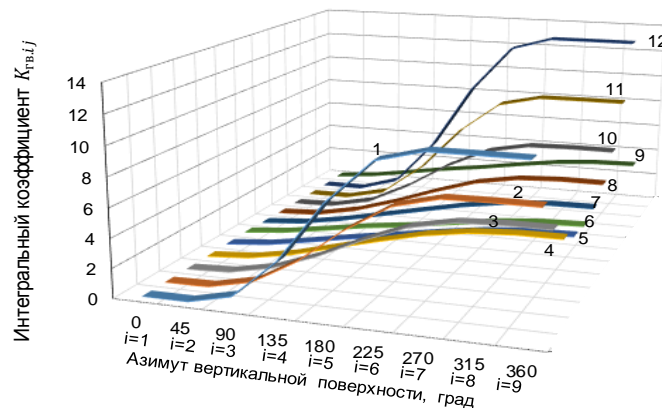


Рисунок 3 – Интегральное распределение расчётных коэффициентов по азимутам для г. Улан-Удэ.

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

$$K_{\text{ГВ},ji} = \exp(-(360 - 45 \cdot i)/180 \cdot p_j)^{r_j} - \exp(-(360 - 45 \cdot (i - 1))/180 \cdot p_i)^{r_j}, \quad (7)$$

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), (8) можно определить суммарную солнечную радиацию, поступающую на вертикальную поверхность любой ориентации за произвольный период времени. Представленный метод может быть применен для составления модели распределения сочетаний параметров климата для любого географического пункта при наличии цифровой информации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические системы // Под. ред. И.Г. Старовойра ч.1 Отопление. – М., Стройиздат. – 1993. – 896 с.
2. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция, кондиционирование.