

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И КОНСТРУКЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Методические указания

ОЦЕНКА РЕСУРСОВ В МЕСТЕ СТРОИТЕЛЬСТВА СФЭУ

В реальных условиях облачности приход солнечного излучения (СИ) регистрируется путем измерения пиранометрами и актинометрами, с использованием сети актинометрических станций. Измеренные данные приводятся в климатических справочниках, атласах солнечной радиации и специальных метеорологических базах данных. Однако, для полноценного моделирования работы фотоэлектрических установок необходимо обладать часовыми данными по приходу СИ для каждого дня года. Таких данных обычно нет в атласах солнечной радиации или метеорологических базах, поэтому необходимо обращаться к расчетным методам определения характеристик солнечного излучения. Далее описывается общий порядок такого расчета и его результаты. Пример расчета для декабря приведен в приложении А.

Общий порядок расчета таков:

1. Расчет времени восхода и захода Солнца для расчетного дня, определение длины светового дня и величины СИ при отсутствии атмосферы на горизонтальную поверхность;
2. Расчет падающего СИ на горизонтальную поверхность при реальных условиях облачности;
3. Расчет прихода СИ на следящую поверхность при реальных условиях облачности.

2.1 Расчет поступления солнечного излучения на горизонтальную поверхность при отсутствии атмосферы

Склонение Солнца вычисляется по следующей формуле:

$$\delta_n(n) = 23,45^{\circ} \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{n-81}{365}\right) \quad (2.1)$$

Уравнение для расчёта местного времени захода Солнца:

$$t_M^{\text{зак}} = \frac{1}{\frac{15^0}{\text{ч}}} \cdot \left(\arccos(-\text{tg}\varphi_M \cdot \text{tg}\delta_n) - (\lambda_M - \lambda_{\text{ср}}) \right) + \Delta t_{\text{декр}} - t_{\text{вр}} + 12 \quad (2.2)$$

где $\lambda_{\text{ср}}$ – долгота среднего меридиана рассматриваемого часового пояса, равная 22,5;

$\Delta t_{\text{декр}}$ – поправка во времени на 1 час, т.к. в России введено декретное время;

$t_{\text{вр}}$ – временная поправка, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$t_{\text{вр}} = 229,2 \cdot (0,000075 + 0,001868 \cdot \cos B - 0,032077 \cdot \sin B - -0,014615 \cdot \cos 2B - 0,04089 \cdot \sin 2B); \quad (2.3)$$

$$B = 360^0 \cdot \frac{n-1}{365}. \quad (2.4)$$

Продолжительность светового дня:

$$T_C = \frac{2}{15^0/\text{ч}} \cdot (\arccos(-\text{tg}\varphi_M \cdot \text{tg}\delta_n)). \quad (2.5)$$

Световой день разделяется на равные интервалы по 1 часу, самый первый и самый последний интервалы будут дробными. Далее вычисляется часовой угол Солнца для каждого интервала по формуле:

$$\omega_C = \frac{15^0}{\text{ч}} \cdot (t_i - \Delta t_{\text{декр}} - 12 + t_{\text{вр}}) + (\lambda_M - \lambda_{\text{ср}}), \quad (2.6)$$

t_i – время дня;

$\Delta t_{\text{декр}}$ – поправка, равная 1 часу.

Определяется величина $\cos \theta_z$ (косинус угла падения лучей на горизонтальную поверхность) для каждого интервала:

$$\cos \theta_z = \cos \delta_n \cdot \cos \varphi_M \cdot \cos \omega_C + \sin \varphi_M \cdot \sin \delta_n. \quad (2.7)$$

Рассчитывается плотность падающего излучения:

$$E_{\text{гор}}^0 = E_{\text{сн}} \cdot \cos \theta_z, \quad (2.8)$$

где $E_{\text{сн}} = 1367 \text{ Вт/м}^2$ – солнечная постоянная.

Результаты расчета приведены в приложении Б.

Для расчета среднедневной плотности излучения нужно проинтегрировать $E_{гор}^0$ по времени в течение светового дня и поделить на его продолжительность:

$$E_{гор \text{ ср дн}}^0 = \frac{\int_{t_M^{восх}}^{t_M^{зах}} E_{гор}^0(t) dt}{T_c} \quad (2.9)$$

$$E_{гор \text{ ср сут}}^0 = \frac{\int_{t_M^{восх}}^{t_M^{зах}} E_{гор}^0(t) dt}{24} \quad (2.10)$$

Вычисление энергии солнечного излучения, поступающего на 1 м² горизонтальной поверхности в течение расчётного дня при отсутствии атмосферы производится по следующей формуле:

$$W_{гор \text{ н}}^0 = \int_{t_M^{восх}}^{t_M^{зах}} E_{гор}^0(t) dt \quad (2.11)$$

В течение расчетного дня дневное поступление солнечной энергии на 1 м² равно среднемесячной величине, поэтому, для вычисления СИ, поступающего за месяц нужно умножить $W_{гор \text{ н}}^0$ на число дней в месяце:

$$W_{гор \text{ j}}^0 = N_j \cdot W_{гор \text{ н}}^0 \quad (2.12)$$

2.2 Расчет поступления солнечного излучения на горизонтальную поверхность при чистой (безоблачной) атмосфере

Плотность потока прямого солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность при отсутствии облачности (чистая атмосфера):

$$E_{гор i}^{прч} = E_{гор i}^0 * \tau_{\Sigma i}^{пр} * K_{гор}^{прч} \quad (2.13)$$

где $\tau_{\Sigma i}^{пр}$ – суммарный коэффициент пропускания прямого солнечного излучения, интегрально учитывающий его поглощение и рассеяние в чистой атмосфере;

$K_{гор}^{прч}$ - коэффициент коррекции действительный при расчете на территории России.

Суммарный приход прямого солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность в течение расчётного светового дня (Вт-ч/м²):

$$W_{\text{гор}}^{\text{прч}} = \int_{t_{\text{восх}}}^{t_{\text{зах}}} E_{\text{гор}}^{\text{прч}}(t) dt \quad (2.14)$$

Суммарный приход диффузного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность при чистой (безоблачной) атмосфере в течение месяца (Вт-ч/м²):

$$W_{\text{гор}}^{\text{дифч}} j = \int_{t_{\text{восх}}}^{t_{\text{зах}}} E_{\text{гор}}^{\text{дифч}}(t) dt \quad (2.15)$$

Суммарный приход полного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность при чистой (безоблачной) атмосфере в течение месяца (Вт-ч/м²):

$$W_{\text{гор}j}^{\text{полн ч}} = W_{\text{гор}}^{\text{прч}} j + W_{\text{гор}j}^{\text{диф ч}}. \quad (2.16)$$

2.3 Определение изменения реальной плотности потока солнечного излучения в течение расчетного светового дня

Коэффициенты перехода к реальным условиям облачности, наблюдаемые месячные суммы энергии солнечного излучения:

$$K_{\text{гор}}^{\text{пр}} = \frac{W_{\text{гор}j}^{\text{прн}}}{W_{\text{гор}j}^{\text{прч}}}; K_{\text{гор}}^{\text{диф}} = \frac{W_{\text{гор}j}^{\text{дифн}}}{W_{\text{гор}j}^{\text{дифч}}} \quad (2.17)$$

Значения плотностей потоков прямого, диффузного и полного солнечного излучения в реальных условиях облачности рассматриваемого светового дня приведены в приложении Б.

Сумма прихода СИ в реальных условиях облачности, поступающего на горизонтальную поверхность в расчетном месяце (Вт-ч/м²):

$$W_{\text{гор}}^{\text{полн}} = \int_{t_{\text{восх}}}^{t_{\text{зах}}} E_{\text{гор}}^{\text{полнр}}(t) dt \quad (2.18)$$

1.1 Расчет поступления солнечного излучения на поверхность панели

В расчетах использован угол наклона панели 40° .

Плотность прямого солнечного излучения, падающего на поверхность следящей солнечной фотоэлектрической установки в условиях чистого неба равна:

$$E_{\text{след}_i}^{\text{прч}} = E_{C_{\perp}} \cdot \tau_{\Sigma i}^{\text{пр}} \cdot K_{\text{след}}^{\text{прч}} \quad (2.19)$$

где $K_{\text{след}}^{\text{прч}}$ – поправочный коэффициент для следящей поверхности, на территории России $K_{\text{след}}^{\text{прч}} = 0,9$.

Месячная сумма энергии солнечной радиации:

$$W_{\text{след}_j}^{\text{прч}} = \int_{t_{\text{восх}}^{\text{м}}}^{t_{\text{зах}}^{\text{м}}} E_{\text{след}_i}^{\text{прч}}(t) \cdot dt, \quad (2.20)$$

Находим коэффициенты пересчета солнечной радиации для реальных условий облачности для каждого месяца года:

$$K_{\text{след}_j}^{\text{пр}} = W_{\text{след}_j}^{\text{прн}} / W_{\text{след}_j}^{\text{прч}}, \quad (2.21)$$

Плотность прямого солнечного излучения, поступающего на неподвижную ориентированную поверхность фотоэлектрической установки, в реальных условиях облачности равна:

$$E_{\text{накл}_i}^{\text{прр}} = E_{\text{след}_i}^{\text{прч}} \cdot K_{\text{след}_j}^{\text{пр}} \cdot \cos \theta_i, \quad (2.22)$$

В общем случае значение косинуса угла падения солнечных лучей на наклонную поверхность рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} \cos \theta_i = & \sin \delta_n \cdot \sin \varphi_M \cdot \cos \beta - \sin \delta_n \cdot \cos \varphi_M \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta_n \cdot \cos \varphi_M \\ & \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega_{C_i} + \cos \delta_n \cdot \sin \varphi_M \cdot \cos \gamma \cdot \sin \beta \\ & \cdot \cos \omega_{C_i} + \cos \delta_n \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega_{C_i} \end{aligned} \quad (2.23)$$

В силу особенностей устройства крыши (наличие скатов и вентиляционных выходов) ориентировать СФЭУ можно только по направлению здания, которое отклоняется от ориентации на юг на 18° в направлении юго-запада.

Находим плотности диффузного излучения, поступающего на ориентированную поверхность в реальных условиях облачности:

$$E_{\text{накл}_i}^{\text{диффр}} = E_{\text{гор}_i}^{\text{диффр}} \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right). \quad (2.24)$$

Поступление отраженного полного солнечного излучения определяется по формуле:

$$E_{\text{накл}_i}^{\text{отрр}} = E_{\text{гор}_i}^{\text{полнр}} \cdot \rho_z \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right). \quad (2.25)$$

Плотность полного солнечного излучения, падающего на наклонную ориентированную поверхность фотоэлектрической установки в реальных условиях облачности, равна:

$$E_{\text{накл}_i}^{\text{полнр}} = E_{\text{накл}_i}^{\text{прр}} + E_{\text{накл}_i}^{\text{диффр}} + E_{\text{накл}_i}^{\text{отрр}}, \quad (2.26)$$

Суммарный приход СИ, поступающего на поверхность с наклоном в 40° , в течение месяца (декабря):

$$W_{\text{накл}_j}^{\text{полнч}} = \int_{t_M^{\text{восх}}}^{t_M^{\text{зах}}} E_{\text{след}_i}^{\text{пр ч}}(t) \cdot dt. \quad (2.27)$$