

ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция. При этом в направлении Земли движется $1,2 \cdot 10^{17}$ Дж/с энергии, что в 1600 раз больше энергии, которую потребляют люди на Земле.

Излучение характеризуется следующими параметрами.

1. *Поток излучения* Q , Дж/с, Вт, – величина, равная энергии, переносимой электромагнитными волнами за одну секунду через произвольную поверхность.

2. *Плотность потока излучения* E , Вт/м², – интегральный поток излучения, переносимый через единицу поверхности:

$$E = \frac{dQ}{dS}.$$

3. *Интенсивность излучения* I , Вт/(м²·мкм), – плотность потока излучения тела для рассматриваемого интервала длин волн $d\lambda$:

$$I = \frac{dE}{d\lambda}.$$

4. *Облученность* H , Дж/м², – поток излучения, падающий на единицу поверхности за определенный промежуток времени dt :

$$H = \int E dt.$$

Основная часть солнечной энергии испускается в виде коротковолнового электромагнитного излучения в диапазоне длин волн 0,2–3 мкм (рис. 7.1, кривая 1). Плотность солнечного излучения до атмосферы Земли на перпендикулярную излучению площадку составляет $E^* = 1353$ Вт/м² (солнечная константа).

В процессе прохождения солнечного излучения через атмосферу имеют место различные виды взаимодействия: отражение, рассеяние (изменение направления распространения в зависимости от длины волны), поглощение (переход энергии солнечного излучения в тепло (возбуждение молекул) с последующим излучением света большей длины волны). В результате коротковолновое излучение вблизи поверхности Земли (рис. 7.1, кривая 2) значительно изменяется.

Соотношение фактической длины пути солнечного луча в атмосфере к длине пути солнечного луча, когда Солнце находится в зените, принято называть оптической (атмосферной) массой:

$$AM = \frac{p}{p_0 \cos \theta_z},$$

где p – атмосферное давление, Па; p_0 – нормальное атмосферное давление, $1,013 \cdot 10^5$ Па; θ_z – угол между потоком излучения и вертикалью.

Данный параметр отражает влияние атмосферы на интенсивность излучения, достигающего до земной поверхности. Плотность прямого солнечного излучения можно определить по формуле

$$E^{пр} = E^* \cdot P^{AM},$$

где P – коэффициент пропускания атмосферы (0,60–0,85).

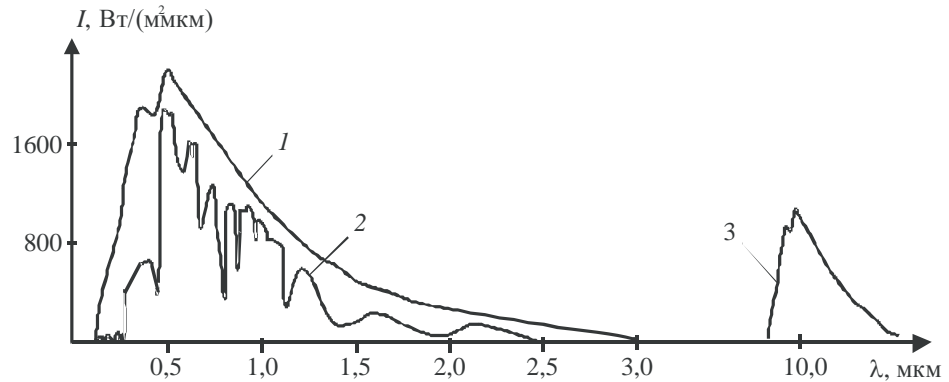


Рис. 7.1. Спектр излучений:

1 – солнечное излучение до атмосферы Земли; 2 – солнечное излучение после атмосферы Земли; 3 – собственное излучение атмосферы Земли

При прохождении через атмосферу солнечный свет ослабляется из-за поглощения инфракрасного излучения парами воды, аэрозолями и оксидом углерода, а также поглощения ультрафиолетового излучения молекулами кислорода, озона и их ионами. Поглощение в атмосфере приводит к повышению температуры, при этом происходит переизлучение электромагнитного потока атмосферой в длинноволновой области от 5 до 25 мкм (рис. 7.1., кривая 3).

Следовательно, общее излучение, падающее на землю можно разделить на три составляющие – коротковолновое прямое, коротковолновое рассеянное и длинноволновое:

$$E = E_{KB}^{пр} + E_{KB}^{рас} + E_{ДВ}.$$

Облученность солнечным излучением приемника за время dt представляет собой интегральную сумму всех компонент излучения:

$$H = \int (E_{KB}^{пр} \cos \theta + E_{KB}^{рас} + E_{ДВ}) dt,$$

где θ – угол между потоком излучения и нормалью к поверхности приемника.

Косинус данного угла определяется по формуле

$$\cos \theta = (A - B) \sin \delta + [C \sin \omega + (D + E) \cos \omega] \cos \delta,$$

где $A = \sin \varphi \cos \beta$, $B = \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma$, $C = \sin \beta \sin \gamma$, $D = \cos \varphi \cos \beta$, $E = \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma$; β – угол наклона между приемной площадкой к горизонтальной плоскости (рис. 7.2.); γ – азимут, угол между проекцией на горизонтальную плоскость нормали к поверхности приемника и меридианом ($\gamma = 0$, если поверхность направлена строго на юг), $\delta = \delta_0 \sin \left[360^\circ \frac{284 + n}{365} \right]$ –

склонение, угол между направлением к Солнцу и экваториальной плоскостью, $\delta_0 = 23,5^\circ$; n – номер дня года ($\delta = 23,5^\circ$ – 22 июня, $\delta = -23,5^\circ$ – 22 декабря); $\omega = 15(t_{\text{сол}} - 12)$ – часовой угол, угол поворота Земли с момента солнечного полдня; $t_{\text{сол}}$ – солнечное время, ч; φ – широта, на которой находится солнечный приемник.

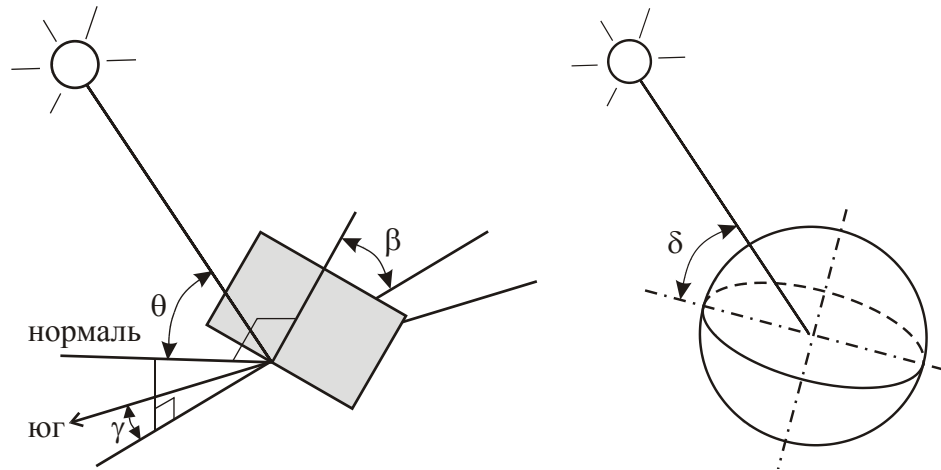


Рис. 7.2. Схема расположения приемника солнечного излучения относительно Солнца и Земли

Если расположить приемник строго на юг ($\gamma = 0$) с наклоном, равным широте ($\beta = \varphi$), то формула определения угла направления солнечного излучения значительно упрощается:

$$\cos \theta = \cos \omega \cos \delta.$$

Для горизонтальной приемной площадки ($\beta = 0$)

$$\cos \theta_z = \cos \omega \cos \varphi \cos \delta + \sin \varphi \sin \delta.$$

Солнечное излучение характеризуется числом часов солнечного сияния, которое зависит от погодных условий и продолжительности дня между восходом и закатом. Продолжительность солнечного дня T , ч, можно приблизительно определить по формуле:

$$T = \frac{2}{15} \arccos(-\text{tg} \varphi \cdot \text{tg} \delta).$$

Так как длинноволновое излучение $E_{\text{дв}}$ стекло практически не пропускает, то при расчете гелиоколлекторов его не учитывают. Тогда облученность солнечным излучением гелиоколлектора в течение дня можно определить по приближенной формуле:

$$H = \left(E^* P^{1/\cos \theta_z^{\max}} K_{\text{пр}} + E_{\text{max}}^{\text{рас}} \cos^2 \beta / 2 \right) \frac{2T}{\pi},$$

где θ_z^{\max} – угол между потоком излучения и нормалью к поверхности приемника, при котором получена максимальная плотность прямой солнечной радиации, падающей на гелиоколлектор; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент положения солнечного коллектора; $E_{\text{max}}^{\text{рас}}$ – максимальная плотность рассеянной солнечной радиации, падающей на горизонтальную поверхность, Вт/м².

Задачи для практических занятий

Задача 7.1

Вычислить угол падения потока солнечного излучения в 10 ч утра по солнечному времени N -го января на поверхность, расположенную в Минске (54° северной широты, 27° западной долготы), если она ориентирована на $(20 + 2 \cdot N)^\circ$ восточнее направления строго на юг и наклонена на $(20 + 2 \cdot N)^\circ$ к горизонтальной плоскости.

Задача 7.2

Определить для условия задачи 7.1 продолжительность солнечного дня и плотность потока прямого солнечного излучения, если давление атмосферы соответствует норме, коэффициент пропускания атмосферы 0,7.