

УДК 681.5

ОПТИМИЗАЦИЯ ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ

Залива А.В., Денисов Д. И.

к.т.н., доцент каф. КСУ Великий В. И.

Одесский Национальный Политехнический Университет, УКРАИНА

АННОТАЦИЯ. В статье представлены расчеты азимута и угла наклона солнечной панели в точке с заданными координатами, склонением и часовым углом солнца, при которых обеспечивается максимальный приход солнечного излучения в течение любых календарных суток года.

Введение. Солнечная энергетика – одно из перспективных направлений развития возобновляемых источников энергии. Практичность и экологически безопасный характер солнечной энергии влияет на получение и использование ее по всему миру [1]. Разработка солнечной энергетической системы связана с четким представлением режимов ее работы. Чем точнее известны условия эксплуатации солнечной панели, тем выше ее эффективность.

Для повышения КПД необходимо периодически поворачивать панель вслед за солнцем и ориентировать угол ее наклона так, чтобы лучи падали на поверхность под углом 90° .

Цель работы. Целью работы является определение азимута и угла наклона приемной площадки солнечной энергии, при которых солнечные лучи падают перпендикулярно поверхности. При этом, с учетом координат приема, склонения и часового угла солнца обеспечивается наибольший приход солнечной энергии.

Основная часть работы. Рассмотрим задачу максимизации прихода солнечного излучения СИ на приемную площадку ПП при непрерывном времени t , ($0 \leq t \leq T_{cc}(n_i)$), в течении любых календарных суток года n_i , где T_{cc} – продолжительность солнечного сияния. Для этого ПП должна быть ориентирована на солнце по углу наклона β и по азимуту γ .

При ориентации ПП по углу наклона β (рис. 1а) нужно рассмотреть условие $\theta_z = \beta = 90 - \alpha$, где α – высота солнца, θ_z – зенитный угол.

Из рис.1 б) высоту Солнца α можно найти [2] в любой момент времени суток по формуле:

$$\sin \alpha (t, n_i) = \sin \varphi \sin \delta (n_i) + \cos \varphi \cos \omega (t) \cos \delta (n_i) \quad (1)$$

где δ – склонение Солнца, ω – часовой угол Солнца, φ – координата точки А по широте.

С учетом (1) и выражения для θ_z значения $\alpha(t, n_i)$, можно найти по формуле:

$$\sin \alpha (t, n_i) = \sin(90 - \beta(t, n_i)) = \cos \beta (t, n_i) \quad (2)$$

И, следовательно,

$$\beta(t, n_i) = \arccos(\sin \varphi \sin \delta (n_i) + \cos \varphi \cos \delta (n_i) \cos \omega (t, n_i)) \quad (3)$$

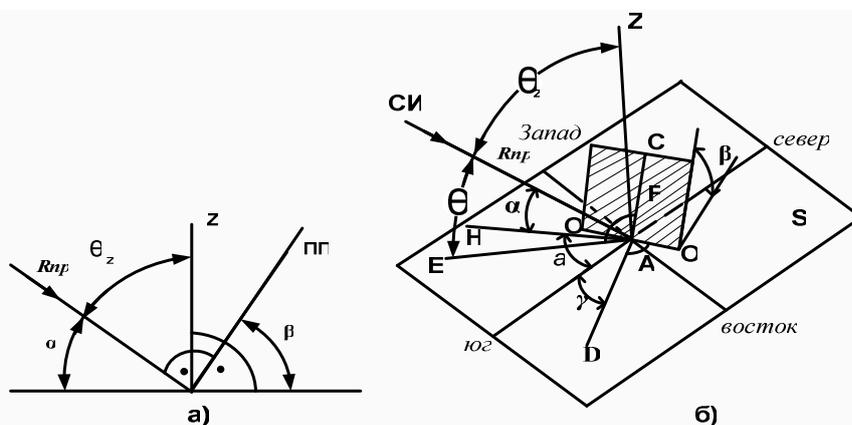


Рис. 1 – Оптимальная ориентация приемной площадки к солнечному излучению а) ; Геометрия приемной площадки солнечного излучения на земле б)

Для поиска выражения $\gamma = \gamma(t, n_i)$ учтем, что приход СИ на приемную площадку определяется значением угла падения солнца θ , который в фиксированный момент времени может быть представлен следующим образом [2] :

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \beta \cos \delta \sin \varphi \cos \gamma \cos \omega + \sin \beta \cos \delta \sin \gamma \sin \omega - \\ &\sin \beta \sin \delta \cos \varphi \cos \gamma + \cos \beta \cos \delta \cos \varphi \cos \omega + \cos \beta \sin \delta \sin \varphi \end{aligned} \quad (4)$$

Преобразуем (4) в виде функции

$$\cos \theta = K + M \cos \gamma + N \sin \gamma, \text{ где} \quad (5)$$

$$K = \sin \varphi \cos \beta \sin \delta + \cos \varphi \cos \beta \cos \delta \cos \omega; M = \sin \varphi \sin \beta \cos \delta \cos \omega - \cos \varphi \sin \beta \sin \delta$$

$$N = \sin \beta \cos \delta \sin \omega$$

Для получения максимального СИ, как видно из (5), необходимо, чтобы

$$K + M \cos \gamma + N \sin \gamma = 1 \quad (6)$$

Представим: $\sin \gamma = 2 \operatorname{tg} \left(\frac{\gamma}{2} \right) / (1 + \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\gamma}{2} \right))$; $\cos \gamma = (1 - \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\gamma}{2} \right)) / (1 + \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\gamma}{2} \right))$; $x = \operatorname{tg}(\gamma/2)$

Получаем следующее уравнение:

$$K + M (1 - x^2)/(1 + x^2) + N (2x)/(1 + x^2) - 1 = 0 \quad (7)$$

Преобразовав (7) в квадратное уравнение, получим,

$$(K - M - 1) x^2 + 2Nx + (K + M - 1) = 0 \quad (8)$$

Корнями (8) являются значения x:

$$x_{1,2} = (-2N \pm \sqrt{4N^2 - 4(K - M - 1)(K + M - 1)}) / (2(K - M - 1)) \quad (9)$$

Учитывая, что подкоренное выражение тождественно равно нулю, получаем:

$$x = -N / (K - M - 1) \quad (10)$$

Раскрывая N, K и M, имеем:

$$x = \frac{-\sin \beta \cos \delta \sin \omega}{\sin \varphi \cos \beta \sin \delta + \cos \varphi \cos \beta \cos \delta \cos \omega - \sin \varphi \sin \beta \cos \delta \cos \omega - \cos \varphi \sin \beta \sin \delta - 1} \quad (11)$$

Произведя обратную замену переменных, получаем:

$$\gamma(t, n_i) = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{\cos \delta(n_i) \sin \omega(t) \sin \beta(t, n_i)}{1 - \cos(\varphi + \beta(t, n_i)) \cos \delta(n_i) \cos \omega(t) - \sin(\varphi + \beta(t, n_i)) \sin \delta(n_i)} \right) \quad (12)$$

Выводы. Эффективность солнечной панели, задействованной в выработке электроэнергии, изменяется с изменением косинуса угла рассогласования панели с солнцем. Небольшие рассогласования могут быть вполне допустимы вследствие незначительного убывания эффективности – менее 1% до 8 градусов и менее 10% до 25 градусов. С ростом угла более 30 градусов начинает теряться уже довольно значительный процент мощности.

Угол рассогласования можно минимизировать, если использовать автоматическую систему наведения. На основании расчетов $\beta(t, n_i)$ и $\gamma(t, n_i)$ можно реализовать эффективную следящую систему по оптимизации ориентации приемной площадки на Солнце с целью максимизации прихода прямого солнечного излучения по времени в любые сутки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Clean electricity from photovoltaics / by Archer M.D., Hill R. – London: Imperial College Press, 2001. – 868 p.
2. Виссарионов В.И. Солнечная энергетика / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.