



Рисунок 1 – Приходящая энергия от угла отклонения солнечных лучей

Проведя математическое моделирование работы фотоэлектрической станции, было установлено, что угол меньше 10° достигается при интервале ориентации в 30–40 минут.

Результаты данной работы могут использоваться при создании фотоэлектрических станций с системой ориентирования.

Литература

1. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / В. И. Виссарионова [и др.]; под общ. ред. В. И. Виссарионова. – Москва: МЭИ, 2008. – 320 с.

С. Д. Бандарик
(БГУИР, Минск)

Науч. рук. **Б. А. Тонконогов**, канд. техн. наук, доцент

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ НА ARDUINO

Для увеличения получаемой энергии многие фотоэлектрические станции используют системы слежения за солнцем. Для эффективной ориентации солнечных панелей используют датчики освещенности. Однако это не всегда удобно, так как датчики выходят из строя, загрязняются и усложняют конструкцию станции. Альтернативой может стать пассивная система на основе алгоритма, определяющего положение солнца в течении суток.

Для ориентации солнечных панелей необходимо знать положение солнца, которое определяется высотой и азимутом. Расчет данных параметров возможно произвести, используя алгоритм, приведенный Жаном Миусом в книге «Астрономические алгоритмы» для определения положения планет [1]. Оптимизировав этот алгоритм под положение Солнца, можно получить высоту и азимут Солнца в любой момент времени. Для этого необходимо вычислить долготу перигелия(w), эксцентриситет(e), среднюю аномалию(M):

$$w = 282.9404 + 4.70935 \cdot 10^{-5} \cdot d; \quad (1)$$

$$e = 0.016709 - 1.151 \cdot 10^{-9} \cdot d; \quad (2)$$

$$M = 356.047 + 0.9856002585 \cdot d, \quad (3)$$

где $d = \text{JD} - 2451543,5$ – номер года, а JD юлианская дата.

Необходимо вычислить наклон эклиптики (obl) и среднюю долготу Солнца (L):

$$obl = 23.4393 - 3.563 \cdot 10^{-7} \cdot d; \quad (4)$$

$$L = w + M. \quad (5)$$

Далее необходимо вычислить вспомогательный угол эксцентрической аномалии в первом приближении:

$$E = M + e \cdot \sin M \cdot (1 + e \cdot \cos M) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (6)$$

Вычисляем прямоугольные координаты Солнца с направлением оси X в сторону перигелия:

$$x = \cos E - e; \quad (7)$$

$$y = \sin E \cdot \sqrt{1 - e^2}. \quad (8)$$

Вычисляем долготу солнца:

$$\text{lon}_c = v + w, \quad (9)$$

где $v = \arctg(y/x)$ – истинная аномалия.

Далее вычисляем эклиптические прямоугольные координаты Солнца:

$$x_{\text{eclip}} = r \cdot \cos(\text{lon}_C); \quad (10)$$

$$y_{\text{eclip}} = r \cdot \sin(\text{lon}_C); \quad (11)$$

$$z_{\text{eclip}} = 0. \quad (12)$$

Поворачиваем эклиптические координаты в экваториальные:

$$x_{\text{equat}} = x_{\text{eclip}}; \quad (13)$$

$$y_{\text{equat}} = y_{\text{eclip}} \cdot \cos(\text{obl}) - z_{\text{eclip}} \cdot \sin(\text{obl}); \quad (14)$$

$$z_{\text{equat}} = y_{\text{eclip}} \cdot \sin(\text{obl}) + z_{\text{eclip}} \cdot \cos(\text{obl}). \quad (15)$$

Далее находим прямое восхождение(RA) и склонение(Decl):

$$\text{RA} = \text{arctg} \frac{y_{\text{equat}}}{x_{\text{equat}}}; \quad (16)$$

$$\text{Decl} = \text{arctg} \frac{z_{\text{equat}}}{\sqrt{x_{\text{equat}}^2 + y_{\text{equat}}^2}}. \quad (17)$$

Для вычисления высоты и азимута, необходимо определить положение Солнца в прямоугольных горизонтальных, а для этого необходимо вычислить часовой угол HA:

$$\text{HA} = \text{GMST0} + \text{UT} + \text{lon}_h - \text{RA}, \quad (18)$$

где GMST0=L+12 – звездное время на гринвичском меридиане в 00:00; UT – всемирное время; lon_h – земная долгота в часовой форме.

Теперь преобразуем часовой угол (HA) и склонение (Decl) Солнца в прямоугольную систему координат, где ось X указывает на небесный экватор на юге, ось Y – на горизонт на западе, а ось Z – на северный небесный полюс, расстояние устанавливается r = 1:

$$x = \cos(\text{HA}) \cdot \cos(\text{Decl}); \quad (19)$$

$$y = \sin(\text{HA}) \cdot \cos(\text{Decl}); \quad (20)$$

$$z = \sin(\text{Decl}). \quad (21)$$

Далее поворачиваем эту систему x, y, z вдоль оси, идущей с востока на запад. Северный полюс мира находится в зените и из этого следует, что угол вращения будет равен нулю. На других широтах угол поворота будет (90-lat). Это дает:

$$x_{\text{hor}} = x \cdot \cos(90 - \text{lat}) - z \cdot \sin(90 - \text{lat}); \quad (22)$$

$$y_{\text{hor}} = y; \quad (23)$$

$$z_{\text{hor}} = x \cdot \sin(90 - \text{lat}) + z \cdot \cos(90 - \text{lat}), \quad (24)$$

где lat – широта.

Для получения азимута и высоты солнца, преобразуем его в сферические координаты ($r = 1$):

$$\text{azimuth} = \text{arctg} \frac{y_{\text{hor}}}{x_{\text{hor}}}; \quad (25)$$

$$\text{altitude} = \arcsin(z_{\text{hor}}) = \text{arctg} \frac{z_{\text{hor}}}{\sqrt{x_{\text{hor}}^2 + y_{\text{hor}}^2}}. \quad (26)$$

На основе вычислений высоты и азимута солнца не составляет проблем определить оптимальное положение солнечных панелей. Оптимальным положением является то, при котором солнечные лучи перпендикулярны фотоэлектрическому модулю.

Для управления работой ориентации фотоэлектрической станции была написана программа для Arduino Uno, которая регулирует положение фотоэлектрических модулей в зависимости от положения Солнца. Для работы программы необходимо указать долготу и широту, а также подключить и настроить часы реального времени. Программный модуль разрабатывался в среде программирования Microsoft Visual Studio на языке C++.

Литература

1. Meeus, J. *Astronomical Algorithms* / Jean Meeus. – Richmond: Willmann-Bell, 1998. – 477 p. – ISBN 978-0943396613.

П. К. Банза

(ГГТУ имени П. О. Сухого)

Науч. рук. **В. В. Комраков**, канд. техн. наук, доцент

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ МОДУЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МАШИНЫ ТРЕНИЯ

Известно, что для повышения эффективности какого-либо вида деятельности человека, необходима его автоматизация. При этом