

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА ТРАЕКТОРИЕЙ ДВИЖЕНИЯ СОЛНЦА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАКСИМУМА СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**Корнеев А.П., Niu Yitong**, Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

***Аннотация.** Приведены преимущества использования солнечной энергии. Представлены формулы расчета азимутальных и высотных углов Солнца. Выбраны формулы для расчета солнечного экваториального хвостового угла и разницы во времени Солнца.*

***Ключевые слова:** солнечная энергия, азимутальные и высотные углы Солнца, солнечный экваториальный хвостовой угол.*

Энергия играет очень важную роль в развитии человеческого общества. Энергия – основа экономического развития и национальной безопасности. Сегодня в мировом энергопотреблении преобладают ископаемые виды топлива, такие как нефть и уголь, в то время как новые источники энергии активно исследуются в качестве альтернативы [1].

Пропаганда зеленой защиты окружающей среды и развитие низкоуглеродной экономики стала основной темой экономического и социального развития в современном мире. Солнечная энергия – это экологически чистая возобновляемая энергия, которая является важным направлением развития энергетики. Отрасль солнечной энергетики имеет большой потенциал для развития, энергичное развитие и использование солнечной энергии имеет важное практическое значение. Разработка ключевых солнечных технологий еще не совершенна, промышленная база слаба, солнечная энергия всегда была в состоянии дополнить традиционную энергию, рынок солнечной энергии велик, но не силен, солнечная промышленность недостаточно сильна, чтобы развиваться [2].

По сравнению с другими источниками энергии, такими как уголь и нефть, солнечная энергия имеет следующие преимущества:

1. Универсальность: солнечный свет можно получать и использовать в разных областях, хотя интенсивность его излучения варьируется на разных широтах, объем его излучения уни-

версален, что является большим преимуществом для развития и использования солнечной энергии.

2. Безвредность: по сравнению с углем и нефтью, солнечная энергия является экологически чистым возобновляемым источником энергии, ее разработка и использование не вызовут загрязнения окружающей среды, что является преимуществом, которого нет у других источников энергии, что очень важно для сегодняшнего продвижения экологически чистого развития.

3. Безграничность: по сравнению с другими источниками энергии, солнечная энергия обладает огромным потенциалом, она может стать постоянным источником энергии, при долгосрочном развитии человеческого общества.

4. Долговечность: по сравнению со скоростью производства ядерной энергии Солнцем, накопленного в нем водорода достаточно для использования десятки миллиардов лет, по сравнению с жизнью Земли в миллиарды лет, солнечная энергия характеризуется долгим сроком использования.

В статье разрабатывается алгоритм слежения за траекторией движения Солнца для получения максимума солнечного излучения, основанного на изучении существующей теории слежения, которая сочетает отслеживание кажущейся траектории движения Солнца с фотоэлектрическим слежением, тем самым преодолевая проблему накопления ошибок в отслеживании кажущейся траектории движения Солнца [3].

### ***Выбор формулы для расчета угла высоты Солнца и азимутального угла***

В основе метода отслеживания траектории видимого движения Солнца лежат различные астрономические алгоритмы, задействованные на солнечной орбите. Выбор астрономических алгоритмов очень важен для повышения точности метода отслеживания траектории видимого движения Солнца. Эти алгоритмы можно разделить на две категории: одна представляет собой относительно простые алгоритмические формулы, такие как солнечное равноденствие и разница во времени, которые могут быть аппроксимированы с использованием формул после заданного значения даты и второй класс алгоритмов, который учитывает больше переменных и требует больших вычисли-

тельных ресурсов, где эклиптика, склонение, зенитное расстояние и азимут Солнца могут быть вычислены с учетом географического положения (широта, долгота и время) [4].

Идеи расчета заключаются в том, чтобы сначала вычислить солнечное равноденствие и разницу во времени, затем вычислить местный угол солнечного времени на основе разницы во времени, и использовать вычисленное солнечное равноденствие, солнечное время и угол как независимые переменные, и вычислить угол высоты Солнца и угол азимута.

Формулы для расчета азимутального и высотного углов Солнца в геодезической системе координат (1) и (2):

$$\cos A = \frac{(\sin h \sin \phi - \sin \delta)}{\cos h \cos \phi} \quad (1)$$

$$\sin h = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \tau, \quad (2)$$

где  $A$  – солнечный азимут точки наблюдения;  $h$  – угол высоты Солнца в точке наблюдения;  $\delta$  – угол склонения Солнца;  $\phi$  – географическая широта точки наблюдения;  $\tau$  – истинный солнечный временной угол в точке наблюдения.

Из приведенных формул видно, что ключом к вычислению солнечной высоты и азимута является вычисление солнечного равноденствия и солнечного временного угла, поэтому точность этого вычисления напрямую влияет на точность вычисления солнечной высоты и азимута.

### ***Выбор формулы для расчета солнечного экваториального хвостового угла.***

Поскольку существует угол между плоскостью орбиты вращения Земли вокруг своей оси и плоскостью орбиты вращения Земли вокруг Солнца, а угол солнечного склонения изменяется, его можно только определять по ежегодному астрономическому альманаху. Поэтому при практическом применении солнечной энергии можно суммировать простой алгоритм определения угла склонения Солнца, объединив существующие астрономические знания.

Точность формулы расчета солнечного экваториального угла, предложенная Вангом, является наилучшей. Максималь-

ное отклонение не более  $0,1^\circ$  и минимальное отклонение около  $0,027^\circ$  по сравнению со значением, записанным в астрономическом альманахе, среднее отклонение составляет всего  $0,00401^\circ$  [5].

Расчет солнечного экваториального хвостового угла определяется по формуле:

$$\delta_4 = 0.3723 + 23.2567 \sin \theta + 0.1149 \sin^2 \theta - 0.1712 \sin^3 \theta - 0.758 \cos \theta + 0.3656 \cos 2\theta + 0.0201 \cos 3\theta, \quad (3)$$

где  $\theta = \frac{2\pi t}{365.2422}$ ,  $t = N - N_0$ ,  $N$  – текущий день,

$$N_0 = 79.6764 + 0.2422 \times (\text{year} - 1985) - \text{INT} \left[ \frac{(\text{year} - 1985)}{4} \right],$$

где INT – это целое число, например INT (5.34) = 5.

#### ***Выбор формулы для расчета разницы во времени Солнца.***

Поскольку продолжительность истинного солнечного дня меняется каждый день, чтобы получить относительно равное и постоянное солнечное время, общая практика состоит в том, чтобы представить солнце, называемое плоским солнцем, а плоское солнечное время является эталоном системы времени. Чтобы иметь возможность рассчитать угол солнечного времени и, таким образом, получить угол изменения солнечной высоты, первым шагом является определение разницы между истинным солнечным временем и плоским солнечным временем.

Поскольку истинное солнечное время меняется каждый день, разница во времени также меняется каждый день, что вносит неопределенность в расчет отношения положения Солнца в реальном времени, а точность его расчета также напрямую влияет на изменения угла солнечной высоты и азимутальный угол. Для нужд научных исследований и практического производства, таких как экваториальный угол Солнца, ученые обобщили некоторые формулы расчета разницы во времени.

Сравнительный анализ формул для расчета солнечного экваториального угла и разницы во времени показывает, что уравнение (3), предложенное Вангом, имеет наилучшую точность

для вычисления экваториального угла, а уравнение (4), предложенное Ламмом имеет лучшую точность для вычисления разницы во времени. Точность этих двух простых алгоритмов не высока по сравнению со сложными алгоритмами, предложенными в [5], в практических инженерных решениях надо учитывать не только точность алгоритмов, но и сложность, работоспособность и стоимость реализации.

Формула для вычисления разницы во времени:

$$E_{t4} = \sum_{k=0}^5 \left[ A_k \cos\left(\frac{2\pi kN}{365.25}\right) + B_k \sin\left(\frac{2\pi kN}{365.25}\right) \right] \quad (4)$$

где  $N$  – номер дня в 4-летнем цикле, начинающемся с каждого високосного года.

Значения  $A_k, B_k$  можно найти в таблице.

Таблица

Значения параметров  $A_k, B_k$

| $k$ | $A_k$           | $B_k$           |
|-----|-----------------|-----------------|
| 0   | $2.087e^{-4}$   | 0               |
| 1   | $9.2869e^{-3}$  | $-1.2229e^{-1}$ |
| 2   | $-5.2258e^{-2}$ | $-1.5698e^{-1}$ |
| 3   | $-1.3077e^{-3}$ | $-5.1602e^{-3}$ |
| 4   | $-2.1867e^{-2}$ | $-2.923e^{-3}$  |
| 5   | $-1.51e^{-4}$   | $-2.3463e^{-4}$ |

### **Выводы**

Выбраны формулы расчета азимутальных, высотных углов Солнца, солнечного экваториального хвостового угла и разницы во времени Солнца для получения максимума солнечного излучения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Niu Yitong*. Analysis of energy structure and alternative energy development / Yitong Niu, Andrei Korneev. – Insight-Civil Engineering, Volume 4 Issue 1, 2021, ISSN: 2630-4716 – P. 23 – 30

2. *Li Anding*. Solar photovoltaic power generation system engineering. – Chemical Industry Press, 2012 – 000(011), P. 52-56.

3. *Niu Yitong*. Optimization of the structure, elements and study of the operating modes of a power plant using solar energy. – Master thesis, Belarusian-Russian University, 2021.

4. *Blanco-Muriel M.* Computing the solar vector / M. Blanco-Muriel, D.C. Alarcón-Padilla, T. López-Moratalla, M. Lara-Coira. – Solar Energy, 2001, 70(5), P. 431-441.

5. *Wang Bingzhong*. Recalculation of astronomical parameters commonly used in solar observation / Bingzhong Wang, Gengshan Liu. Journal of Solar Energy, 1991, 12(1), P. 27-32.

***Авторы:***

***Корнеев Андрей Петрович***, старший преподаватель кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Белорусско-Российского университета. Закончил электротехнический факультет Белорусско-Российского университета в 2002 году. E-mail: ankorn@tut.by.

***Niu Yitong***, магистрант кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Белорусско-Российского университета. Магистр технических наук, 2021 год, тема «Оптимизация конструкции, элементов и исследование режимов работы электростанции на солнечной энергии». E-mail: itong\_niu@163.com.