

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ И АЗИМУТА СОЛНЦА НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ JAVASCRIPT

Бандарик С.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Тонконогов Б.А. – канд.техн.наук, доцент

Аннотация. Современная ситуация, связанная с развитием солнечной энергетики, породила множество индивидуальных пользователей фотоэлектрических станций. Данная статья описывает алгоритм определения высоты и азимута солнца, который может быть использован в математических расчетах эффективности солнечных станций, а также использован для создания систем ориентации фотоэлектрических станций.

Ключевые слова: азимут, высота солнца, JavaScript

Введение. При работе с системами, работающими с солнцем, возникает необходимость знать, где находится солнце относительно земли. В сферической системе координат положение Солнца относительно земли определяется высотой и азимутом. Высота и азимут необходимы при математических расчетах и моделировании работы фотоэлектрических станций, а также они используются в системах ориентации солнечных панелей.

В данной статье автором показан порядок расчета необходимых параметров и написание на их основе программы для вычисления высоты и азимута солнца по данным широты, долготы, дате, времени и часовому поясу.

Основная часть. Высоты и азимута солнца постоянно меняются в течении суток и года, а вычисление этих параметров в определенный момент требует даты и времени. Шкала времени в этих формулах исчисляется днями. Ниже представлена формула определения времени [1]:

$$d = 367 \cdot y - 7 \cdot \frac{y + \frac{m+9}{12}}{4} - 3 \cdot \frac{y + \frac{m-9}{7}}{4} + 1 + 275 \cdot \frac{m}{9} + D + t - 730515, \quad (1)$$

где y – номер года; m – номер месяца; D – номер дня в месяце; t – время, выраженное в долях суток.

Сегодня известно, что Земля вращается вокруг Солнца, а не наоборот. Но ниже предположим, что все наоборот. Таким образом, эти элементы орбиты действительны для (видимой) орбиты Солнца вокруг Земли. Тогда мы можем воспользоваться расчетами, предложенными Жаном Миусом в книге «Астрономические алгоритмы» [1], и вычислить долготу перигелия(w), эксцентриситет(e), среднюю аномалию(M):

$$w = 282.9404 + 4.70935 \cdot 10^{-5} \cdot d; \quad (2)$$

$$e = 0.016709 - 1.151 \cdot 10^{-9} \cdot d; \quad (3)$$

$$M = 356.047 + 0.9856002585 \cdot d. \quad (4)$$

Также необходимо вычислить наклон эклиптики (obl) и среднюю долготу Солнца, L :

$$obl = 23.4393 - 3.563 \cdot 10^{-7} \cdot d; \quad (5)$$

$$L = w + M. \quad (6)$$

Далее необходимо вычислить вспомогательный угол эксцентрической аномалии. Поскольку эксцентриситет орбиты Солнца (т.е. Земли) очень мал, 0,017, первое приближение E будет достаточно точным. И тогда:

$$E = M + e \cdot \sin M \cdot (1 + e \cdot \cos M) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (7)$$

Теперь необходимо вычислить прямоугольные координаты Солнца, где ось X направлена в сторону перигелия:

$$x = \cos E - e; \quad (8)$$

$$y = \sin E \cdot \sqrt{1 - e^2}. \quad (9)$$

Далее необходимо получить расстояние и истинную аномалию:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad (10)$$

$$v = \operatorname{arctg} \frac{y}{x}. \quad (11)$$

И теперь можно вычислить долготу Солнца:

$$\operatorname{lon}_C = v + w. \quad (12)$$

Теперь необходимо вычислить эклиптические прямоугольные координаты Солнца [1]:

$$x_{\text{eclip}} = r \cdot \cos(\operatorname{lon}_C); \quad (13)$$

$$y_{\text{eclip}} = r \cdot \sin(\operatorname{lon}_C); \quad (14)$$

$$z_{\text{eclip}} = 0. \quad (15)$$

Далее используется наклон эклиптики, повернем эклиптические координаты в экваториальные:

$$x_{\text{equat}} = x_{\text{eclip}}; \quad (16)$$

$$y_{\text{equat}} = y_{\text{eclip}} \cdot \cos(\operatorname{obl}) - z_{\text{eclip}} \cdot \sin(\operatorname{obl}); \quad (17)$$

$$z_{\text{equat}} = y_{\text{eclip}} \cdot \sin(\operatorname{obl}) + z_{\text{eclip}} \cdot \cos(\operatorname{obl}); \quad (18)$$

Теперь возможно получить прямое восхождение(RA) и склонение(Decl):

$$RA = \operatorname{arctg} \frac{y_{\text{equat}}}{x_{\text{equat}}}; \quad (19)$$

$$\text{Decl} = \operatorname{arctg} \frac{z_{\text{equat}}}{\sqrt{x_{\text{equat}}^2 + y_{\text{equat}}^2}}. \quad (20)$$

Чтобы вычислить высоту и азимут, также необходимо знать часовой угол НА. Часовой угол равен нулю, когда небесное тело находится в меридиане, то есть на юге (или, из южной области, на севере) - это момент, когда небесное тело находится на самом высоком уровне над горизонтом.

Часовой угол увеличивается со временем (если только объект не движется быстрее, чем вращается Земля; это относится к большинству искусственных спутников). Он рассчитывается из:

$$HA = GMST0 + UT + \text{lon}_h - RA, \quad (21)$$

где GMST0 – звездное время на гринвичском меридиане в 00:00; UT – всемирное время, равно времени по Гринвичу; lon_h – земная долгота, выраженная в часовой форме.

Далее необходимо преобразовать часовой угол НА и склонение Decl Солнца в прямоугольную (x, y, z) систему координат, где ось X указывает на небесный экватор на юге, ось Y – до горизонта на западе, а ось Z - на северный небесный полюс, расстояние r здесь не имеет значения, поэтому для простоты устанавливается $r = 1$:

$$x = \cos(HA) \cdot \cos(Decl); \quad (22)$$

$$y = \sin(HA) \cdot \cos(Decl); \quad (23)$$

$$z = \sin(Decl). \quad (24)$$

Теперь необходимо повернуть эту систему x, y, z вдоль оси, идущей с востока на запад, то есть ось Y повернуть таким образом, чтобы ось Z указывала на зенит. На Северном полюсе угол вращения будет равен нулю, поскольку там северный полюс мира уже находится в зените. На других широтах угол поворота становится $(90 - \text{lat})$. Это дает:

$$x_{\text{hor}} = x \cdot \cos(90 - \text{lat}) - z \cdot \sin(90 - \text{lat}); \quad (25)$$

$$y_{\text{hor}} = y; \quad (26)$$

$$z_{\text{hor}} = x \cdot \sin(90 - \text{lat}) + z \cdot \cos(90 - \text{lat}), \quad (27)$$

где lat – широта.

Чтобы получить азимут и высоту, для этого преобразуем горизонтальные прямоугольные координаты в сферические координаты ($r = 1$) [2]:

$$\text{azimuth} = \operatorname{arctg} \frac{y_{\text{hor}}}{x_{\text{hor}}}; \quad (28)$$

$$\text{altitude} = \arcsin(z_{\text{hor}}) = \operatorname{arctg} \frac{z_{\text{hor}}}{\sqrt{x_{\text{hor}}^2 + y_{\text{hor}}^2}}. \quad (29)$$

Чтобы адаптировать азимут к наиболее распространенному способу указания: от севера (0) до востока (90), юга (180), запада (270) и обратно на север, необходимо к полученному выражению (29) добавить 180 градусов и тогда выражение имеет вид:

$$\text{altitude} = \arctg \frac{Z_{\text{hor}}}{\sqrt{x_{\text{hor}}^2 + y_{\text{hor}}^2}} + 180. \quad (30)$$

На основе данного алгоритма была написана компьютерная программа. При разработке программы использовался стек технологий: HTML/CSS, JavaScript. Данная программа позволяет получить высоту и азимут солнца в любой момент времени в течении года, а также получить высоту и азимут солнца в течении всего дня по заданному шагу времени. Для использования программы необходим ввод входных данных, таких как: год, месяц, день, время, широта, долгота, разница местного времени с Гринвичем. Интерфейс программы и вывод результат представлен ниже на рисунке 1.

Высота и азимут Солнца

дд.мм.гггг	GMT	Шаг времени в минутах
--:--	Долгота	Широта
Рассчитать		Рассчитать за сутки

Рисунок 1 – Интерфейс программы

Интерфейс программы представлен полями для ввода данных, а также двумя кнопками для расчета высоты и азимута солнца в определенный момент времени и для расчета этих параметров за сутки. При выполнении расчета высоты и азимута солнца для конкретного момента времени в полях ввода необходимо указать: дату, время, разницу местного времени с Гринвичем, долготу и широту. Для расчета данных за сутки время можно не указывать. Однако необходимо указать шаг времени между результатами расчета в минутах. Результат расчетов выводится под интерфейсом управления для конкретного времени в виде строки (рисунок 2), а результаты за сутки в виде таблицы с указанием времени (рисунок 3).

11.03.2021	GMT 3	Шаг времени в минутах
14:00	Долгота 27.55	Широта 53.91
Рассчитать		Рассчитать за сутки

Высота: 31.67

Азимут: 191.76

Рисунок 2 – Интерфейс программы с выводом результата

Время	Азимут	Высота
0:5	336.0187297013722	-37.830192630210526
0:10	337.5577661544796	-38.11912875454876
0:15	339.1080928431504	-38.38970958577789
0:20	340.6691481632663	-38.641604834308794
0:25	342.24032198499606	-38.87450103109103
0:30	343.82095704226106	-39.08810307163525
0:35	345.41035077688184	-39.28213572202101
0:40	347.0077576408906	-39.45634506974513
0:45	348.61239185267107	-39.61049990210953
0:50	350.2234305940634	-39.74439299489347
0:55	351.8400176272746	-39.8578422946466

Рисунок 3 – Интерфейс программы с выводом результата за сутки

Заключение. Получен алгоритм определения высоты и азимута солнца, на основе входных данных: года, месяца, дня, широты и долготы. На основе данного алгоритма была написана компьютерная программа, позволяющая определять высоту и азимут солнца для любого момента времени, а также позволяет получить данные за весь день по заданному шагу времени. Однако основная задача данной программы реализовать свой функционал в модели для расчета прихода солнечной энергии в течении года, также использование данной программы возможно в других моделях и расчетах, связанных с солнечной энергетикой. Разработка программного кода велась в среде программирования Visual Studio Code на языке JavaScript с использованием технологии HTML/CSS, в результате чего было получено веб-приложение.

Список литературы

1. Meeus, J. *Astronomical Algorithms* / Jean Meeus. – Richmond: Willmann-Bell, 1998. – 477 p. – ISBN 978-0943396613.
2. Duffett-Smith, P. *Practical Astronomy with Your Calculator* / Peter Duffett-Smith. – Cambridge: Cambridge University Press, 1988. – 200 p. – ISBN 978-0521356992

UDC 004.942

ALGORITHM FOR DETERMINING THE ALTITUDE AND AZIMUTH OF THE SUN IN THE JAVASCRIPT PROGRAMMING LANGUAGE

Bandaryk S.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tonkonogov B.A. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Annotation. The current situation related to the development of solar energy has given rise to many individual users of photovoltaic plants. This article describes an algorithm for determining the altitude and azimuth of the sun, which can be used in mathematical calculations of the efficiency of solar stations, and also used to create orientation systems for photovoltaic stations.

Keywords. azimuth, sun height, JavaScript