

7. Вагапов И.К., Клубович В.В., Сакевич В.Н. Влияние акустических и технологических параметров колебательной системы на процесс волочения через разъемную волоку // Вестн АН БССР. Сер. Физ. – мат. Навук. 1981. №2. С.97-103.
8. Вагапов И.К., Клубович В.В., Сакевич В.Н. и др. Исследование областей притяжения стационарных режимов в виброударной системе с натягом при гармоническом движении ограничителя // Докл. АН БССР. 1981. Т.25, №10. С.903-907.
9. Сакевич В.Н. Виброударный генератор стохастических механических колебаний // Сб. трудов XIV Симпозиума «Динамика виброударных (сильно нелинейных) систем». Москва-Звенигород-2003г. С. 118-120.

Аннотация

Разработана программа, позволяющая моделировать стационарные режимы движения и строить спектральные характеристики виброударных режимов взаимодействия в ультразвуковой системе с натягом при гармоническом движении ограничителя. Полученные спектральные характеристики служат основой для синтеза ультразвуковых устройств различного технологического назначения.

Summary

The program allowing to simulate stationary modes of movement and to build the spectral characteristics vibroimpact of modes of interaction in ultrasonic system with interference at harmonic movement of the terminator is developed. The received spectral characteristics will form the basis for synthesis of ultrasonic devices of various technological purpose.

УДК 620.97

ОЦЕНКА ОСВЕЩЁННОСТИ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕГО ОРИЕНТАЦИИ

И.Н. Потапов

*УО «Витебский государственный университет
им. П.М.Машерова»*

Энергетическая программа Республики Беларусь до 2010 года предусматривает крупносерийное производство гелиоводоподогревательных установок. К 2010 г. планируется их применение, обеспечивающее эквивалентную экономию 50 тыс. т условного топлива в год [1].

Основным элементом солнечной нагревательной системы является приемник, в котором происходит поглощение солнечного излучения и передача энергии жидкости. Наиболее распространенными являются плоские (нефокусирующие) приемники, позволяющие собирать как прямое, так и рассеянное излучение и в силу этого способные работать также и в облачную погоду.

Рассмотрим, как влияет на эффективность работы плоского приёмника солнечного излучения его ориентация по азимуту и по углу наклона к плоскости горизонта.

Поставленная задача решается с использованием астрономических координат из горизонтальной и экваториальной систем координат на поверхности небесной сферы. Введём следующие обозначения:

φ - географическая широта местности (положительная для северного полушария Земли);

δ - склонение Солнца, астрономическая координата в экваториальной системе координат, центральный угол с вершиной в центре небесной сферы в плоскости круга склонения Солнца, сторонами которого являются направление на видимый центр Солнца и направление на точку пересечения линии склонения Солнца с небесным экватором. В данном случае центр небесной сферы лежит в плоскости солнечного коллектора. Пределы изменения склонения $-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$, склонение положительно в северной полусфере небесной сферы;

Склонение δ можно определить по приближенной формуле Купера

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[\frac{360^\circ (284 + n)}{365} \right],$$

где n - порядковый номер дня года.

Например, 2 февраля $n = 33$, $\delta = -17,2^\circ$. Для сравнения, $\delta = -17,02^\circ$ по данным Астрономического календаря.

t - часовой угол, астрономическая координата в экваториальной системе координат, двугранный угол между плоскостью круга линии склонения, проходящего через видимый центр диска Солнца и плоскостью небесного меридиана. Плоскость небесного меридиана совпадает или параллельна плоскости местного географического меридиана. На небесной сфере часовой угол измеряется дугой небесного экватора от верхней точки небесного экватора, лежащей в плоскости небесного меридиана, до точки пересечения линии склонения, проходящей через видимый центр диска Солнца, с небесным экватором. За положительное направление отсчёта часовых углов принято направление совпадающее с направлением суточного вращения небесной сферы (от юга к западу).

Измеряется часовой угол как в градусной, так и в часовой мере. Пределы изменения значений часового угла:

$$0 \leq t \leq 360^\circ - \text{в градусной мере,}$$

$$0 \leq t \leq 24^h - \text{в часовой мере,}$$

$$t^h = t^\circ / 15 \text{ или } t^\circ = 15 t^h.$$

Часовой угол видимого центра диска Солнца с точностью $\pm 5^m$ можно вычислить по формуле

$$t^h = m - 12,$$

где m - местное солнечное время.

Например, в местный солнечный полдень, когда $m = 12^h$, $t = 0$, при $m = 10^h$, $t = -2^h$ или -30° , при $m = 15,5^h$, $t = 3,5^h$ или $52,5^\circ$;

γ - угол между рассматриваемой плоскостью солнечного коллектора и плоскостью математического горизонта, т.е. наклон плоскости солнечного коллектора к плоскости математического горизонта. Плоскость математического горизонта - основная координатная плоскость в горизонтальной системе координат. Плоскость математического горизонта - это плоскость, проходящая через центр небесной сферы перпендикулярно к отвесной линии в точке наблюдения. Линия пересечения плоскости математического горизонта с поверхностью небесной сферы называется математический горизонт.

A - азимут точки N , точки пересечения нормали к плоскости солнечного коллектора с поверхностью небесной сферы. A - астрономическая координата в горизонтально системе координат, двугранный угол между плоскостью небесного меридиана и плоскостью круга высоты, проходящей через точку N . На небесной сфере азимут измеряется отрезком линии математического горизонта от точки юга до точки пересечения линии высоты точки N с математическим горизонтом.

Пределы изменения азимута $0 \leq A \leq 360^\circ$, начало отсчёта A – точка юга, за положительное направление отсчёта принято направление, совпадающее с направлением суточного вращения небесной сферы т.е. от юга к западу.

i - угол падения прямого солнечного излучения, измеряемый между направлением на Солнце и нормалью к поверхности солнечного коллектора.

Обозначим через E - освещённость, создаваемая солнечными лучами на поверхности плоского солнечного коллектора.

Величина E зависит от угла падения солнечных лучей на поверхность солнечного коллектора (угол i) и от величины поглощения солнечной радиации в земной атмосфере.

Величина поглощения зависит от высоты Солнца над горизонтом (принятое обозначение - угол h) и состояния земной атмосферы. Вместо высоты Солнца в расчётах часто используется величина - зенитное расстояние, угловое расстояние между направлением на зенит и направлением на видимый центр диска Солнца. Зенитное расстояние принято обозначать буквой z .

$$z + h = 90^\circ \text{ или } z = 90^\circ - h$$

$$E = q_0 D \cos(i) \sin(z), \quad (1)$$

где q_0 – солнечная постоянная $4871 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \text{ ч})$, D – атмосферный коэффициент [2].

Если высота Солнца над горизонтом (или зенитное расстояние) зависит от склонения Солнца, географической широты места и времени суток, то на угол i влияет, кроме величин, определяющих высоту Солнца, и ориентация плоскости солнечного коллектора в пространстве.

Соотношение между i и другими углами можно записать, используя формулы сферической астрономии [3].

Применив к параллактическому треугольнику на поверхности небесной сферы с вершинами – зенит, северный полюс мира, видимый центр диска Солнца формулы косинуса стороны, синусов и пяти элементов, получим:

$$\begin{aligned} \cos z &= \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t, \\ \sin A_c \sin z &= \cos \delta \sin t, \\ \cos A_c \sin z &= \cos \delta \sin \varphi \cos t - \sin \delta \cos \varphi, \end{aligned}$$

где A_c – азимут Солнца, соответствующий данному моменту местного солнечного времени.

Применив к сферическому треугольнику на поверхности небесной сферы с вершинами – зенит, видимый центр диска Солнца, точка N , формулу косинуса стороны, получим:

$$\begin{aligned} \cos i &= \cos \gamma \cos z + \sin \gamma \sin z \cos (A - A_c) \\ \text{или} \\ \cos i &= \cos \gamma \cos z + \sin \gamma \sin z (\cos A \cos A_c + \sin A \sin A_c). \end{aligned}$$

Объединив записанные уравнения сферической астрономии получим выражение для $\cos i$ в следующем виде:

$$\begin{aligned} \cos i &= \sin \delta \sin \varphi \cos \gamma - \sin \delta \cos \varphi \sin \gamma \cos A + \\ &+ \cos \delta \cos \varphi \cos \gamma \cos t + \cos \delta \sin \varphi \sin \gamma \cos A \cos t + \\ &+ \cos \delta \sin \gamma \sin A \sin t. \end{aligned} \quad (2)$$

Пример 1. Определить угол падения прямого солнечного излучения на поверхность, расположенную на широте 43° , 15 февраля в 14.30, если поверхность наклонена под углом 45° к горизонту и ориентирована под углом 15° к западу от направления на юг.

При этих условиях склонение равно -14° , часовой угол $37,5^\circ$, а азимутальный угол поверхности 15° . С учетом того, что угол наклона поверхности составляет 45° соотношение (2) приобретает вид

$$\cos i = \sin(-14) \sin 43 \cos 45 - \sin(-14) \cos 43 \sin 45 \cos(15) + \cos(-14) \cos 43 \cos 45 \cos(37,5) + \cos(-14) \sin 43 \sin 45 \cos(15) \cos(37,5) + \cos(-14) \sin 45 \sin(15) \sin(37,5) = -0,1167 + 0,1208 + 0,3981 + 0,3586 + 0,1081 = 0,8689,$$

$$i = 30^\circ.$$

Во многих случаях соотношение, связывающее указанные углы, упрощается. Например, для фиксированных плоских коллекторов при $A = 0$ последний член становится равным нулю. Для вертикальных поверхностей $\gamma = 90^\circ$, так что первый и третий члены становятся равными нулю. Для горизонтальных поверхностей, когда $\gamma = 0^\circ$, в соотношении остаются только первый и третий члены, а угол падения лучей на поверхность (т.е. зенитное расстояние Солнца) становится равным

$$\cos z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t$$

Пример 2. Определить зенитный угол Солнца на широте 43° 15 февраля в 14.30.

В этом случае соотношение (2) имеет вид

$$\cos z = \sin(-14) \sin 43 + \cos(-14) \cos 43 \cos(37,5) = 0,3980$$

$$z = 66^\circ, h = 24^\circ.$$

Таблица 1

Значения величины E , найденные по формуле (1), в единицах $q_0 D$ для дня летнего солнцестояния ($\delta = 23,5^\circ$) на географической широте Витебска ($\varphi = 55^\circ$) для случая, когда $A = 0$.

γ	$t = 0$	$t = 15^\circ$	$t = 30^\circ$	$t = 45^\circ$
0	0,73	0,70	0,61	0,49
30°	0,85	0,81	0,69	0,53
45°	0,83	0,79	0,67	0,49
60°	0,75	0,71	0,59	0,43

Таблица 2

Значения величины E , найденные по формуле (1), в единицах $q_0 D$ для дня осеннего или весеннего равноденствия ($\delta = 0$) на географической широте Витебска ($\varphi = 55^\circ$) для случая, когда $A = 0$.

γ	$t = 0$	$t = 15^\circ$	$t = 30^\circ$	$t = 45^\circ$
0	0,33	0,31	0,25	0,16
30°	0,52	0,49	0,39	0,26
45°	0,56	0,53	0,42	0,28
60°	0,57	0,53	0,43	0,29

Таблица 3

Значения величины E , найденные по формуле (1), в единицах $q_0 D$ для дня зимнего солнцестояния ($\delta = -23,5^\circ$) на географической широте Витебска ($\varphi = 55^\circ$) для случая, когда $A = 0$.

γ	$t = 0$	$t = 15^\circ$	$t = 30^\circ$	$t = 45^\circ$
0	0,04	0,03	0,02	0,00
30°	0,13	0,12	0,07	0,02
45°	0,17	0,15	0,09	0,03
60°	0,19	0,17	0,11	0,03

Список использованных источников

1. Основы энергосбережения: Цикл лекций / Под ред. Н.Г. Хутской. Минск: Техна-логия. 1999. 100 с.
2. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. Москва. «Мир». 1977. 420 с.
3. Куликов К.А. Курс сферической астрономии. Москва: Наука. 1974. 232 с.

Аннотация

Приводятся астрономические соотношения для расчёта освещённости Солнцем плоского солнечного коллектора в зависимости от его ориентации в пространстве. Рассчитаны освещённости для плоского солнечного коллектора, расположенного на широте Витебска в зависимости от часового угла Солнца и угла наклона плоскости коллектора к горизонту.

Summary

In this work represent astronomical equation for calculation of luminous intensity of flat-plate solar-heat collector depending on its space orientation. Calculated the luminous characteristics of flat-plate solar-heat collector which is situated at latitude of Vitebsk depending on hour angle of the Sun and the inclination of the plate of collector to the horizon.

УДК 669.27:519

**РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ НА ОСНОВЕ
КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ
«ПРОТЕРМ»**

**А.Н. Чичко, Ю.В. Яцкевич, В.Ф. Соболев,
О.И. Чичко, В.Ф. Одиночко**
Белорусский национальный технический
университет

Развитие компьютерных технологий открывает новые возможности в управлении процессами энергосбережения при термической обработке деталей. Структурные и фазовые превращения материала вместе со сложной пространственной конфигурацией детали под воздействием температуры являются причиной неоднородного распределения свойств в сечении детали (структура, твердость), что приводит к снижению ее надежности и долговечности, а часто и к браку. Все это приводит к далеко не опти-