

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи в поре (по экспериментальным данным),  
Вт/(м<sup>2</sup> · °С) ;

$S$  – определяющий размер поры, ( $S=0,01$  м) ;

$\lambda_r$  – коэффициент теплопроводности газа в поре, Вт/(м·°С).

Коэффициент теплоотдачи рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \alpha_{\text{конв}} + \alpha_{\text{луч}} \quad (4)$$

$\alpha_{\text{луч}}$  принимается как 10 % от  $\alpha_{\text{конв}}$ .

Коэффициент теплоотдачи был определен с учетом влияния массообмена на теплообмен по формуле [3]:

$$Nu = 1,24 \left( \frac{d}{H} \right)^{0,3} Re^{0,33} E^{0,084}, \quad (3)$$

Математическая модель теплообмена в процессе сушки слоя ТБО реализована в программном комплексе ANSYS [4] и адаптирована на условия лабораторного эксперимента. Оценена погрешность расчетных и экспериментальных температур слоя ТБО, которая не превышает 5 %.

Выводы:

1. Определены эффективные свойства слоя ТБО при различных влажностях, порозностях и температурах.

2. Разработана математическая модель теплообмена в слое ТБО в процессе его сушки, которая реализована в программном комплексе ANSYS.

3. Модель позволяет исследовать температурные поля слоя ТБО в зоне сушки реактора шахтного типа.

#### Список использованных источников

1. Дульнев Г. Н., Заричняк Ю. П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Л. : Энергия, 1974. 264 с.
2. Бровкин Л.А. Температурные поля тело при нагреве и плавлении в промышленных печах. Иваново : ИЭИ, 1973. 364 с.
3. Колибаба О. Б., Сокольский А. И., Габитов Р. Н. Исследование сушки слоя бытовых отходов в процессе термической переработки // Вестник ЧГУ. 2006. № 3. С. 21-25
4. Бруяка В. А., Фокин В. Г., Кураева Я. В. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учеб. пособие. Самар а: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. 149 с.
5. Басов К. А. Графический интерфейс комплекса ANSYS. М. : ДМК Пресс, 2006. 248 с.

УДК 62-529

Немков Д. А., Матвеев А. В., Немихин Ю. Е.  
Уральский федеральный университет  
a.v.matveev@urfu.ru, xeqlol@gmail.com

## ПРОТОТИП СОЛНЕЧНОГО ТРЕКЕРА

**Аннотация.** В работе обоснована целесообразность применения солнечных трекеров. Описаны прототип солнечного трекера – программная и механическая части, система измерений и мониторинга.

Одним из наиболее востребованных и динамично развивающихся направлений возобновляемой энергетики является солнечная энергетика. В большинстве высокоразвитых стран, таких как США, Китай, Германия и многих других, активно ведутся работы по созданию и внедрению солнечных электростанций, как промышленных масштабов, так и небольшой мощности, ориентированных на частных потребителей.

Одним из факторов, влияющих на эффективность работы солнечной электростанции, является ориентация фотоэлектрических панелей по отношению к положению солнца на небосводе. Известно, что величина инсоляция на наклонную плоскость зависит от угла между нормалью к данной плоскости и направлением на Солнце. Прямая солнечная радиация, являющаяся основным источником энергии для фотоэлектрических станций, может быть рассчитана по следующей формуле:

$$R_{dir} = R_{CH} \cos i, \quad (1)$$

где  $i$  – угол между нормалью к поверхности солнечной панели и направлением на Солнце,  $R_{CH}$  – измеренная солнечная радиация на перпендикулярную поверхность,

$$\cos i = \cos \alpha \cdot \sin h + \sin \alpha \cdot \cos h \cdot \cos A, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол наклона поверхности к горизонту,  $h$  – высота солнца,  $A$  – разность азимутов Солнца и проекции нормали к поверхности на горизонтальную плоскость [1]. Применение систем ориентации в составе солнечных электростанций направлено на поддержание оптимального угла наклона панелей относительно солнечного излучения с целью повышения общей эффективности системы особенно в утренние и вечерние часы, когда углы склонения солнца принимают максимальное значение [2].

На кафедре «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» (АСиВИЭ) Уральского федерального университета был разработан учебный стенд, позволяющий производить ориентацию солнечных панелей на солнце. Согласно классификации по способу формирования управляющего сигнала его можно отнести к установкам, работающим на основе статистических алгоритмов, он имеет две оси вращения, связь с сетью осуществляется через гибкий кабель, тип трекера – активный.

Трекер состоит из двух частей: механической и программной. Механическая часть реализована с помощью оборудования, произведенного кампанией МПК «Мегасервис». Программная часть реализована с помощью пакета SolarOrientation, который был разработан на кафедре АСиВИЭ. Для разработки данного пакета использовался язык C# версии 5.0.

Пакет SolarOrientation представляет собой набор из двух программ: SOAutomatic и SOManual. Последняя призвана обеспечить ручное управление поворотной системой с помощью текстовых команд, и используется для проведения лабораторных работ и научных исследований. SOAutomatic обеспечивает автоматическое управление поворотной системой с наведением фотоэлектрических панелей на солнце (установка в плоскости перпендикулярной направлению падения солнечных лучей). Для этого используются численные алгоритмы [3, 4],

позволяющие рассчитать текущее положение солнца на небосводе в зависимости от координат местности, времени суток и даты. Применение установки возможно в любом месте при условии задания в рабочем интерфейсе программы вышеуказанных данных.

Для реализации механической части было использовано следующее:

- Поворотное устройство азимутальное с элевацией Радант AZ1000V [5] (рис. 1);
- Контроллер управления AZV-1 (рис. 1);
- Фотоэлектрические панели;
- Резисторы;
- Блок управления;
- Персональный компьютер.



А.



В.

Рис. 1. А – поворотное устройство AZV1000; В – контроллер управления AZV-1

Поворотное устройство состоит из редукторов и двух электродвигателей постоянного тока с соответствующими датчиками, служащими для приема, обработки и передача сигнала. На персональном компьютере по специальному алгоритму происходит расчет оптимального положения поворотной платформы и сравнение этого положения с положением платформы в текущий момент времени. В случае обнаружения отклонения, через блок управления передается сигнал, который воспринимается датчиками, дающими команду на запуск электродвигателей, которые в свою очередь осуществляют поворот платформы по азимуту и элевации. Общий вид поворотной платформы приведен на рис. 2.

Для проведения исследований работы данного оборудования на кафедре АСиВИЭ разработана и смонтирована система измерений и мониторинга, которая включает в себя метеостанцию, позволяющую определять температуру окружающей среды, интенсивность солнечной радиации, влажность, скорость и направление ветра, и ряд датчиков, таких как амперметры и вольтметры. Показания всех приборов фиксируются в режиме реального времени и хранятся на сервере для последующей обработки и анализа [6].



Рис. 2. Поворотное устройство системы слежения за положением солнца

В результате проведенной работы на кафедре АСиВИЭ Уральского федерального университета был создан прототип трекера слежения за положением Солнца, позволяющий проводить испытания и анализ эффективности различных установок солнечной энергетики, накапливать опыт эксплуатации подобных систем, вырабатывать рекомендации по их проектированию. Аналогичная система ориентации может найти широкое применение для повышения эффективности энергоснабжения небольших потребителей, таких как светофоры узлы связи и автоматики, особенно в северных регионах с большой продолжительностью солнечного дня и низкой интенсивностью излучения.

#### Список использованных источников

1. Матвеев Л. Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы, Л., 1965. СПб. : Гидрометеиздат, 2000. 751 с.
2. Deger [Электронный ресурс] URL: <http://www.degerenergie.de> (дата обращения: 10.11.2015).
3. Philippe Blanc, Lucien Wald. The SG2 algorithm for a fast and accurate computation of the position of the Sun for multi-decadal time period [Электронный ресурс] URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00725987/document> (дата обращения: 10.11.2015).
4. Ibrahim Reda, Afshin Andreas. Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications // National Renewable Energy Laboratory. [Электронный ресурс] URL: <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/34302.pdf>. (дата обращения: 10.11.2015).
5. АПУ азимутальное с элевацией AZ1000 (малое) [Электронный ресурс] URL: [http://поворотка.рф/produkcija/povorotnye\\_ustrojstva/povorotnoe\\_ustrojstvo\\_az1000v\\_maloe/](http://поворотка.рф/produkcija/povorotnye_ustrojstva/povorotnoe_ustrojstvo_az1000v_maloe/) (дата обращения: 10.11.2015).
6. Shcheklein S. E., Nemikhin Yu. E., Nevyantsev S. V., Korzhavin A., Postovalov A. O., Nosov D. A., and Zagafuranova Yu. Z. Renewable Energy-Based Plant Remote Monitoring Complex Using Wi-Fi Channels and Elements of Artificial Vision // WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2014. Vol. 190. P. 1185-1194.