

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НЕБОЛЬШОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ

© 2017 В. И. Бирюлин<sup>1</sup>, Д. В. Куделина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>доцент кафедры электроснабжения

*e-mail: bir1956@mail.ru*

<sup>2</sup>старший преподаватель кафедры электроснабжения

*e-mail: mary\_joy@mail.ru*

*Юго-Западный государственный университет*

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности работы солнечных батарей, предназначенных для получения электроэнергии. Приведенные в статье результаты моделирования освещенности батарей при различных способах установки и вращения по одной оси показывают недостаточное использование солнечного света в течение светового дня. Предлагается использовать вращение солнечной батареи по двум осям с использованием современных микроконтроллеров Raspberry Pi, приведен алгоритм работы подобной автоматизированной системы управления солнечной батареей.

**Ключевые слова:** электроэнергия, солнечная батарея, освещенность, эффективность, управляющая программа, микроконтроллер, слежение, малая энергетика.

В настоящее время все большее значение приобретают проблемы охраны природной среды и ее воспроизводства, а также надежного обеспечения человечества топливом и энергией. Эта глобальная проблема связана прежде всего с ограниченностью важнейших органических и минерально-сырьевых ресурсов планеты и негативным воздействием традиционных способов получения топливно-энергетических ресурсов на окружающую среду. Использование альтернативных источников энергии является в настоящее время одним из главных путей решения энергетической проблемы.

Важное место среди альтернативных энергетических источников занимает использование солнечной энергии в различных видах, в том числе и для выработки электроэнергии на солнечных электростанциях. В современном мире используется много солнечных электростанций различной мощности и состава. Они позволяют получать электроэнергию без загрязнения окружающей среды.

Солнечные электростанции являются перспективными источниками для применения в малой энергетике, например, чтобы обеспечить электроснабжение потребителей небольшой мощности, особенно удаленных от централизованной электрической сети. Их работа основана на преобразовании световой энергии в электричество солнечными батареями.

Часто солнечные батареи или панели устанавливаются неподвижно, направленными в южном направлении. Такое техническое решение упрощает всю установку в целом, но приводит к неполному использованию солнечной энергии, так как в промежутки времени между весенним и осенним равноденствиями существуют временные интервалы, когда Солнце уже находится на небе, но еще не освещает солнечные батареи.

Для наглядного пояснения такого явления рассмотрим суточное изменение положения Солнца в день, близкий к летнему солнцестоянию. Определим моменты восхода и захода Солнца, а также время, когда Солнце пересекает направления на

восток и на запад, или же моменты начала и окончания освещения солнечных панелей. Рассчитать эти моменты времени можно используя известные формулы, приведенные в разных изданиях [Куликов 1976; Меёс 1988; Жаров 2006].

Более просто можно определить эти данные при использовании компьютерных программ планетариев, например свободно распространяемой программой Stellarium [сайт]. Точность получаемых результатов при таком способе будет ниже, чем при использовании расчетного способа, но вполне достаточной для наших целей.

В качестве примера возьмем день летнего солнцестояния – 22 июня 2017 года. Для него по программе Stellarium определяются следующие результаты (по московскому времени):

- восход Солнца 4 часа 30 минут (4,5 часа) –  $t_1$ ;
- пересечение направления на восток 7 часов 50 минут (7,83 часа) –  $t_2$ ;
- пересечение направления на запад 17 часов 20 минут (17,33 часа) –  $t_3$ ;
- заход Солнца 20 часов 50 минут (20,83 часа) –  $t_4$ .

Очевидно, что Солнце будет освещать панели солнечной электростанции только в промежуток времени  $\Delta t$ :

$$\Delta t = t_3 - t_2. \quad (1)$$

Подставляя численные значения в формулу (1), получаем результат, равный 9 часам 30 минутам или 9,5 часам. Всего же для этой даты

$$\Delta T = t_4 - t_1. \quad (2)$$

В рассматриваемый день она составляет 16 часов 20 минут, или 16,33 часа. Таким образом, интервал времени прямого освещения панелей составляет  $9,5/16,33 = 0,58$ , или 58% от общей продолжительности светового дня.

Для увеличения использования световой энергии в настоящее время предлагается применять перемещение, или слежение, солнечных батарей за Солнцем. Такое решение лучше использовать для небольших солнечных электростанций, так как на электростанциях большой мощности применяются солнечные панели больших размеров, которые целесообразно устанавливать неподвижно, чтобы избежать значительного усложнения механической части.

Слежение может осуществляться несколькими способами, самый простой из которых вращение солнечной панели только вокруг вертикальной оси, что обеспечивает простую конструкцию привода и механической части. При этом сама панель может располагаться под различными углами к плоскости горизонта.

Для оценки эффективности использования солнечного света определим значения относительной освещенности или отношения освещенности батареи при падении световых лучей под углом  $90^\circ$  и под произвольным углом для разных вариантов установки солнечных батарей. В качестве примера рассмотрим два варианта. Первый вариант – установка батарей вертикально, второй вариант – установка батарей под углом  $45^\circ$  к линии горизонта. Расчеты выполним для двух календарных дат: день летнего солнцестояния (22 июня) и день зимнего солнцестояния (22 декабря).

На первом шаге определяем угловую высоту Солнца в градусах над горизонтом в течение светового дня с интервалом в полчаса. Эту операцию производим с помощью компьютерной программы Stellarium. Введем обозначение для данного угла –  $\gamma$ . Известно, что освещенность в случае падения лучей наклонно на поверхность уменьшается пропорционально косинусу угла падения лучей или угла падения лучей света относительно нормали к поверхности [Гуревич 1983].

Рассматриваемые варианты установки солнечных батарей приведены на рисунке 1. Очевидно, что при вертикальной установке угол падения лучей света относительно нормали к поверхности будет равен высоте Солнца над горизонтом или углу  $\gamma$ . При установке под углом  $45^\circ$  этот угол определяется как  $45^\circ - \gamma$ .

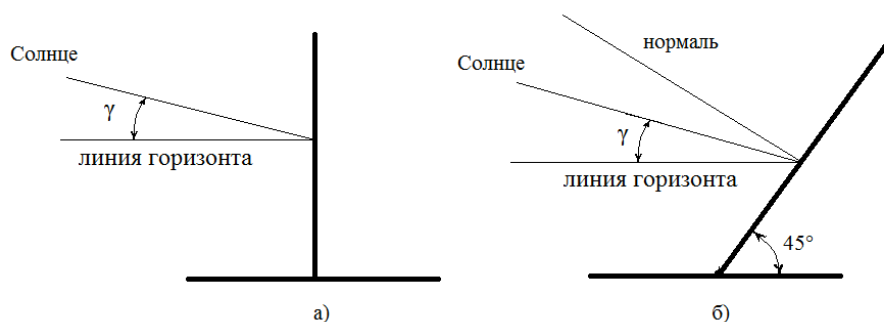


Рис. 1. Виды установки солнечных батарей: а) вертикально, б) под углом 45° к горизонту

Исходя из этого определяем значения относительной освещенности для этих вариантов и двух заданных выше календарных дат. Результаты приведены в двух таблицах.

Таблица 1

Значения относительной освещенности солнечных батарей в день летнего солнцестояния

| Время, час | Высота Солнца над горизонтом, град. | Относительная освещенность вертикально установленной панели | Относительная освещенность панели, установленной под углом 45 град. |
|------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 4-30       | 1,22                                | 1,000                                                       | 0,722                                                               |
| 5-00       | 4,95                                | 0,996                                                       | 0,766                                                               |
| 5-30       | 8,83                                | 0,988                                                       | 0,807                                                               |
| 6-00       | 13,15                               | 0,974                                                       | 0,850                                                               |
| 6-30       | 17,22                               | 0,955                                                       | 0,885                                                               |
| 7-00       | 21,97                               | 0,927                                                       | 0,920                                                               |
| 7-30       | 26,63                               | 0,894                                                       | 0,949                                                               |
| 8-00       | 31,55                               | 0,852                                                       | 0,973                                                               |
| 8-30       | 36,10                               | 0,808                                                       | 0,988                                                               |
| 9-00       | 40,22                               | 0,764                                                       | 0,997                                                               |
| 9-30       | 44,67                               | 0,711                                                       | 1,000                                                               |
| 10-00      | 49,12                               | 0,655                                                       | 0,997                                                               |
| 10-30      | 52,83                               | 0,605                                                       | 0,991                                                               |
| 11-00      | 56,50                               | 0,552                                                       | 0,980                                                               |
| 11-30      | 59,28                               | 0,511                                                       | 0,969                                                               |
| 12-00      | 61,30                               | 0,481                                                       | 0,960                                                               |
| 12-30      | 62,07                               | 0,469                                                       | 0,956                                                               |
| 13-00      | 61,53                               | 0,477                                                       | 0,959                                                               |
| 13-30      | 59,87                               | 0,502                                                       | 0,967                                                               |
| 14-00      | 57,48                               | 0,538                                                       | 0,976                                                               |
| 14-30      | 54,67                               | 0,579                                                       | 0,986                                                               |
| 15-00      | 51,07                               | 0,629                                                       | 0,994                                                               |
| 15-30      | 47,07                               | 0,681                                                       | 0,999                                                               |
| 16-00      | 42,77                               | 0,734                                                       | 0,999                                                               |
| 16-30      | 38,10                               | 0,787                                                       | 0,993                                                               |
| 17-00      | 33,62                               | 0,833                                                       | 0,980                                                               |
| 17-30      | 28,98                               | 0,875                                                       | 0,961                                                               |
| 18-00      | 24,30                               | 0,911                                                       | 0,936                                                               |
| 18-30      | 19,77                               | 0,941                                                       | 0,905                                                               |
| 19-00      | 15,33                               | 0,964                                                       | 0,869                                                               |
| 19-30      | 10,83                               | 0,982                                                       | 0,828                                                               |
| 20-00      | 6,83                                | 0,993                                                       | 0,786                                                               |
| 20-30      | 2,98                                | 0,999                                                       | 0,743                                                               |

Таблица 2

Значения относительной освещенности солнечных батарей в день зимнего солнцестояния

| Время, час | Высота Солнца над горизонтом, град. | Относительная освещенность вертикально установленной панели | Относительная освещенность панели, установленной под углом 45 град. |
|------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 9-00       | 2,12                                | 0,999                                                       | 0,733                                                               |
| 9-30       | 5,20                                | 0,996                                                       | 0,769                                                               |
| 10-00      | 8,07                                | 0,990                                                       | 0,800                                                               |
| 10-30      | 10,38                               | 0,984                                                       | 0,823                                                               |
| 11-00      | 12,50                               | 0,976                                                       | 0,844                                                               |
| 11-30      | 13,88                               | 0,971                                                       | 0,856                                                               |
| 12-00      | 14,90                               | 0,966                                                       | 0,865                                                               |
| 12-30      | 15,33                               | 0,964                                                       | 0,869                                                               |
| 13-00      | 15,12                               | 0,965                                                       | 0,867                                                               |
| 13-30      | 14,23                               | 0,969                                                       | 0,859                                                               |
| 14-00      | 12,97                               | 0,975                                                       | 0,848                                                               |
| 14-30      | 11,13                               | 0,981                                                       | 0,831                                                               |
| 15-00      | 8,73                                | 0,988                                                       | 0,806                                                               |
| 15-30      | 6,03                                | 0,994                                                       | 0,778                                                               |
| 16-00      | 2,83                                | 0,999                                                       | 0,741                                                               |

Для более наглядного представления полученные результаты приведены на графиках (рис. 2 и рис. 3).

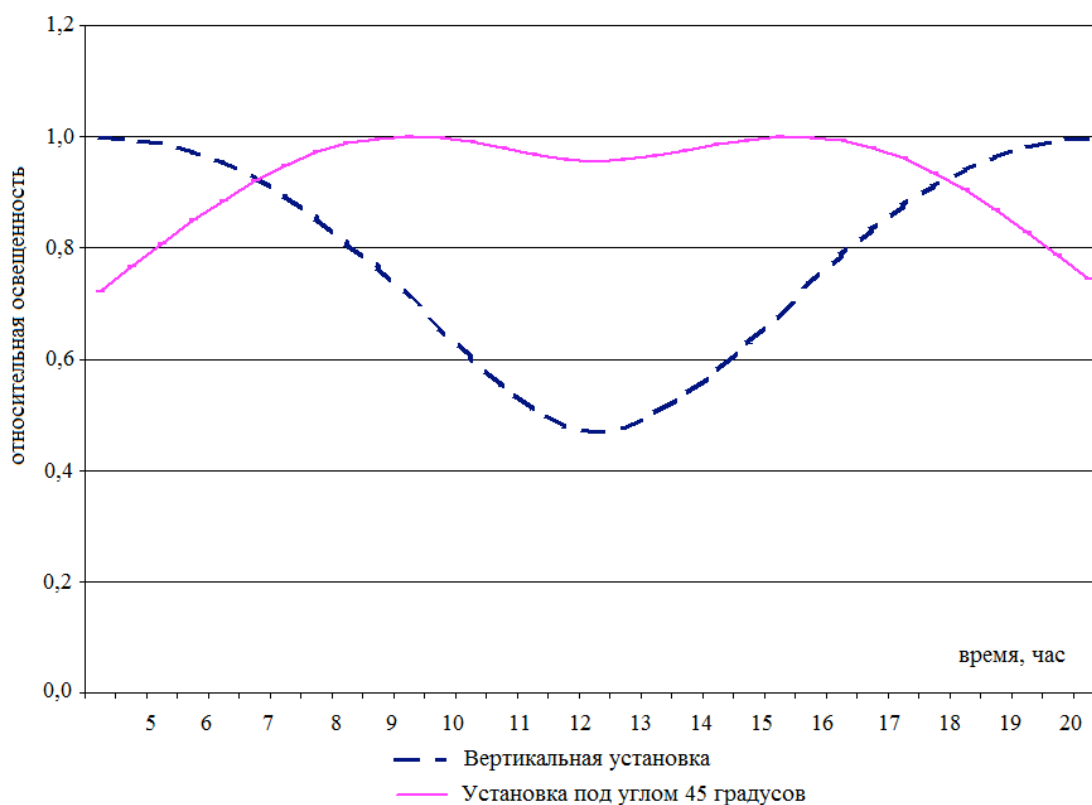


Рис. 2. Графики изменения относительной освещенности солнечных батарей для дня летнего солнцестояния

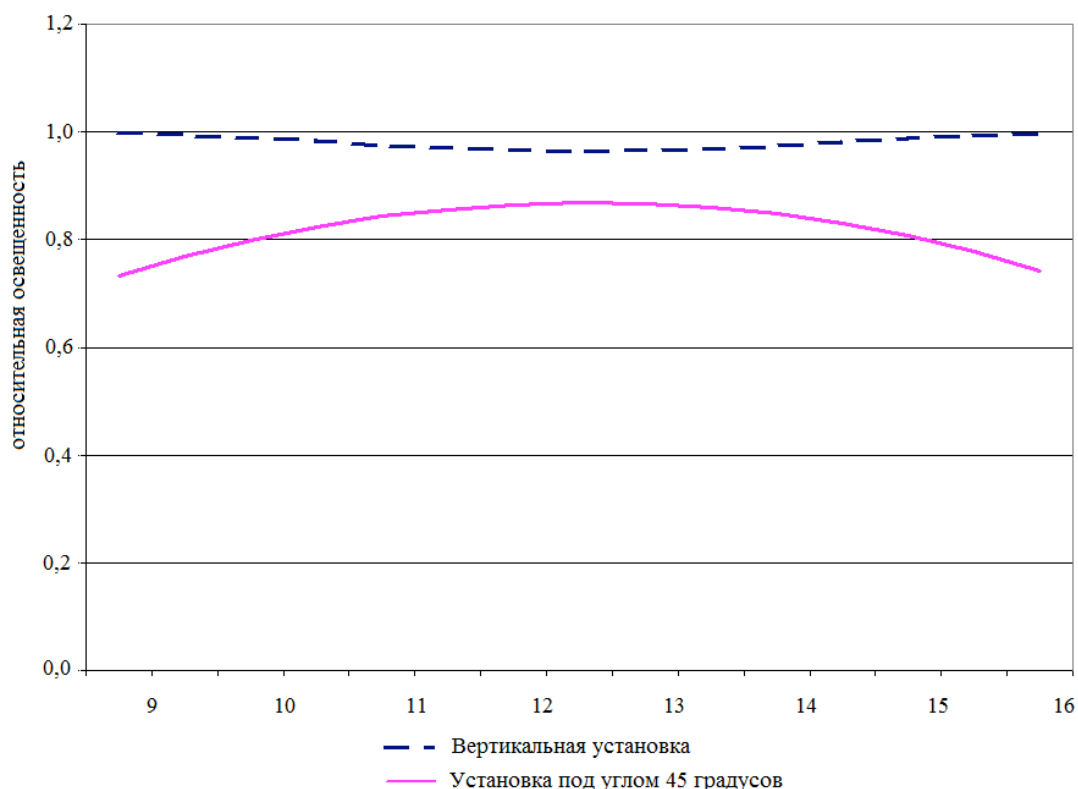


Рис. 3. Графики изменения относительной освещенности солнечных батарей для дня зимнего солнцестояния

Данные по относительной освещенности показывают, что в летнее время вертикальная установка панелей солнечных батарей является менее эффективной, чем установка под углом в  $45^\circ$ . Еще более эффективной будет установка под углом, равным широте места установки [stroimanual.com], для Курска это значение составляет  $52^\circ$  [Куликовский 2002].

Приведенные значения относительной освещенности показывают, что для наиболее полного использования солнечной энергии необходимо применять систему управления положением солнечных батарей. На сегодняшний день имеется много подобных конструкций, например солнечный трекер «ED-1500 Dual» – автоматическая поворотная конструкция для солнечных батарей, динамически ориентирующаяся относительно положения солнца, обеспечивая оптимальное положение солнечных модулей. Точное отслеживание Солнца достигается за счет систем с одной или двумя осями слежения [energy-ds.ru]. Ориентация трекера происходит в двух плоскостях: вверх–вниз: от  $-10$  до  $75$  градусов; влево–вправо: от  $-120$  до  $120$  градусов. Стоимость этого устройства – 272 000 руб.

Использование для ориентации на Солнце двух датчиков освещенности не может обеспечить нормальную работу системы управления в случаях хотя бы кратковременного закрытия Солнца облаками. В этой ситуации освещенность становится более равномерной, чем при отсутствии облачности, и управляющие сигналы на поворот панелей солнечных батарей могут не вырабатываться, в результате чего при появлении Солнца будет необходимо время для обеспечения поворота. Следует также отметить довольно высокую стоимость данного устройства.

Кроме этого, для поворота на восходящее Солнце потребуется также определенное время, если солнечная батарея осталась в направлении на точку захода Солнца в предыдущий день. Датчики освещенности будут направлены в

противоположную от Солнца сторону. Поэтому потребуется некоторое время, чтобы на них создалась неравномерность освещения, достаточная для работы системы управления и обеспечения поворота на восходящее Солнце.

Для устранения данных недостатков необходимо применение других принципов управления положением солнечной батареи. В автоматизированной солнечной электростанции, разработанной на кафедре электроснабжения ЮЗГУ, солнечная батарея автоматически изменяет свое положение таким образом, чтобы она была постоянно направлена на Солнце, вследствие чего угол падения солнечных лучей на поверхность панели будет в течение дня близок к  $90^\circ$ . Движение панели производится электроприводом по командам, поступающим из блока управления.

Для реализации подобного блока можно использовать микроконтроллер на базе Raspberry Pi. В отличие от существующих аналогов, использующих управляющие сигналы с датчиков освещенности, команды для работы электропривода этой солнечной электростанции формируются управляющей программой. Для работы программы необходимо предварительно задать координаты места установки солнечной электростанции. Данная операция может осуществляться в автоматическом режиме, если в состав оборудования входит модуль GPS, обеспечивающий определение координат места установки и текущего времени по принимаемым сигналам от спутников.

Программа определяет для каждого дня время восхода Солнца и место (азимут) точки восхода. Перед началом восхода программа обеспечивает выход солнечной электростанции из ночного, или «спящего», режима, и выдает команду на поворот панелей батареи на место восхода Солнца в текущий день. Данные расчеты производятся по формулам (см.: [Куликов 1976; Меёс 1988; Жаров 2006; Куликовский 2002]).

Затем программа производит определение горизонтальных координат Солнца (азимут, высота) с небольшим интервалом времени в течение всего светового дня, по полученным значениям осуществляется постоянное слежение за положением Солнца, даже находящегося в облаках [Там же]. После захода Солнца программа останавливает работу электропривода и переводит солнечную электростанцию в дежурный режим.

Предлагаемая автоматизированная солнечная электростанция позволяет максимально использовать солнечную энергию в течение светового дня. Это достигается программным способом управления положением солнечной батареи. Такой способ управления обеспечивает постоянную ориентацию на Солнце от момента восхода до момента захода независимо от наличия облачности и других возможных факторов, снижающих эффективность работы систем управления с датчиками освещенности.

### ***Библиографический список***

- Гуревич М. М. Фотометрия. Теория, методы и приборы. 2-е изд. Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1983. 272 с.
- Жаров В. Е. Сферическая астрономия. Фрязино, 2006. 480 с.
- Куликов К.А. Курс сферической астрономии, М.: Наука, 1976. 232 с.
- Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии / под ред. В. Г. Сурдина. Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. М.: Эдиториал УРСС, 2002 г.
- Меёс Ж. Астрономические формулы для калькуляторов, М.: Мир, 1988. 167 с.
- сайт <http://www.stellarium.org>
- сайт <http://stroymanual.com/perspektivyi-ispolzovaniya-solnechnyih-batarey/>
- сайт <http://energy-ds.ru/catalog/generating/solnecnye-trakery.html>