

### РАЗДЕЛ III. КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

- ля на основе явнополюсной синхронной машины /Г.И.Однокопылов, К.В.Образцов, - № 2010135857; заявлено 26.08.2010г.; опубл. 27.11.2011г. Бюл. №33.
8. Зайцев А.П. Общая электротехника и электроника. Учебное пособие. [Текст] —Томск: СТТ, 2003.— 342с. — С.177.
9. Общий курс электропривода: учебное пособие. [Текст]. / М.Г.Чиликин, А.С.Сандлер/ — 6-е изд., доп. и перераб. — М.: Энергоиздат, 1981. — 576 с. — С. 101.
10. Патент РФ на изобретение № 2410813, МПК H02H 7/09, H02P 27/02, Способ обеспечения живучести трёхфазного асинхронного электропривода/ Г.И.Однокопылов, И.Г.Однокопылов, К.В.Образцов - № 2009148840; заявлено 28.12.2009 г.; опубл. 27.01.2011г. Бюл. №3.
11. Решение о выдаче патента РФ на изобретение от 02.27.2012, Способ управления и обеспечения живучести трехфазного асинхронного двигателя вращательного и поступательного движения /Г.И.Однокопылов, Ю.Н.Дементьев, И.Г.Однокопылов, Й.Центнер – №2011113290; Заявл. от 06.04.2011.

*к. т. н, Однокопылов Г. И, докторант. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. д. т. Н. Букреев В. Г., профессор. Национальный исследовательский Томский политехнический университет.*

УДК 662.997.05(043)

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУГОВОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

А.В. Юрченко, Ф.В. Саврасов, А.В. Охорзина

В работе проанализирована работа кругового фотоэлектрического устройства, конструкция которого представляет собой восьмиугольную призму. Устройство обеспечивает максимальный сбор солнечного излучения, как прямого излучения, так и отраженного и рассеянного. Увеличение генерации энергии в солнечный день достигает 40%.

**Ключевые слова:** фотоэлектрическое устройство, слежение за Солнцем, эффективность, контроль

### Введение

Солнечная энергетика, наряду с другими природными источниками энергии (ветер, вода, тепло и др.), является перспективным заменителем топливной энергетике на ископаемых ресурсах. Количество солнечной энергии, приходящей на поверхность Земли, во много раз превышает мощность всех генерирующих объектов на Земле вместе взятых.

Однако применение электрогенерирующих объектов на основе фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии в настоящее время сдерживается по ряду причин:

- дороговизна производства солнечного кремния;
- относительно низкий КПД преобразователей (14-17)%;
- нестабильность параметров и др.

Общеизвестно, что производительность солнечного элемента существенно зависит от интенсивности потока солнечной радиации, падающей на его приёмную поверхность, воздействия рассеянного и отражённого света, материала элемента, температуры окружающей среды и ряда других факторов. [1]

Известно, что слежение солнечных батарей (СБ) за движением Солнца, обеспечивает увеличение выработанной электрической энергии по сравнению со стационарно (на юг) установленными солнечными батареями [2]. Научный и практический интерес представляет установление прироста энергии г. Томска при использовании кругового фотоэлектрического устройства, а, следовательно, и для всей местности, лежащей на данной географической широте.

В статье проанализирована работа кругового фотоэлектрического устройства. При этом другие воздействующие факторы считались неизменными.

Исследование проводилось в г. Томске в период с 21 апреля по 27 мая 2011 года. Контрольное время с 6.00 до 21.00.

Исследование проводилось путём сравнения суточной производительности неподвижного солнечного модуля, ориентированного на ЮГ под углом максимального солнцестояния в полдень на широте г. Томска, и солнечного модуля, приёмная поверхность которого в любой момент светового дня расположена перпендикулярно к световому по-

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУГОВОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

току (имитация двухкоординатное слежение за Солнцем).

Измерялись:

- Ток короткого замыкания,  $I_{кз}$ ;
- Напряжение холостого хода,  $U_{хх}$ ;
- Солнечная радиация  $P$ , Вт/м<sup>2</sup>.

Измерение интенсивности солнечной радиации проводилось с помощью пиранометра типа М-80, измерительная поверхность которого устанавливалась перпендикулярно солнечным лучам.

Электрические параметры солнечных модулей ( $U_{хх}$  и  $I_{кз}$ ) контролировались стандартным измерительным прибором – вольтамперметром типа М 2038

Мощность, производимая модулями в каждый промежуток времени определялась в соответствии с ГОСТ Р 51597-2000.[3]

Общее количество электроэнергии, выработанное модулями в течение светового дня, определялось геометрически как площадь фигуры, образованной кривой мощности и оси абсцисс (времени).

Для простоты эксперимента была спроектирована и построена опорная система в виде восьмиугольной призмы, в грани которой были вставлены солнечные модули.

В эксперименте использовались солнечные модули ФСМ-4-4 пиковой мощностью 4 Вт, напряжением 4 В, серийно выпускаемые ОАО НИИПП. [4]

Опорная система ориентирована по сторонам света, одной гранью на Юг (рисунок 1).

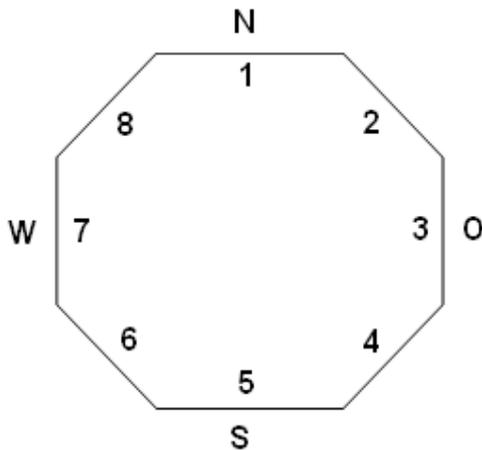


Рисунок 1 – Опорная система

Размещение и ориентация солнечных модулей в опорной системе относительно сторон света и положения солнца показано на рисунке 2, где ФСМ 1..8 – номера солнечных модулей.

Солнечные элементы каждой грани отклонялись от вертикали на угол, соответствующий высоте подъема солнца над горизонтом при прохождении через геометрический центр приемной поверхности этого элемента.

В качестве контрольного образца использован модуль ФСМ5 в грани 5 октаэдра, ориентированной на ЮГ. Угол наклона контрольного модуля 5 относительно горизонта - 56°, что соответствует высоте подъема солнца над горизонтом в полдень на широте г. Томска в период весна-лето.

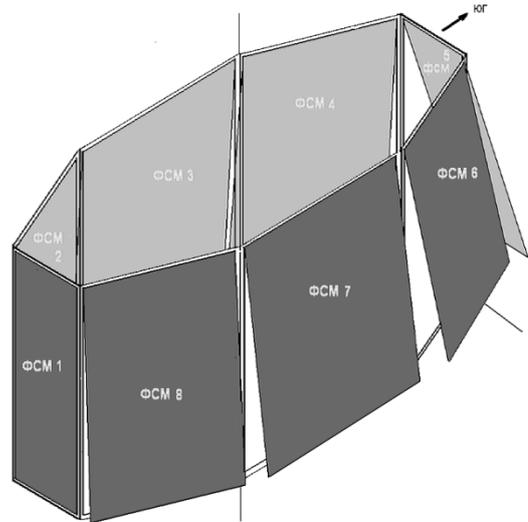


Рисунок 2 – Ориентация солнечных модулей в опорной системе

Данные измерений по каждому дню занесены в таблицы (таблица 1).

На основании полученных данных построена график (рисунок 3), где:

- общая производительность системы;
- ряды 1-8 - мощность модуля, следящего за перемещением солнца в течение суток, Вт
- ряд 5 - мощность контрольного модуля, ориентированного на Юг, Вт
- ряд  $S_{max}$  - результирующая кривая максимальной мощности следящего модуля в течение суток, Вт
- "солнце" - интенсивность солнечного излучения в день измерения, Вт\*10<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>

На рисунке 3 показаны изменения производительности модулей при облучении их солнечными лучами и суммарная производительность модуля, следящего за солнцем.

В 5 часов утра модуль в грани 2, ориентированный в направлении на северо-восток, с отклонением от вертикали на угол подъема Солнца над горизонтом в это время вырабатывает максимум электроэнергии, пропорци-

### РАЗДЕЛ III. КОМПОНЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

ональной интенсивности солнечной радиации в этот час.

Значение максимальной мощности модуля 2 занесено в таблицы и отмечено в графиках.

Аналогично определяем максимумы мощности всех других модулей, включая и 5, при прохождении Солнца через их геометрические центры, ориентированные на Солнце по горизонтали и вертикали.

Таблица 1 – Данные измерений

21.04.2011г

Всх. 6.11

Зкт 20.47

Долгота дня 14.36

Угол слежения-218°

Таблица 1

Время сут, ч	Пиковая мощность, Вт								S <sub>макс</sub> , Вт	Солнце Вт*10 <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>
	1	2	3	4	5	6	7	8		
8	1,46	2,61	2,4	1,6	0,43	0,22	0,23	0,26	0,61	3,6
9	1,2	2,43	3	2,1	0,7	0,24	0,24	0,28	3	4,8
10	0,71	2,2	3,1	2,9	1,4	0,35	0,31	0,23	3,1	5,8
11	0,46	1,5	2,4	3,2	2,4	1,1	0,39	0,3	3,2	6,7
12	0,4	0,5	1,48	2,8	3,22	2,1	0,68	0,4	3,22	7,25
13	0,29	0,31	0,56	1,6	3,3	2,8	1,32	0,6	3,3	7,4
14	0,27	0,26	0,29	0,73	3,2	3,15	2,16	1,1	3,2	7,3
15	0,23	0,24	0,24	0,33	2,4	2,98	2,8	2	3,1	6,6
16	0,22	0,21	0,21	0,29	1,6	2,4	3,05	2,25	3,05	5,5
17	0,2	0,21	0,21	0,25	0,9	1,6	2,8	2,3	2,8	4,6
18	0,2	0,2	0,21	0,22	0,45	1,1	2,6	2	2,6	4
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		

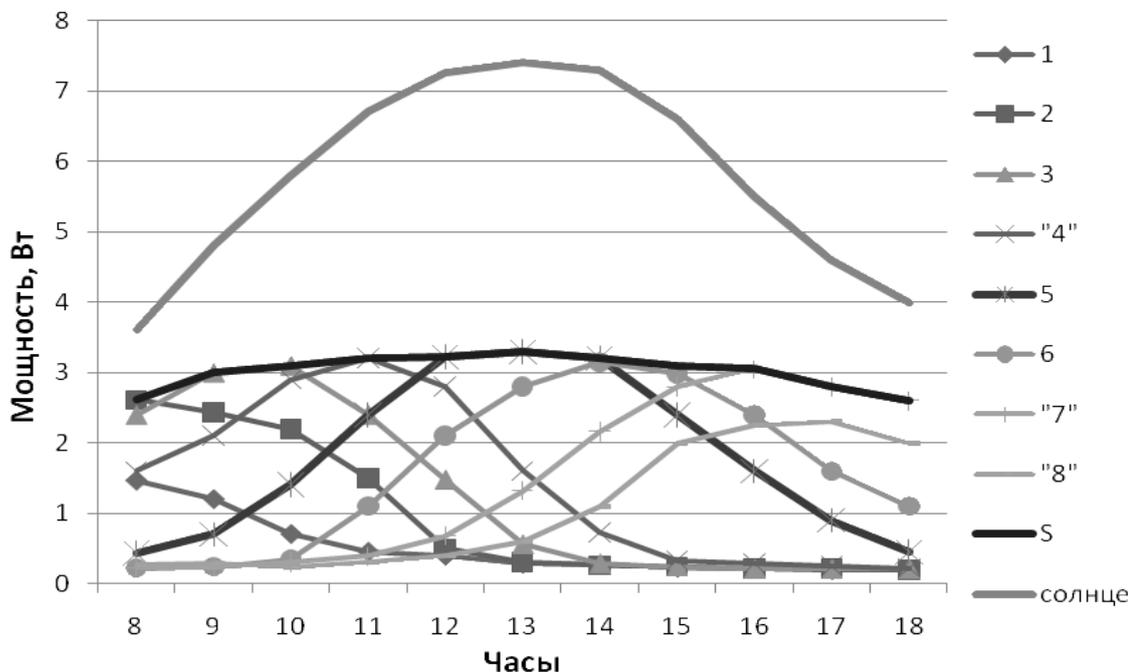


Рисунок 3 – Производительности модулей при облучении их солнечными лучами и суммарная производительность кругового фотозлектрического устройства

Для контрольного модуля 5 построен график изменения вырабатываемой им мощности в течение всего светового дня.

Следует отметить, что выработка электроэнергии модулями происходит и в утреннее и в вечернее время при отсутствии прямой солнечной радиации.

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУГОВОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

мых солнечных лучей за счёт отражённого и рассеянного света. Поэтому нулевых значений построенных графиков не обнаружено.

Из графика (рисунок 3) определили суммарную энергию, выработанную контрольным модулем 5, и энергию, выработанную аналогичным модулем в положениях 1-8 в процессе слежения за солнцем в течение светового дня.

Электроэнергия, выработанная контрольным образцом 5, определялась как площадь фигуры, образованной кривой изменения мощности этого модуля в течение светового дня и осью абсцисс (часы).

Энергия, выработанная следящим за солнцем модулем, определяется как площадь фигуры, образованной кривой  $S_{max}$  и осью абсцисс.

Сравнением измеренной мощности с мощностью контрольного модуля, оценивали выигрыш в эффективности СБ при слежении за Солнцем.

В проведённых измерениях выигрыш составил от 10% , когда солнце закрыто тучами, до 40% при ясном солнечном свете.

Анализ полученных результатов показывает, что использование круговой конструкции, имитирующей слежение за Солнцем, в течение светового дня при наличии прямых солнечных лучей увеличивает производительность солнечного модуля по сравнению с неподвижно ориентированным модулем, не менее чем на 40%, что существенно выше, чем при использовании активной двухкоординатной системы слежения.

Заметим, что боковые солнечные модули начинают вырабатывать электроэнергию ещё до появления солнца над горизонтом и продолжает вырабатывать через некоторое время после захода солнца, т.к. преобразует отражённый и рассеянный свет утреннего и вечернего времени.

Контрольный модуль реагирует на изменение общей освещённости гораздо медленнее и начинает эффективно работать, когда солнце находится над плоскостью модуля, что видно на приведённом графике.

Для широты г. Томска, как видно из полученных данных, прирост электроэнергии в солнечные дни является весьма существенным.

### Выводы

При наличии прямых солнечных лучей в летнее время производительность следящего за

солнцем солнечного модуля существенно повышается и может превышать производительность стандартно ориентированного модуля не менее, чем на 40%, что делает применение слежения за солнцем экономически целесообразным.

- Слежение за Солнцем летом может осуществляться в пределах  $\pm 135^\circ$  от направления на Юг, по крайней мере, для географической широты для г. Томска, что даёт существенную прибавку производительности за счёт раннего захвата солнца и позднего прекращения слежения вечером.
- В пасмурную погоду, когда прямых солнечных лучей нет, а на солнечные модули воздействует только рассеянный свет, различий в производительности следящего и стандартно ориентированного модуля практически нет, т.к. рассеянный свет определённой направленности не имеет.
- На широте г. Томска в ясные солнечные дни наблюдается существенное повышение производительности солнечных батарей и электростанций на их основе при применении кругового фотоэлектрического устройства. Это существенно расширит границы применения солнечных батарей и электростанций в условиях Сибири и увеличит их коммерческую привлекательность.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.В. Лукутин. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. Монография [Текст] /Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова, Е.Б. Шандарова/ - М. Энергоатомиздат. 2008, стр. 31-32.
2. Кадастр возможностей. [Текст] /Под. ред. Б.В. Лукутина/ - Томск – 2002. стр. 71.
3. ГОСТ Р 51597-2000 МОДУЛИ СОЛНЕЧНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ. Типы и основные параметры
4. Продукция ОАО «НИИПП», солнечные модули, батареи и станции. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.niipp.ru/Russian/products/sun\\_sell.html](http://www.niipp.ru/Russian/products/sun_sell.html)

*магистрант А.В. Охорзина – [ateba\\_89@mail.ru](mailto:ateba_89@mail.ru); Ф.В. Саврасов – старший преподаватель кафедры информатики и проектирования систем; д.т.н., проф А.В. Юрченко – каф. Информационно-измерительной техники Национального исследовательского Томского политехнического университета, тел.(3822)-41-89-11, [niipp@inbox.ru](mailto:niipp@inbox.ru)*