

# Альтернативные источники энергии

УДК 621.311.25

DOI: 10.14529/power210209

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕВОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ PVsyst

**С.В. Митрофанов, Д.К. Байкашенов**

*Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия*

В статье представлена классификация систем слежения за Солнцем фотоэлектрических станций (ФЭС), их принцип действия. Разработана расчетная модель сетевой ФЭС мощностью 5 кВт в программном обеспечении PVsyst: выбрано оборудование ФЭС, обоснован выбор оптимальных углов наклона фотоэлектрических модулей (ФМ). Проведен анализ работы сетевой ФЭС в условиях Оренбургской области средствами PVsyst при эксплуатации статично расположенных ФМ без изменения угла наклона ФМ и сезонным изменением угла наклона ФМ, одноосевых солнечных трекеров с вертикальной и горизонтальной осями вращения, а также двухосевого солнечного трекера. Анализ выполнен на основе данных по солнечной инсоляции за 2019 год, полученных с собственной метеостанции НР-2000. Выявлено, что наибольшая генерация электроэнергии в течение года обеспечивается ФЭС с двухосевым солнечным трекером, а также ФЭС с одноосевым солнечным трекером и вертикальной осью вращения (прирост генерации электроэнергии за год составил 13,2 и 11,5 % соответственно) относительно варианта со статично расположенными ФМ (без изменения угла наклона ФМ в течение года).

*Ключевые слова:* солнечные трекеры, ВИЭ Оренбургской области, солнечные станции в Оренбургской области, системы слежения за Солнцем, выбор оборудования СЭС.

### Введение

Постановление Правительства Российской Федерации № 299 от 02.03.2021 г. «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации» приведет к развитию частного сектора альтернативной энергетики – физические и юридические лица с электроустановками на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) мощностью до 15 кВт будут рассчитываться с энергосбытовой компанией на условиях взаимозачета, непотребленная энергия может быть продана энергосбытовой компании по оптовому тарифу, что снизит срок окупаемости оборудования установок на базе ВИЭ (необходима установка двунаправленного счетчика). Таким образом, в РФ возникнет больший интерес к объектам микрогенерации, следовательно, и к методике выбора оборудования, а также к способам повышения эффективности работы объектов микрогенерации. Зарубежный опыт показал, что наиболее предпочтительным объектом микрогенерации являются фотоэлектрические станции (ФЭС) [1].

Цель работы заключается в проведении анализа прироста электроэнергии, сгенерированной сетевой ФЭС при различных вариантах ориентации ФМ относительно статично расположенных ФМ с неизменным углом наклона.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) рассмотрение классификации систем слежения за Солнцем и алгоритмов их работы;
- 2) разработка расчетной модели сетевой ФЭС в PVsyst;
- 3) Проведение анализа данных.

### 1. Классификация систем слежения за Солнцем

Статично расположенные ФМ недополучают солнечную энергию в первой половине дня и после полудня, поскольку ориентированы строго на юг. Оптимальные условия для генерации электроэнергии приходятся именно на полуденное время, когда поток солнечной энергии перпендикулярно поступает на приемную поверхность ФМ.

Системы слежения за Солнцем или солнечные трекеры (рис. 1) представляют собой совокупность устройств, обеспечивающих наведение ФМ на Солнце с целью повышения энергетической эффективности ФЭС. При использовании данных систем солнечное излучение будет равномерно поступать на приемную поверхность ФМ в течение суток. В ясный день одноосевой трекер может обеспечить прирост генерации до 22 % [2–4], в то время как двухосевой – до 50 % [4–10].

Расширенная классификация систем слежения за Солнцем представлена в [11].

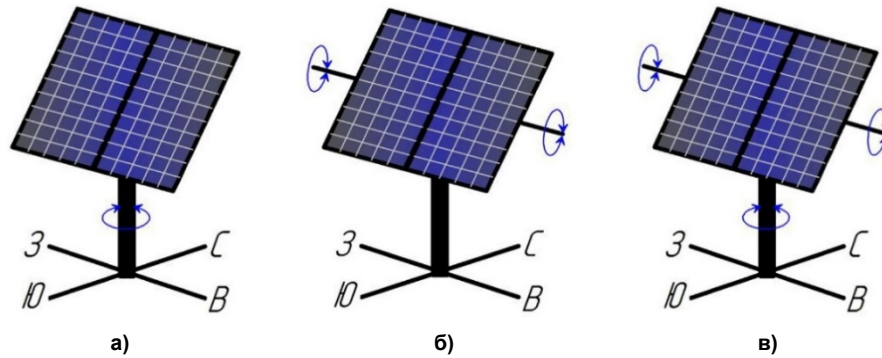


Рис. 1. Основные типы систем слежения за Солнцем фотоэлектрической станции: а – одноосевой трекер с вертикальной осью вращения; б – одноосевой трекер с горизонтальной осью вращения; в – двухосевой трекер

## 2. Алгоритмы работы систем слежения за Солнцем

Система управления солнечного трекера может быть выполнена либо на основе фоторезисторов [12, 13], либо с помощью математических расчетов и применения GPS-модуля [14, 15].

Система управления, реализованная на фоторезисторах, является простой, менее затратной и как следствие – наиболее распространенной. В состав системы управления входят: микроконтроллер (МК), фоторезисторы (два для одноосевого  $R_B$  и  $R_3$ , четыре для двухосевого трекеров), при-

вод, плата управления приводом, часы реального времени. Рис. 2 отражает логику работы системы управления одноосевого солнечного трекера. Через определенный период времени МК анализирует величину сопротивлений двух фоторезисторов ( $R_B$ ,  $R_3$ ) и подает команду на поворот платформы ФМ для компенсации полученной разности значений. При значениях сопротивлений фоторезисторов, отличающихся не более чем на 5 %, поворот ФМ не требуется. После 21:30 независимо от времени года МК подает команду на поворот ФМ на восток (в исходное состояние). Таким образом,

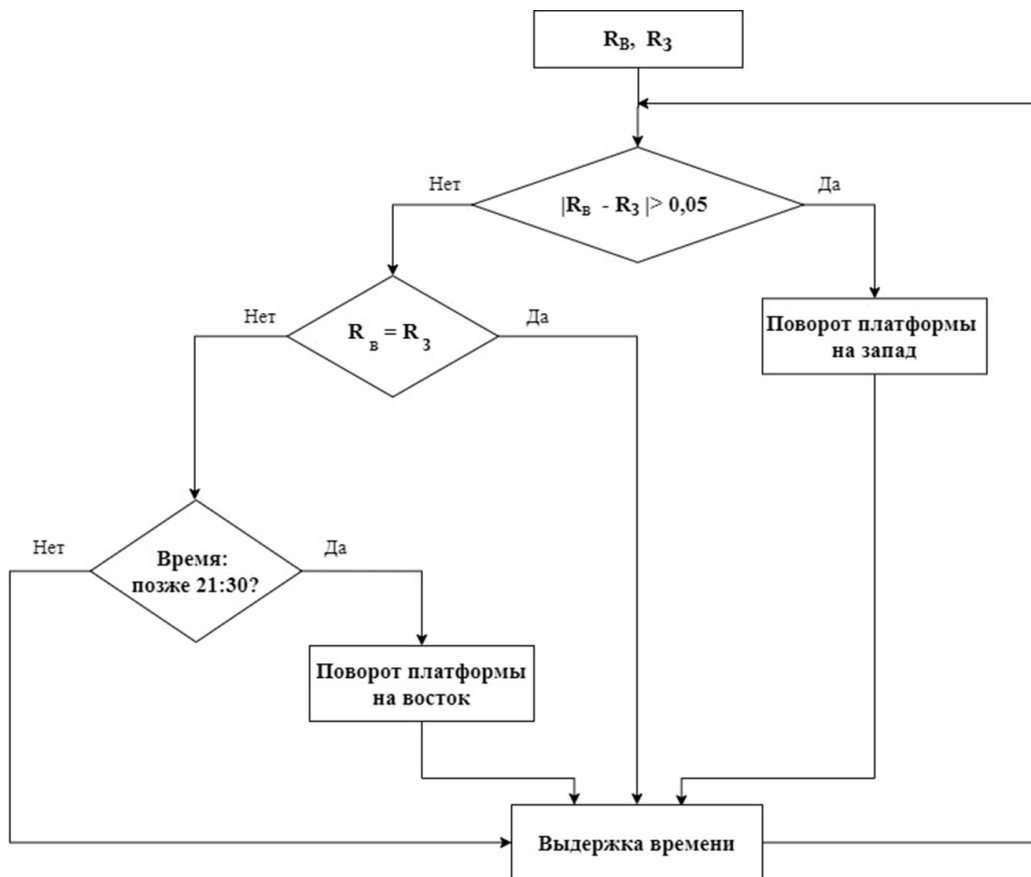


Рис. 2. Алгоритм работы системы слежения за Солнцем, реализованной на фоторезисторах

ФЭС заранее подготовлена к приему солнечной энергии, которая поступит утром на следующие сутки.

Кроме вышеперечисленных достоинств данная система имеет серьезный недостаток, выявленный в процессе эксплуатации ФЭС ОГУ [16]. Корпус устройства, в котором установлены фоторезисторы, размещен на ФМ трекера, в течение года он покрывается пылью и снегом, что приводит к некорректной работе следящей системы в целом. В связи с этим необходимо проводить регулярные обследования и техническое обслуживание устройства. Таким образом, для повышения энергетической эффективности ФЭС рекомендуется исследовать различные системы управления трекерами, которые будут рассмотрены ниже.

Система управления, функционирующая по математическим расчетам, отличается от первой системы повышенной точностью наведения ФМ на Солнце и большей надежностью. Компонентами системы управления являются МК, GPS-модуль, акселерометр, привод и плата управления приводом. Алгоритм работы системы управления представлен на рис. 3. GPS-модуль определяет координаты ФЭС, текущие дату и время, что позволит МК рассчитать высоту и азимут Солнца. Акселерометр определяет положение приемной поверхности ФМ в пространстве. Далее МК рассчитывает разность углов положения Солнца и угла, определяемого акселерометром. Исходя из вычисленных значений, МК подает команду на поворот ФМ в определенном направлении.

### 3. Разработка расчетной модели ФЭС

Необходимо оценить прирост генерации ФЭС при различной ориентации фотоэлектрических модулей:

- вариант № 1: статично расположенные ФМ с неизменным углом наклона в течение года;
- вариант № 2: статично расположенные ФМ с сезонным изменением угла наклона;
- вариант № 3: ФМ с вертикальной осью вращения (одноосевой трекер);
- вариант № 4: ФМ с горизонтальной осью вращения (одноосевой трекер);
- вариант № 5: ФМ с двухосевой системой слежения за Солнцем.

В качестве инструмента для проведения анализа будет использовано программное обеспечение для проектирования фотоэлектрических систем PVsyst [17]. Основные функциональные возможности программы:

- выбор необходимого оборудования ФЭС (в зависимости от требуемой мощности, площади устанавливаемых ФЭМ, времени автономной работы);
- гибкие настройки ввода потребительских нагрузок (на выбор можно внести следующие данные: неизменная нагрузка в течение года, сезонная, средняя за месяц, почасовая ежедневная отличная по дням, почасовая только в будни);
- определение величины потерь электроэнергии;
- технико-экономические расчеты;
- встроенная база метеоданных за 1991–2010 гг., а также поддержка импорта метеоданных.

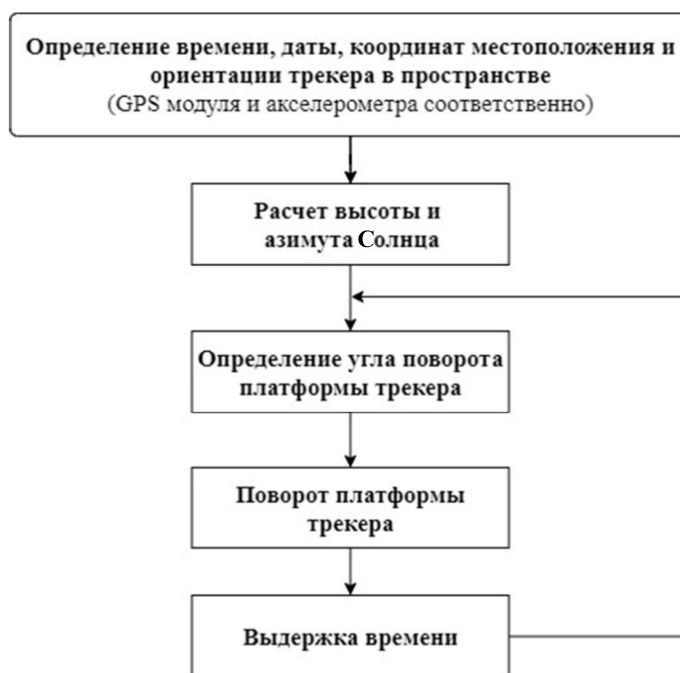


Рис. 3. Алгоритм работы системы слежения за Солнцем, функционирующей по математическим расчетам

### 3.1. Выбор места установки ФЭС, угла наклона ФМ

Местом установки моделируемой ФЭС является крыша здания электроэнергетического факультета Оренбургского государственного университета (ЭЭФ ОГУ).

Согласно [18], при выборе оптимального угла наклона ФМ  $\beta$  необходимо руководствоваться следующими выражениями:

$$\beta_{y,w} = \varphi + 15; \quad (1)$$

$$\beta_s = \varphi - 15, \quad (2)$$

где  $\beta_{y,w}$  – угол наклона ФМ для ФЭС с неизменным углом наклона в течение года, а также угол наклона ФМ для периода октябрь – март, град.;  $\beta_s$  – угол наклона ФМ для периода апрель – сентябрь, град.;  $\varphi$  – широта местности, град.

Широта местности г. Оренбурга составляет  $51,8^\circ$ , следовательно, оптимальные углы наклона ФМ:

– для варианта № 1:  $\beta = 66^\circ$ ;

– для варианта № 2:  $\beta = 66^\circ$  (октябрь – март),  $\beta = 36^\circ$  (апрель – сентябрь);

– для варианта № 3  $\beta = 66^\circ$ ;

– для вариантов № 4, 5 – оптимальный угол наклона ФМ, определяемый автоматически системой управления.

Поскольку встроенные базы метеоданных в PVsyst позволяют использовать только метеоданные 1995–2010 гг., осуществлен импорт данных 2019 г. с метеостанции НР-2000 ЭЭФ ОГУ [19], которая установлена на действующей ФЭС с двухосевой системой слежения за Солнцем [16].

### 3.2. Выбор оборудования ФЭС

Нагрузкой ФЭС являются электроприемники одной из аудиторий (компьютеры для проведения лабораторных работ и освещение аудитории) суммарной мощностью 3680 Вт. Работа в аудитории будет проводиться круглый год по будням с 10:00 до 15:00.

Принято, что ФЭС является сетевой:

– станция осуществляет электроснабжение аудитории в дневное время;

– при отсутствии потребителей электроэнергии (на временных интервалах от восхода Солнца до 10:00 и с 15:00 до захода Солнца) сгенерированная непотребленная энергия передается во внешнюю сеть;

– в случае если возникает необходимость электроснабжения потребителей в ночное время или при недостатке вырабатываемой электроэнергии (например, в пасмурную погоду), система управления автоматически переключает питание потребителей на внешнюю сеть;

– в системе отсутствуют накопители электроэнергии.

Таким образом, в рассматриваемом примере ФЭС не обеспечит полную автономность системы

и предназначена прежде всего для снижения затрат на оплату электроэнергии. Выбор данного типа ФЭС позволит также уменьшить срок окупаемости станции за счет продажи непотребленной электроэнергии в сеть по оптовому тарифу.

Мощность ФЭС рассчитана по методике [20] и принята равной 5 кВт. Фотоэлектрическая система включает в себя 20 монокристаллических ФМ номинальной мощностью 250 Вт (четыре параллельные цепи ФМ, по пять последовательно соединенных ФМ в каждой). Суммарная площадь установленных ФМ составляет  $33 \text{ м}^2$ .

Потребители электроэнергии на стороне 220 В будут получать питание через однофазный инвертор SolarWorld SPI 4500 MV ( $P_{\text{ном AC}} = 4,5 \text{ кВт}$ , 50 Гц).

Следует отметить, что электрооборудование ФЭС для пяти вариантов будет идентичным, за исключением привода: в вариантах № 1, 2 он отсутствует, в варианте № 3 – опорно-поворотное устройство (ОПУ) с червячным редуктором, № 4 – линейный актуатор; в варианте № 5 – ОПУ с червячным редуктором и линейный актуатор.

## 4. Проведение анализа данных

На рис. 4 представлен график зависимости солнечной инсоляции с разбивкой по месяцам  $E = f(t)$ , сформированный на основе данных действующей метеостанции ЭЭФ ОГУ за 2019 год. Величина годовой солнечной инсоляции в месте установки ФЭС составила  $E = 805,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ .

На рис. 5 представлена графическая зависимость объема электрической энергии, сгенерированной ФМ на нужды потребителей электроэнергии  $W = f(t)$ . Данный график коррелирует с графической зависимостью  $E = f(t)$  (см. рис. 4): наибольший объем электроэнергии ФЭС был сгенерирован за период май – июль, наименьший – в январе, ноябре и декабре, что соответствует месяцам с наибольшей и наименьшей величиной солнечной инсоляции соответственно.

Данные в таблице сформированы на основе результатов расчета в PVsyst. Информация, представленная в таблице, позволит оценить увеличение выработки электроэнергии при вариантах ориентации ФМ № 2–5 по сравнению со статично расположенными ФМ, которые имеют неизменный угол наклона  $\beta = 66^\circ$ .

На протяжении 2019 года наибольший прирост выработки электроэнергии относительно статично расположенных ФМ обеспечила система с двухосевым солнечным трекером (вариант № 5) – 13,2 %, наибольшая эффективность трекера была зафиксирована в июне, что привело к увеличению месячной генерации на 20,3 %. Однако в ноябре ФЭС с двухосевым трекером сгенерировала электроэнергии меньше, чем ФЭС со статично расположенными ФМ. Последнее связано с тем, что ноябрь (см. рис. 4) – месяц с самым низким уровнем

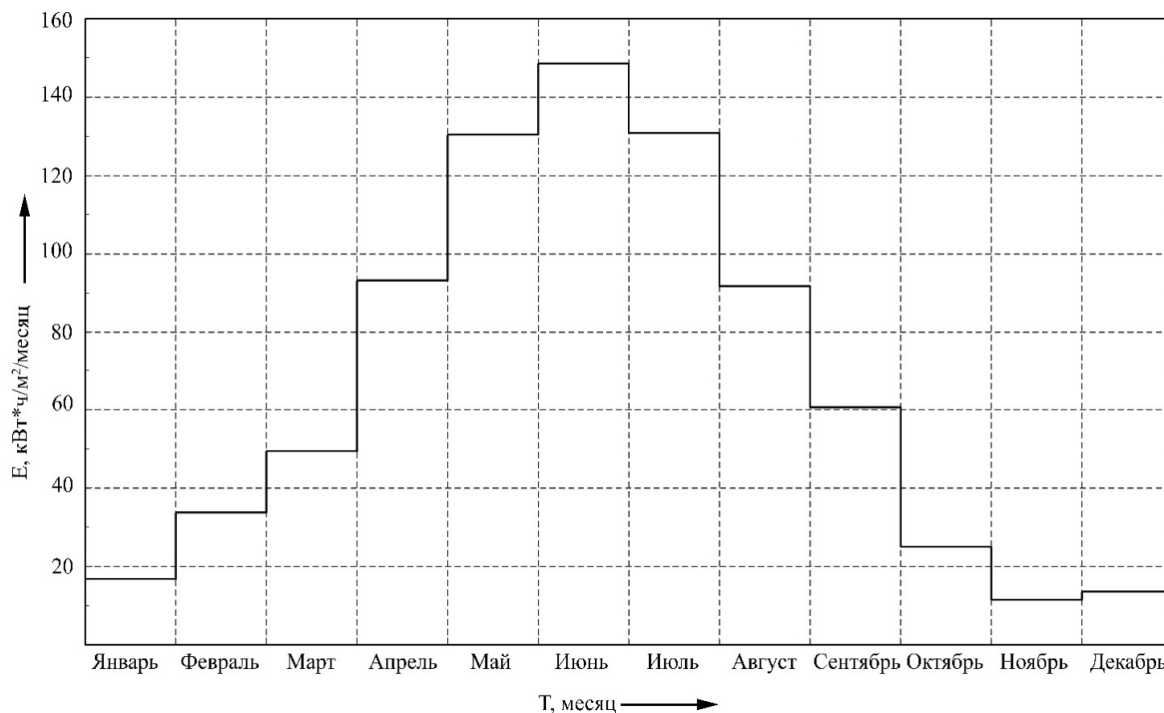


Рис. 4. График зависимости солнечной инсоляции с разбивкой по месяцам 2019 года для г. Оренбурга

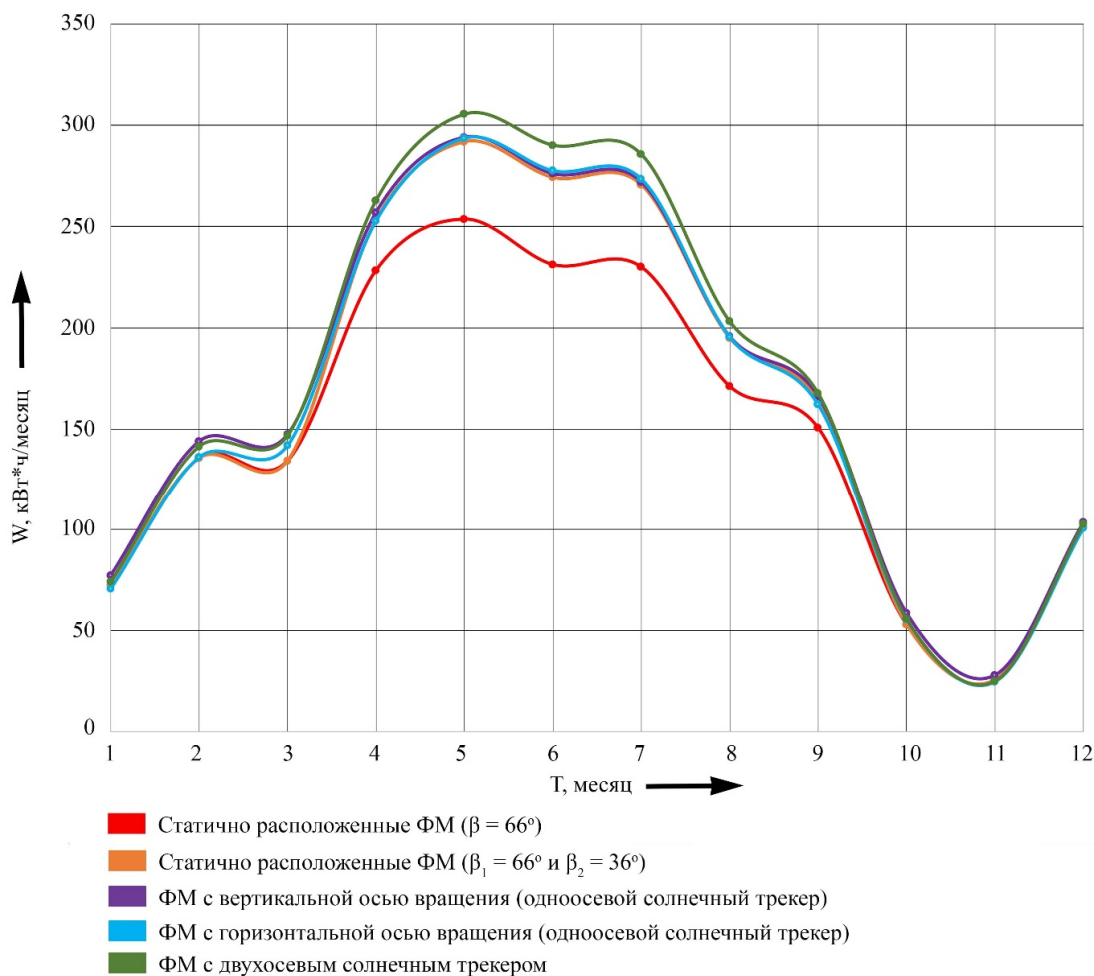


Рис. 5. Объем поставки электроэнергии потребителям от ФЭС

# Альтернативные источники энергии

Прирост генерации электроэнергии ФЭС относительно варианта № 1

Вариант ориентации ФМ	Прирост генерации электроэнергии, %												
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Итого
№ 2: Статично расположенные ( $\beta_1 = 66^\circ$ , $\beta_2 = 36^\circ$ )	0,0	0,0	0,0	9,9	13,1	15,7	15,0	12,3	8,2	0,0	0,0	0,0	9,3
№ 3: 1-осевой трекер (вертик. ось)	6,2	5,8	8,8	11,1	13,7	16,2	15,4	12,6	9,4	9,5	8,2	1,9	11,5
№ 4: 1-осевой трекер (горизонт. ось)	-2,7	0,3	5,3	9,6	13,6	16,7	15,9	12,4	7,1	4,2	-4,0	-1,0	9,9
№ 5: 2-осевой трекер	2,2	4,0	8,4	13,1	17,0	20,3	19,5	15,7	10,1	4,8	-2,8	1,1	13,2

инсоляции в году, и как результат, ФЭС в этом месяце выработала минимальный объем электроэнергии, к тому же часть сгенерированной электроэнергии была затрачена на питание приводов, поворачивающих ФМ.

Согласно таблице, применение ФЭС с одноосевой системой слежения и горизонтальной осью вращения (вариант № 4) по эффективности сопоставимо с вариантом расположения статично расположенных ФМ с сезонным изменением угла (вариант № 2). Однако с точки зрения капиталовложений и последующего техни-

ческого обслуживания предпочтительнее вариант № 2.

## Заключение

Анализ данных в PVsyst позволил выявить, что в Оренбуржье наиболее предпочтительно применение ФЭС с двухосевым трекером, а также ФЭС с одноосевой следящей системой и вертикальной осью вращения, которые позволяют повысить генерацию электроэнергии в среднем на 13,2 и 11,5 % соответственно в год относительно ФЭС со статично расположенными ФМ.

## Литература

1. *Solar Energy vs. Wind Energy: Which is Right for You?* – <https://news.energysage.com/solar-vs-wind-energy-right-home/> (дата обращения: 20.03.2021).
2. McWilliams, S. *PV Single Axis Tracker Array Tests in the Northeast US with CIGS* / S. McWilliams, R. Sundaramoorthy, D. Metacarpa, P. Halder // 2016 IEEE 43rd Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). – 2016. – P. 3328–3330. DOI: 10.1109/PVSC.2016.7750282
3. *Analysis of Single Axis Sun Tracker System to Increase Solar Photovoltaic Energy Production in the Tropics* / I.H. Rosma, I.M. Putra, D.Y. Sukma et al. // 2018 2nd International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICon EEI). – 2018. – P. 183–186. DOI: 10.1109/ICon-EEI.2018.8784311
4. Юрченко, А.В. Система слежения за Солнцем для солнечной энергоустановки / А.В. Юрченко, М.В. Китаева, А.В. Охорзина // Ресурсоэффективные технологии для будущих поколений. – 2010. – С. 210–221.
5. Saranya Nair, M. *Solar Tracker Assisted Automatic Irrigation System for Agricultural Fields* / M. Saranya Nair, K. Bhatia // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). – 2017. – Vol. 8, no. 10. – P. 279–287.
6. Ахметиин, А.Т. Повышение эффективности автономных солнечных фотоэлектрических установок для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Т. Ахметиин. – СПб., 2016. – 19 с.
7. Suria, A.K. *Dual-Axis Solar Tracker Based on Predictive Control Algorithms* / A.K. Suria, R.M. Idris // 2015 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON). – 2015. – P. 238–243. DOI: 10.1109/CENCON.2015.7409546
8. Rosma, I.H. *The Implementation and Analysis of Dual Axis Sun Tracker System to Increase Energy Gain of Solar Photovoltaic* / I.H. Rosma, J. Asmawi, S. Darmawan et al. // 2018 2nd International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICon EEI). – 2018. – P. 187–190. DOI: 10.1109/ICon-EEI.2018.8784321
9. Bin Mostafa, M.T. *Design and Performance Analysis of a Dual Axis Solar Tracker* / M.T. Bin Mostafa, S.M.T.A. Choudhury, S. Hosain // 2019 IEEE 1st International Conference on Energy, Systems and Information Processing (ICESIP). – 2019. – P. 1–4. DOI: 10.1109/ICESIP46348.2019.8938338

10. Allamehzadeh, H. *Solar Energy Overview and Maximizing Power Output of a Solar Array Using Sun Trackers* / H. Allamehzadeh // 2016 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech). – 2016. – P. 14–19. DOI: 10.1109/SusTech.2016.7897136
11. ГОСТ Р 57229–2016 (МЭК 62817:2014). Системы фотоэлектрические. Устройства слежения за Солнцем. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2017. – 67 с.
12. *Three Dimensional Solar Tracker with Unique Sensor Arrangement* / P. Arlikar, A. Bhowmik, M. Patil, A. Deshpande // 2015 International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM). – 2015. – P. 509–513. DOI: 10.1109/ICSTM.2015.7225470
13. *Design and Analysis of Automated Dual Axis Solar Tracker Based on Light Sensors* / A. Sawant, D. Bondre, A. Joshi et al. // 2018 2nd International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC). – 2018. – P. 454–459. DOI: 10.1109/I-SMAC.2018.8653779
14. *Design of a GPS-based Solar Tracker System for a Vertical Solar Still* / D. Artanto, A. Prasetyadi, D. Purwadianta, R. Sambada // 2016 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS). – 2016. – P. 140–143. DOI: 10.1109/ICSGTEIS.2016.7885780
15. *Dual Axis Solar Sun Tracking System Based on GPS Satellite Receiver and Embedded System* / M. Altayeb, S. Abdalla, A.H. Mustafa // 2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE). – 2018. – P. 1–4. DOI: 10.1109/ICCCEEE.2018.8515891
16. Митрофанов, С.В. Первичная апробация автоматизированного двухкоординатного солнечного трекера в климатических условиях Оренбургской области как перспектива создания программно-аппаратного комплекса / С.В. Митрофанов, А.Ю. Немальцев, Д.К. Байкасенов // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAE)*. – 2018. – № 7–9. – С. 43–54. DOI: 10.15518/isjaee.2018.07-09.043-054
17. PVsyst. – <https://www.pvsyst.com/download-pvsyst/> (дата обращения: 20.03.2021).
18. *Солнечные фотоэлектрические станции* / Р.А. Амерханов, О.В. Григораиш, И.Б. Самородов и др. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2017. – 206 с.
19. *Weather Station*. – <http://www.misolie.net/misoloutdoor-sensor-spare-part-for-weather-station-wireless-433mhz-p-588.html> (дата обращения: 27.03.2021).
20. *Franklin, E.A. Calculations for a Grid-Connected Solar Energy System* / E.A. Franklin. – <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1782-2019.pdf> (дата обращения: 20.03.2021).

**Митрофанов Сергей Владимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электро- и теплоэнергетика», Оренбургский государственный университет, г. Оренбург; mitser2002@mail.ru.

**Байкасенов Дамир Куандыкович**, аспирант кафедры «Автоматизированный электропривод, электро-механика и электротехника», Оренбургский государственный университет, г. Оренбург; baykasenov@bk.ru.

Поступила в редакцию 27 апреля 2021 г.

DOI: 10.14529/power210209

## PVsyst SOFTWARE FOR BETTER ENERGY EFFICIENCY OF A GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC POWER STATION

**S.V. Mitrofanov**, mitser2002@mail.ru,

**D.K. Baykasenov**, baykasenov@bk.ru

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

The paper presents a classification of solar tracking systems used in photovoltaic power stations (PVS) and their operating principles. A simulation model of a grid-connected 5-kW PVS has been developed in PVsyst, to which end the researchers selected PVS equipment and optimized the PV cell tilt angles. The paper further analyzes a grid-connected PVS in Orenburg Oblast in PVsyst under the following configurations: static PV cells, not tilted vs seasonally varied tilts; single-axis solar trackers with vertical and horizontal axes of rotation vs

a dual-axis solar tracker. The analysis is based on solar insolation data for 2019 obtained from the research team's HP-2000 weather station. Dual-axis solar tracker and single-axis vertical trackers are shown to have the best year-round generation, providing an increase of 13.2% and 11.5%, respectively, against the static PV cells (no change in tilt).

*Keywords:* solar trackers, RES in Orenburg Oblast, PV power stations in Orenburg Oblast, Solar tracking systems, PVS equipment selection.

### References

1. Solar Energy vs. Wind Energy: Which is Right for You? Available at: <https://news.energysage.com/solar-vs-wind-energy-right-home/> (accessed 20.03.2021).
2. McWilliams S., Sundaramoorthy R., Metacarpa D., Haldar P. PV Single Axis Tracker Array Tests in the Northeast US with CIGS. *2016 IEEE 43rd Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 2016, pp. 3328–3330. DOI: 10.1109/PVSC.2016.7750282
3. Rosma I.H., Putra I.M., Sukma D.Y., Safrianti E., Zakri A.A., Abdulkarim A. Analysis of Single Axis Sun Tracker System to Increase Solar Photovoltaic Energy Production in the Tropics. *2018 2nd International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICon EEI)*, 2018, pp. 183–186. DOI: 10.1109/ICon-EEI.2018.8784311
4. Yurchenko A.V., Kitaeva M.V., Okhorzina A.V. [Solar Tracking System for PV Power Plant]. *Resursoeffektivnye tekhnologii dlya budushchikh pokoleniy* [Resource-efficient Technologies for Future Generations], 2010, pp. 210–221 (in Russ.).
5. Saranya Nair M., Bhatia K. Solar Tracker Assisted Automatic Irrigation System for Agricultural Fields. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 2017, vol. 8, no. 10, pp. 279–287.
6. Akhmetshin A.T. *Povyshenie effektivnosti avtonomnykh solnechnykh fotoelektricheskikh ustanovok dlya elektrosnabzheniya sel'skokhozyaystvennykh potrebiteley. Avtoref. kand. tekhn. nauk* [Improving solar photovoltaic installation efficiency for decentralized electric power supply of agricultural consumers. Abstract of cand. sci. diss.]. St. Petersburg, 2016. 19 p.
7. Suria A.K., Idris R.M. Dual-Axis Solar Tracker Based on Predictive Control Algorithms. *2015 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)*, 2015, pp. 238–243. DOI: 10.1109/CENCON.2015.7409546
8. Rosma I.H., Asmawi J., Darmawan S., Anand B., Ali N.D., Anto B. The Implementation and Analysis of Dual Axis Sun Tracker System to Increase Energy Gain of Solar Photovoltaic. *2018 2nd International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICon EEI)*, 2018, pp. 187–190. DOI: 10.1109/ICon-EEI.2018.8784321
9. Bin Mostafa M.T., Choudhury S.M.T.A., Hosain S. Design and Performance Analysis of a Dual Axis Solar Tracker. *2019 IEEE 1st International Conference on Energy, Systems and Information Processing (ICESIP)*, 2019, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICESIP46348.2019.8938338
10. Allamehzadeh H. Solar Energy Overview and Maximizing Power Output of a Solar Array Using Sun Trackers. *2016 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, 2016, pp. 14–19. DOI: 10.1109/SusTech.2016.7897136
11. GOST R 57229–2016 (MEK 62817:2014). [Photovoltaic systems. Solar Tracking Devices. Specifications]. Moscow, Standartinform, 2017. 67 p. (in Russ.)
12. Arlikar P., Bhowmik A., Patil M., Deshpande A. Three Dimensional Solar Tracker with Unique Sensor Arrangement. *2015 International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM)*, 2015, pp. 509–513. DOI: 10.1109/ICSTM.2015.7225470
13. Sawant A., Bondre D., Joshi A., Tambavekar P., Deshmukh A. Design and Analysis of Automated Dual Axis Solar Tracker Based on Light Sensors. *2018 2nd International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, 2018, pp. 454–459. DOI: 10.1109/I-SMAC.2018.8653779
14. Artanto D., Prasetyadi A., Purwadiana D., Sambada R. Design of a GPS-Based Solar Tracker System for a Vertical Solar Still. *2016 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS)*, 2016, pp. 140–143. DOI: 10.1109/ICSGTEIS.2016.7885780
15. Altayeb M., Abdalla S., Mustafa A.H. Dual Axis Solar Sun Tracking System Based on GPS Satellite Receiver and Embedded System. *2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)*, 2018, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICCCEEE.2018.8515891
16. Mitrofanov S.V., Nemaltsev A.Yu., Baykasenov D.K. Primary testing of automated dual-axis solar tracker in the climatic conditions of the Orenburg region as the prospects for the establishment of a hardware-software complex. *Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2018, no. 7-9, pp. 43–54. (in Russ.) DOI: 10.15518/isjaee.2018.07-09.043-054
17. PVsyst. Available at: <https://www.pvsyst.com/download-pvsyst/> (accessed 20.03.2021).
18. Amerkhanov R.A., Grigorash O.V., Samorodov I.B., Tsygankov B.K., Vorob'ev E.S. *Solnechnye fotoelektricheskie stantsii* [Solar photovoltaic power plants]. Krasnodar, Kuban State Agrarian University Named after I.T. Trubilin Publ., 2017. 206 p.



19. Weather Station. Available at: <http://www.misolie.net/misoloutdoor-sensor-spare-part-for-weather-station-wireless-433mhz-p-588.html> (accessed 27.03.2021).

20. Franklin E.A. Calculations for a Grid-Connected Solar Energy System. Available at: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1782-2019.pdf> (accessed 20.03.2021).

*Received 27 April 2021*

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Митрофанов, С.В. Исследование способов повышения энергетической эффективности сетевой фотоэлектрической станции в программном обеспечении PVsyst / С.В. Митрофанов, Д.К. Байкасенов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 2. – С. 85–93. DOI: 10.14529/power210209

**FOR CITATION**

Mitrofanov S.V., Baykasenov D.K. PVsyst Software for Better Energy Efficiency of a Grid-Connected Photovoltaic Power Station. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2021, vol. 21, no. 2, pp. 85–93. (in Russ.) DOI: 10.14529/power210209

---