УДК 621.311.243

**АВТОНОМНАЯ КРЫШНАЯ СОЛНЕЧНАЯ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ
ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Андрианова Людмила Прокопьевна

д-р техн. наук, профессор

Хазиева Регина Тагировна

канд. техн. наук, доцент

Васильев Петр Игоревич

ассистент

Голубев Дэнис Михайлович

студент

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Аннотация: В статье рассмотрены принципы построения крышной солнечной фотоэлектрической электростанции (ФЭС) повышенной энергоэффективности, устанавливаемой на южных скатах крыш жилых и хозяйственных зданий. Приведена оригинальная конструктивная схема и состав компонентов автономной крышной солнечной ФЭС. Описан алгоритм функционирования ФЭС с азимутальным слежением за солнцем в разное время суток.

Ключевые слова: солнечная фотоэлектрическая электростанция, фотоэлектрическая батарея, фотоэлектрический модуль, солнечные элементы, азимутальное слежение за солнцем, конструктивная схема

**AUTONOMOUS ROOFTOP SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER PLANT
FOR DECENTRALIZED CONSUMERS**

Andrianova Lyudmila Prokopyevna

Khazieva Regina Tagirovna

Vasiliev Pyotr Igorevich

Golubev Denis Mikhailovich

Abstract: The article discusses the principles of building a rooftop solar photovoltaic power plant (wpp) of increased energy efficiency, installed on the southern slopes of the roofs of residential and commercial buildings. the original design scheme and the composition of components of an autonomous roof solar power plant are given. the algorithm of functioning of the fes with azimuthal tracking of the sun at different times of the day is described.

Key words: Solar photovoltaic power plant, photovoltaic battery, photovoltaic module, solar cells, azimuthal

В настоящее время широко практикуется построение солнечных фотоэлектрических электростанций, устанавливаемых на южных скатах крыш жилых и хозяйственных зданий, для автономного обеспечения электроэнергией децентрализованных потребителей [3-5]. Для этого проектируют скаты крыш зданий с наклоном на средний угол зенита солнца соответственно географической широте [1, 2]. Все компоненты таких фотоэлектрических станций неподвижны, в том числе и фотоэлектрическая батарея.

Согласно, закону оптики при падении светового луча на стекло под углом $90^\circ \pm 30^\circ$ коэффициент отражения практически не меняется. Известно, что средний зенитальный угол географической широты составляют $\pm 23,5^\circ$, и, следовательно, фотоэлектрическая станция не нуждается в обязательном зенитальном слежении за солнцем, в тоже время азимутальное слежение за солнцем на 180° необходимо.

Без азимутального слежения активная работа солнечной фотоэлектрической батареи на углах $90^\circ \pm 30^\circ$, т. е. всего 60° из 180° , существенно снижает ее КПД на 60 %.

Отсюда следует вывод о том, что для эффективной работы солнечных фотоэлектрических электростанций необходимо азимутальное слежение за солнцем. При этом необходимо учитывать, что утренний и вечерний солнечный свет из-за дымки, тумана, гор или леса кратковременен и малоэффективен примерно до широты 15° .

Таким образом, целесообразно и достаточно полно принять азимутальные углы слежения за солнцем, равные $90^\circ \pm 45^\circ$, что обеспечит эффективную работу фотоэлектрической батареи в диапазоне 150° .

В статье представлено оригинальное конструктивно-схемное решение на создание крышной фотоэлектрической микроэлектростанции,

предусматривающей азимутальное слежение за солнцем и обеспечивающей повышенную эффективность ее работы.

На **рис. 1** показан общий вид солнечной фотоэлектрической микроэлектростанции.

Рис. 1. Общий вид ФЭС: вид спереди со стороны привода:

- 1 – основание (крыша здания); 2 – опоры; 3 – вал; 4 – зубчатое колесо; 5 – фотоэлектрическая батарея; 6 – левый фотоэлектрический модуль; 7 – правый фотоэлектрический модуль; 8 – задний фотоэлектрический модуль; 9 – упоры; 10 – концевой выключатель; 11 – червячный вал; 12 – электродвигатель постоянного тока**

Фотоэлектрическая станция включает в себя основание 1 с наклоном в южную сторону на среднегодовой угол зенита солнца, т.е. на угол местной географической широты.

Если отключение фотоэлектрической станции предусмотрено на декабрь, январь, февраль, то зенитальный угол принимается равным углу географической широты за минусом $\frac{1}{2} 23,5^\circ$.

Основанием фотоэлектрической станции является крыша здания. По наклону основания 1 на опорах 2 установлен вал 3 с зубчатым колесом 4 на его конце. На валу 3 жестко закреплена горизонтально фотоэлектрическая батарея 5. На верхнем конце наклона фотоэлектрической батареи 5 под углом 45°, закреплены левый 6 и правый 7 фотоэлектрические модули.

С обратной стороны фотоэлектрической батареи 5 расположен задний фотоэлектрический модуль 8. На основании 1 против упоров 9 установлены концевые выключатели 10. Вал 8 через зубчатое колесо 4 с червячным валом 11 связан с электродвигателем 12 постоянного тока.

Электрическая схема фотоэлектрической станции (**рис. 2**) включает в себя солнечную фотоэлектрическую батарею (СБ), левый солнечный элемент (ЭЛ), правый солнечный элемент (ЭП), задний солнечный элемент (ЭЗ): фотоэлектрические модули 6, 7, 8 в соответствии с (**рис. 1**).

Левый солнечный элемент ЭЛ и правый солнечный элемент ЭП встречно включены на обмотку слаботочного поляризованного реле РП1. Задний солнечный элемент ЭЗ включен на обмотку слаботочного поляризованного реле РП 2.

Нормально разомкнутые контакты РП1 (левый Л и правый П) включены на обмотки силовых реле РС1 и РС2 и запараллелены ручными кнопками КП и КЛ (см. **рис. 3**).

Через нормально замкнутые контакты силового реле РС2.1 и нормально замкнутые контакты слаботочного поляризованного реле РП2 включены обмотки силового реле РС3, которые запараллелены нормально открытыми контактами РС3.1. Нормально замкнутые контакты силовых реле РС1, РС2 и параллельно им контакты РС3.2 включены под один полюс питания фотоэлектрической батареи СБ, (в частном случае на минус), в то же время их нормально разомкнутые контакты включены на другой полюс питания фотоэлектрической батареи СБ, (в частном случае на плюс).

Рис. 2. Электрическая схема фотоэлектрической станции:
СБ – солнечная батарея; **ЭЛ** – элемент левый; **ЭП** – элемент правый;
ЭЗ – элемент задний; **РП1**, **РП2** – поляризованное реле; **РС1**, **РС2**,
РС3 – силовое реле; **РС1.1**, **РС2.2**, **РС3.2** – нормально разомкнутые
 контакты **РС1**, **РС2**, **РС3** соответственно; **РС2.1**– нормально замкнутые
 контакты **РС2**; **КВ** – концевой выключатель; **Д** – двигатель постоянного
 тока; **АК** – аккумулятор; **Л**, **П**, **Я** – соответственно левый, правый
 контакты, **Я** – якорь

В каждой линии питания контактов РС1.1, РС2.2 и РС3.2 установлены, левый и правый концевые выключатели КВ (10).

**Рис. 3. Схема ручного управления:
КЛ, КП – ручные кнопки; РП1- поляризованное реле;
РС1, РС2 – силовое реле**

Кнопками КЛ и КП осуществляют ручное управление азимутальной установкой солнечной фотоэлектрической батареи СБ в условиях непогоды.

Фотоэлектрическая электростанция, схема которой представлена на рис. 2, работают следующим образом. Солнечная фотоэлектрическая батарея СБ находится в полдень параллельно основанию с зенитальным уклоном, при этом левый ЭЛ и правый ЭП солнечные фотоэлектрические элементы активно освещаются солнцем и вырабатывают электрическую энергию постоянного тока для зарядки аккумулятора АК и отпуска по технологическому назначению.

Левый ЭЛ и правый ЭП солнечные фотоэлектрические элементы одинаково освещаются солнечными лучами и вырабатывают одинаковые постоянные токи, которые встречно на обмотке реле РП1 взаимно уничтожаются, реле РП1 не срабатывает, в схеме никаких изменений не происходит.

Если солнце азимутально отклонилось на запад, левый фотоэлектрический модуль (элемент ЭЛ) попадает под прямые солнечные лучи, освещение его улучшается, он вырабатывает больший электрический

ток. Правый солнечный фотоэлектрический модуль (элемент ЭП) попадает под косые солнечные лучи, освещение его ухудшается, поэтому его вырабатываемый ток меньше, чем у левого элемента ЭЛ.

На обмотке реле РП1 протекает ток справа налево, реле РП1 срабатывает, и замыкая свои нормально разомкнутые левые контакты Л, ставит под ток обмотку силового реле РС1, оно срабатывает и ставит под ток электродвигатель Д постоянного тока заданной полярности.

Двигатель Д вращает червячный вал 11 и через зубчатое колесо 4 поворачивает вал 3 влево, отклоняя в ту же сторону фотоэлектрическую батарею с левым и правым фотоэлектрическими модулями.

Солнечное освещение на левом ЭЛ и правом ЭП фотоэлектрических модулях выравнивается, они вырабатывают одинаковые электрические токи, которые уравниваются на обмотке реле РП1, и РП1 обесточивается. Реле РП1 опускает свой якорь (я) и разрывает свой левый контакт (л), который в свою очередь разрывает цепь питания обмотки силового реле РС1. Силовое реле РС1 опускает свой якорь и разрывает контакты РС1, двигатель Д останавливается, с некоторым наклоном на запад, и панель солнечной фотоэлектрической батареи СБ. При дальнейшем отклонении солнца по азимуту на запад описанная операция повторяется до упора 9 на концевой выключатель КВ, который разрывает цепь питания, кроме контактов РС1, цепь питания двигателя Д. Солнечная фотоэлектрическая батарея СБ с наклоном от нормали под углом 45° на запад ночует до утра.

Утром при восходе солнце солнечные лучи освещают задний солнечный элемент ЭЗ, который вырабатывает электрический ток на обмотку реле РП2. Реле РП2 срабатывает и, замыкая свои левые нормально разомкнутые контакты, ставит под ток обмотку силового реле РС3. Реле РС3 срабатывает, замыкает свои нормально разомкнутые контакты РС3.1 параллельно контактам РП2 и ставит себя на самоблокировку. Реле РС3, замыкая нормально разомкнутые контакты РС3.2, ставит под ток обратной полярности двигатель Д, который вращает червячный вал 3 и через зубчатое колесо 4 солнечную фотоэлектрическую батарею СБ вправо.

Задний фотоэлектрический модуль (солнечный элемент ЭЗ) уходит из под солнечных лучей, обесточивается обмотка реле РП2, оно размыкает свои контакты, но через замкнутые контакты РС3.1 обмотка реле РС3 остается под током, поэтому поворот продолжается. Под солнечное освещение попадает фотоэлектрический модуль (правый солнечный элемент ЭП),

вырабатывающий электрический ток на обмотку реле РП1. Реле РП1 срабатывает, замыкает свои правые контакты, которые ставят под ток обмотку силового реле РС2. Силовое реле РС2 размыкает свои контакты РС2.1 и обеспечивает цепь питания обмотки реле РС3, которое снимается с самоблокировки и размыкает замкнутые контакты РС3.2. Однако реле РС2 уже замкнуло свои нормально разомкнутые контакты РС2.2 и обеспечивает цепь электропитания двигателя Д той же полярности. Разворот солнечной фотоэлектрической батареи СБ продолжается до угла с наклоном 45° на восток, нижний упор 9 нажимает на правый концевой выключатель КВ, который разрывает цепь питания двигателя Д. Солнечная фотоэлектрическая батарея в заданном режиме вырабатывает электрический ток.

По мере азимутального движения солнца освещения на правом и левом фотоэлектрических модулях выравниваются, а затем левый модуль освещается интенсивнее правого, и цикл поворота фотоэлектрической батареи на запад повторяется вышеописанным образом.

Заключение.

Предложенная конструкция автономной крышной солнечной фотоэлектрической электростанции повышенной эффективности за счет азимутального слежения за солнцем в течение суток целесообразна для установки на крышах зданий городов и населенных пунктов на возвышенных открытых с трех сторон солнечных местах, например, на холмах, с южной стороны леса, посадки, строений.

Список литературы

1. ГОСТ Р 57229-2016 (МЭК 62817: 2014) Системы фотоэлектрические Устройства слежения за Солнцем. Технические условия. Photovoltaic systems. Solar trackers. General specifications / введ. 01.09.2017; акт. 01.01.2021. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 62 с.
2. Андрианова Л.П. Анализ нормативных требований к системам слежения за солнцем для автономных фотоэнергоустановок / Л.П. Андрианова, Л.А. Рябишина, Р.Т. Хазиева // Инновационное развитие науки: фундаментальные и прикладные проблемы: монография (коллектив авторов). – Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2021. – 320 с. – С. 19-48.
3. Андрианова Л.П. Энергообеспечение децентрализованных потребителей на основе крышных ветродвигателей и солнечных

электростанций / Л.П. Андрианова, В.Ю. Кабашов // Межд. технико-экономический журнал. THE International Technical - Economic Journal. Под ред. д-ра техн. наук, член-корреспондента РАН О.Н. Дидманидзе. – Москва: ООО Спектр. – №1, 2019. – С.48-54.

4. Андрианова Л.П. Принципы построения энергоэффективных автономных солнечных электростанций с полным слежением за солнцем / Л.П. Андрианова, А.Т. Ахметшин, А.Е. Усманова // Международный технико-экономический журнал. THE International Technical - Economic Journal. Под ред. д-ра техн. наук, академика РАН О.Н. Дидманидзе. – № 6, 2019. – Москва: ООО Спектр. – С.74-80.

5. Андрианова Л.П. Крышная солнечная электростанция с автоматической системой слежения за солнцем / Л.П. Андрианова, В.Ю. Кабашов // Международный технико-экономический журнал. THE International Technical – Economic Journal. Под ред. д-ра техн. наук, академика РАН О.Н. Дидманидзе. – № 1, 2020. – Москва : ООО Мегapolis. – С.37-42.

© Л.П. Андрианова, Р.Т. Хазиева, П.И. Васильев, Д.М. Голубев, 2021.