

УДК 621.3

05.00.00 Технические науки

**К ВОПРОСУ ВЫБОРА СОЛНЕЧНОЙ ФОТО-
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**Винников Анатолий Витальевич
к.т.н., доцент, деканДенисенко Евгений Александрович
к.т.н., старший преподаватель
denisenko_88@mail.ru
SPIN-код: 4263-0056Долбенко Дмитрий Витальевич
студент
grigorasch61@mail.ru
*Кубанский государственный аграрный универси-
тет, Краснодар, Россия*

Перспективным является направление и, прежде всего, в вопросах энергосбережения и повышения энергоэффективности автономных систем электро-снабжения, применение возобновляемых источников энергии в качестве основных источников энергии для потребителей отдалённых районов. Здесь приоритеты отдаются солнечной энергетике. Поскольку солнечная радиация может быть преобразована не только в тепловую энергию, но и в электрическую. В статье приведены три основные структурно-схемных решения систем электро-снабжения с использованием солнечных электростанций. Раскрыты особенности их работы. Раскрывается алгоритм расчёта солнечных энергетических систем, последовательность которого состоит в определении требуемых параметров, точного энергопотребления потребителями электроэнергетики, расчёт ёмкости аккумуляторных батарей, выбор инвертора и определении площади солнечных батарей. Раскрыты условия эксплуатации, влияющие на расчёт фотоэлектрической системы. Показано, что наибольшей эффективностью, в том числе экономической, и надёжностью обладают комбинированные (гибридные) автономные системы, выполненные с использованием как солнечных электростанций, так и ветроэлектрических и газопоршневых станций. Показано, что важным вопросом повышения надёжности солнечных систем является внедрение в их конструкцию новой элементной базы, и прежде всего, автономных инверторов, выполненных на однофазно-трёхфазных трансформаторах с вращающимся магнитном поле

Ключевые слова: ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, СОЛНЕЧНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА, СОЛНЕЧНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ, СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ, ИНВЕРТОР

UDC 621.3

Technical sciences

CHOOSING SOLAR PHOTOVOLTAIC PLANTVinnikov Anatoly Vitaljevich
Cand.Tech.Sci., associate professor, deanDenisenko Evgeniy Alexandrovich
Candidate of engineering sciences, senior lecturer
denisenko_88@mail.ru
SPIN-code: 4263-0056Dolobenko Dmitriy Vitalevich
student
grigorasch61@mail.ru
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Promising is the direction and, above all, in matters of energy saving and energy efficiency of Autonomous systems of power supply, the use of renewable sources-renewable energy as a major source of energy for consumers in remote areas. Here priority is given to solar energy. Since solar radiation can be change place not only in heat and electrical. The article contains three main structural schematics of electricity supply with solar power plants. The features of their work are disclosed, as well as an algorithm for calculating solar energy systems, the sequence of which is to define the required parameters, the daily energy consumption by consumers of electric power, the calculation capacity of the battery, the choice of the inverter and determining the area of solar batteries. The article reveals the conditions that affect the calculation of the PV system. It is shown that the greatest efficiency, including economic and reliability we have at combined (hybrid) Autonomous system, which was carried out with both solar power and wind power and gas stations. The important matters of improving the reliability of solar systems are the introduction to the design of a new element of the base, and first and foremost, Autonomous inventors performed on a single-phase transformer with a rotating magnetic field

Keywords: RENEWABLE ENERGY, SOLAR PHOTOVOLTAIC INSTALLATION, SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER STATION, SOLAR BATTERY, INVERTER

Перспективным является направление и, прежде всего, в вопросах энергосбережения и повышения энергоэффективности автономных систем электроснабжения, применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в качестве основных источников энергии для потребителей отдалённых районов [1, 2]. Здесь приоритеты отдаются солнечной энергетике. Поскольку солнечная радиация может быть преобразована не только в тепловую энергию, но и в электрическую [3].

Солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС) могут быть различными по комплектации, что определяется в основном требованиями потребителей электроэнергии (их мощность, режимы работы, требования к качеству электроэнергии, надёжности электроснабжения и т. п.).

Актуальным в настоящее время являются вопросы: как выбрать основные функциональные узлы СФЭС? Система электроснабжения должна быть автономной или работать совместно с сетью?

Существуют три основные структурно-схемных решения систем электроснабжения с использованием солнечных электростанций. Их разновидности приведены на рисунке 1.

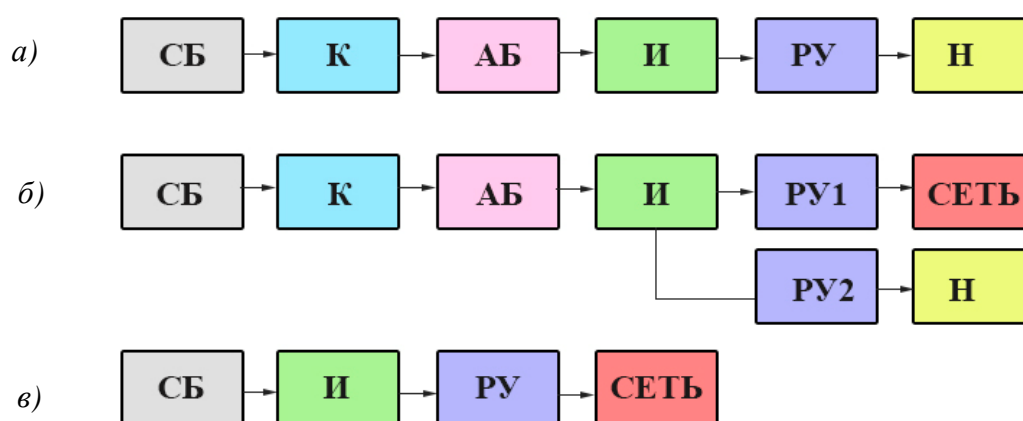


Рисунок 1 – Структурные схемы фотоэнергетических систем: солнечная батарея – СБ; контроллер – К; аккумуляторная батарея – АБ; инвертор – И; распределительное устройство – РУ; нагрузка – Н

1. Автономная фотоэлектрическая система полностью независима от сетей внешнего электроснабжения (рисунок 1, а). За исключением некоторых специальных применений, в которых энергия от солнечных батарей напрямую используется потребителями (например, водоподъемные установки, солнечная вентиляция и т.п.), все автономные системы должны иметь в своем составе аккумуляторные батареи. Энергия от аккумуляторов используется во время недостаточной солнечной радиации или когда нагрузка превышает генерацию солнечных батарей [4, 5].

2. Система, соединённая с внешней сетью (рисунок 1, б). В ней также используются аккумуляторные батареи, но такая система одновременно подключена к внешней сети. Поэтому излишки, генерируемые солнечными батареями, могут направляться в нагрузку или сеть. Для этого используются преобразователи напряжения постоянного тока в переменный – инверторы инверторы, которые могут работать параллельно с сетью, их часто называют комбинированными (гибридными). Если потребление превышает генерацию электроэнергии солнечными батареями, то недостающая энергия берется от сети. Некоторые модели таких инверторов с зарядными устройствам могут давать приоритет для заряда аккумуляторов от источника постоянного тока (например, солнечного контроллера), тем самым снижая потребление энергии от сети для заряда аккумуляторных батарей.

3. Система с безаккумуляторным соединением с сетью является самой простой из всех систем (рисунок 1, в). Она состоит из солнечных батарей или ветроагрегата или работающие в параллельно солнечные батареи с ветроагрегатом, а также инвертора, подключенного к сети. Вся вырабатываемая электроэнергия отдаётся в сеть. В такой системе нет аккумуляторных батарей, поэтому они не могут использоваться в качестве резервных систем. Когда сеть пропадает, то и выработка электроэнергии солнечными батареями также прекращается. Это может быть ограничени-

ем такой системы, но основное её преимущество – высокая эффективность, низкая цена (за счет отсутствия аккумуляторных батарей и менее дорогого сетевого инвертора) и высокая надежность.

Эффективность фотоэлектрической системы зависит от уровня солнечной радиации. Основной составляющей фотоэлектрических систем являются модули, в которые объединяются фотоэлементы. Модули бывают рассчитаны на любое напряжение, вплоть до нескольких сотен вольт. Если в системе имеются нагрузки переменного тока, то для преобразования в переменный ток в состав системы входят инверторы. При выборе фотоэлементов для автономной солнечной энергосистемы необходимо знать КПД того или иного вида фотоэлементов. Известно, что КПД фотоэлемента представляет собой отношение энергии, попадающей на фотоэлемент к электроэнергии, поступившей к потребителям электроэнергии. Существует практическое значение КПД, теоретическое и лабораторное. Ниже приведены значения практического КПД фотоэлементов промышленного производства:

- фотоэлементы из монокристаллического кремния: 16–17%;
- фотоэлементы из поликристаллического кремния: 14–15%;
- фотоэлементы из аморфного кремния: 8–9%.

Особенности расчёта фотоэлектрической системы.

Принцип работы системы: солнечная батарея преобразует солнечную радиацию в электрическую энергию постоянного тока в дневное время с помощью контроллеров заряжается аккумуляторная батарея (АБ). Уровень заряда АБ контролируется автоматически. Инвертор преобразует напряжение постоянного тока в переменный ток [6, 7].

1. Определение требуемых параметров и подбор необходимых компонентов начинается с составления списка всех предполагаемых нагрузок с указанием их мощности и среднего времени работы каждой из них в

течение суток (мощность каждого потребителя указывается в паспорте электрооборудования).

2. Уменьшить список потребителей электроэнергии за счёт уменьшения количества особо энергоёмких приборов, что позволит уменьшить как первоначальную стоимость энергосистемы, так и затраты на её эксплуатацию. Оставшиеся приборы должны быть энергосберегающими (светодиодные лампы). Электробытовые приборы также необходимо приобретать, работающие на постоянном токе. Это позволит:

- уменьшение мощность инвертора, а значит и его стоимость;
- уменьшить потери электроэнергии;
- повысить надёжность системы электроснабжения;
- повысить безопасности системы.

В таблице 1 приведено примерное энергопотребление и мощности наиболее распространенных электробытовых приборов:

Таблица 1 – Типовые мощности бытовых приборов

Потребитель	Мощность (Вт)	Кол-во (шт.)	Время работы за сутки (час)	Энергопотребление за сутки (Вт/час)
Микроволновая печь	1500	1	0,5	750
Телевизор	60	1	3	180
Электрочайник	1500	1	0,3	500
Электронасос	600	1	0,5	300
Холодильник	100	1	24	2400
Музыкальный центр	40	1	2	80
Электрический утюг	1500	1	0,5	750
Компьютер	350	1	4	1400
Электропылесос	700	1	0,1	58
Лампа накаливания	60	5	3	900
Энергосберегающая лампа	11	5	3	165
Всего в сутки:				около 7500 Вт

3. Определение общего суточного энергопотребления системы.

Мощность каждого из электроприборов умножается на количество анало-

гичных приборов (одного типа и мощности) и среднесуточное время работы данного прибора. Сумма полученных произведений в кВт·ч и есть суточное энергопотребление системы.

Расчет необходимо производить отдельно для нагрузок, использующих постоянный ток, и отдельно для нагрузок переменного тока, поскольку нужно будет учитывать и потери в инверторе, составляющие 5–10%.

4. Необходимо рассчитать ёмкость и количество АБ и выбрать их тип. Здесь целесообразно использовать герметичные необслуживаемые свинцово-кислотные аккумуляторы, обладающие наибольшей эффективностью и более высокими электрическими характеристиками, а также большим сроком службы в сравнении с обычными батареями.

Необходимо определить, какое количество энергии необходимо получать от аккумуляторной батареи. Как правило, это определяется количеством дней, в течение которых электропотребители будут работать от аккумулятора без его дополнительной подзарядки.

После подсчета суточного энергопотребления системы необходимо определить емкость аккумуляторных батарей. Для этого подбирается номинальное напряжение блока аккумуляторных батарей и задается количество «пасмурных» дней (дней, в которые солнечная система будет работать только от аккумуляторов). Номинальное напряжение может составлять 12 В, 24 В, 48 В и т. д., т. е. должно быть кратно 12В. Основными критериями выбора номинального напряжения блока АБ являются:

- наличие электропотребителей постоянного тока;
- общая мощность системы (чем больше мощность системы, тем выше должно быть номинальное напряжение блока АБ). Для мощностей системы меньше 1 кВт возможно применение АБ с номинальным напряжением 12 В. Выбор АБ в зависимости от общей мощности системы обеспечивает более эффективную работу инверторов и способствует уменьше-

нию токов, протекающих через контроллер, инвертор и соединительные кабели.

Следует учитывать тот факт, что срок службы АБ напрямую зависит от глубины разряда, которая должна составлять не более 50–60% от ёмкости АБ. Количество энергии, накопленной в АБ, рассчитывается умножением емкости аккумуляторной батареи на ее номинальное напряжение.

Величина суточного энергопотребления, умноженная на количество, так называемых, «пасмурных» дней, как раз и должна составить эти 50–60% от ёмкости.

5. Определение мощности инвертора. Мощность инвертора подбирается, исходя из суммарной мощности подключенных одновременно электроприборов плюс не менее 25% запаса мощности. При выборе инвертора необходимо помнить, что некоторые электробытовые приборы в момент пуска потребляют мощность, в несколько раз превышающую паспортную (электропривод). Так, глубинные насосы в момент запуска потребляют мощность в 3–4 раза, а компрессорный холодильник в 12 раз большую, чем указано в паспорте [8].

6. Количество необходимых солнечных модулей зависит от размера площадки для размещения модулей, требуемого количества электроэнергии, а также стоимости. Прежде всего, нужно определить суммарную мощность солнечных модулей из которых будет состоять солнечная электростанция. При расчете необходимо учитывать:

- расположение солнечной электростанции;
- время использования и период (зима, лето или круглый год);
- погодные условия данной местности;
- наличие деревьев, строений и т.п. заслоняющих солнечные модули от прямого попадания солнечных лучей;
- возможность слежения за солнцем по одной или двум координатам.

При расчете количества солнечной энергии, необходимой для работы автономной солнечной электростанции, следует учитывать ориентировку воспринимающей лучистую энергию солнца площадки. Для расчета нужно брать значение инсоляции:

– для площадки, наклон которой равен широте местности, в тех случаях, когда необходима выработка максимально возможного количества электроэнергии в течение года в целом;

– для площадки, расположенной под углом к горизонту большим широты местности на 15° , в тех случаях, когда система работает круглогодично с одинаковой нагрузкой (такая система нерентабельна из-за переизбытка электроэнергии в летний период);

-для площадки ориентированной оптимально: для летнего периода под углом к горизонту меньшим широты местности на 15° , для зимнего – большим на те же 15° .

Определение среднемесячных значений солнечной инсоляции осуществляется по специальным таблицам. В таблице 2, для примера, приведены значения поступления солнечной радиации в г. Сочи.

Таблица 2 – Месячные и годовые суммы суммарной солнечной радиации, кВт·ч/м²

Сочи, широта 43.6	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
Горизонтальная панель	37.0	55.2	84.0	116.6	167.1	199.0	206.8	185.0	130.1	95.4	54.2	34.7	1365.1
Вертикальная панель	65.8	76.5	91.1	80.0	86.9	86.2	95.7	113.6	119.0	130.0	97.6	67.6	1099.9
Наклон панели - 35.0°	62.0	80.2	103.5	125.0	163.0	184.9	198.1	197.0	161.6	141.7	92.8	61.7	1571.4
Вращение вокруг полярной оси	76.0	99.1	129.9	160.1	222.1	269.3	289.0	284.0	222.0	185.8	117.2	75.6	2129.9

Солнечная инсоляция изменяется в течение дня из-за относительного движения Солнца и в зависимости от облачности. Так, например, в пол-

день, в ясную солнечную погоду, количество солнечной энергии может достигать 1000 Вт/м^2 , а при облачности даже в полдень может опуститься до 100 Вт/м^2 и ниже. Выработка электроэнергии солнечными фотоэлектрическими батареями зависит от угла падения солнечных лучей и максимальна, когда этот угол составляет 90° , т. е. лучи падают строго перпендикулярно. Чем больше отклонение от угла 90° , тем большее количество лучистой энергии отражается, а не поглощается солнечными модулями. Поэтому особенно важно правильно ориентировать поверхность солнечных модулей и установить нужный угол наклона [5].

При использовании автономной фотоэлектрической системы только в летнее время, необходимо использовать только значения для летних месяцев, аналогично – для зимы. Для обеспечения оптимального электроснабжения необходимо из среднемесячных значений, в течение которых предполагается использовать автономную солнечную электростанцию, выбирать наименьшие. Выбранное среднемесячное значение для наихудшего месяца (в нашем примере – это декабрь) нужно разделить на число дней месяца, чтобы получить среднемесячное число пиковых солнечных часов.

Наибольшей эффективностью, в том числе экономической, и надежностью обладают комбинированные (гибридные) автономные системы, например, ветроэлектростанция и фотоэлектрическая система. Полностью автономные системы обладают более низкой производительностью, поскольку размер и количество модулей подбирается из расчета достаточного получения энергии в зимнее время, несмотря на неизбежное ее перепроизводство летом. Комбинированные системы имеют более высокий КПД, поскольку размеры фотоэлементов подбираются, исходя из требуемой нагрузки в летний период, а зимой и в пасмурную погоду дополнительное количество электроэнергии вырабатывается газопоршневыми станциями или ветроустановками [9].

Наибольший КПД у фотоэлектрических систем, подключенных к сетям, так как фактически вся произведенная электроэнергия либо используется потребителями автономной системы, либо поступает во внешнюю сеть.

Несмотря на развитие солнечных технологий, солнечная энергия остается наиболее дорогим из известных видов ВИЭ. Развитие солнечной энергетики в перспективе приведет к удешевлению солнечной энергии и фотоэлементов. В настоящее же время использование фотоэлектрических элементов для нужд автономного электроснабжения рентабельно лишь в удаленных от централизованного электроснабжения районах или при невозможности использования других автономных источников энергии по экологическим причинам, к примеру, дизельных электростанций.

Важным вопросом повышения надёжности СФЭС является внедрение в их конструкцию новой элементной базы, и прежде всего, автономных инверторов, выполненных на однофазно-трёхфазных трансформаторах с вращающимся магнитным полем [10, 11].

Однако анализ причин роста стоимости электроэнергии, получаемой от традиционных источников показывает, что к 2017 – 2018 г.г. 1 кВт·ч электроэнергии произведённой от СФЭС будет дешевле, чем от традиционных источников.

Список литературы

1. Григораш О.В., Стрелков Ю.И. Нетрадиционные автономные источники электроэнергии. Промышленная энергетика. 2001. № 4. С.37–40.
2. Григораш О.В., Степура Ю.П., Пономаренко А.С. и др. Современное состояние производства электроэнергии возобновляемыми источниками в мире и России. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 6. С.159–163.
3. Григораш О.В., Коваленко В.П., Воробьев Е.В. Перспективы возобновляемых источников электроэнергии в Краснодарском крае. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 6. С. 123– 27.
4. Григораш О.В., Тропин В.В., Оськина А.С. Об эффективности и целесообразности использования возобновляемых источников электроэнергии в Краснодарском крае. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. №09 (083). С.506–517.

5. Григораш О.В., Степура Ю.П., Сулейманов Р.А. и др. Возобновляемые источники электроэнергии. Краснодар. 2012. С. 272.
6. Григораш О.В., Новокрещенов О.В., Хамула А.А. и др. Статические преобразователи электроэнергии. Краснодар. 2006. С. 264.
7. Богатърев Н.И., Григораш О.В., Курзин Н.Н. и др. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчета и проектирования. Краснодар. 2002. С. 358.
8. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения. Краснодар. 2011. С.188.
9. Григораш О. В., Степура Ю.П., Божко С.В. и др. Автономные инверторы модуляционного типа. Краснодар. 2008. С.187.
10. Григораш О.В. Преобразователи электрической энергии на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем для систем автономного электроснабжения. Промышленная энергетика. 1997. № 7. С.21–25.
11. Григораш О.В., Кабанков Ю.А. К вопросу применения трансформаторов с вращающимся магнитным полем в составе преобразователей электроэнергии. Электротехника. 2002. № 3. С.22–26.

References

1. Grigorash O.V., Strelkov Ju.I. Netradicionnye avtonomnye istochniki jelektrojenergii. Promyshlennaja jenergetika. 2001. № 4. S.37–40.
2. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Ponomarenko A.S. i dr. Sovremennoe sostojanie proizvodstva jelektrojenergii vozobnovljaemyimi istochnikami v mire i Rossii. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. № 6. S.159–163.
3. Grigorash O.V., Kovalenko V.P., Vorob'ev E.V. Perspektivy vozobnovljaemyh istochnikov jelektrojenergii v Krasnodarskom krae. Trudy Kubanskogo gosudarstvenno-go agrarnogo universiteta. 2012. № 6. S. 123– 27.
4. Grigorash O.V., Tropin V.V., Os'kina A.S. Ob jeffektivnosti i celesoobraznosti ispol'zovanija vozobnovljaemyh istochnikov jelektrojenergii v Krasnodarskom krae. Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. №09 (083). S.506–517.
5. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Sulejmanov R.A. i dr. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii. Krasnodar. 2012. S. 272.
6. Grigorash O.V., Novokreshhenov O.V., Hamula A.A. i dr. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenergii. Krasnodar. 2006. S. 264.
7. Bogat'rev N.I., Grigorash O.V., Kurzin N.N. i dr. Preobrazovateli jelektricheskoj jenergii: osnovy teorii, rascheta i proektirovanija. Krasnodar. 2002. S. 358.
8. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija. Krasnodar. 2011. S.188.
9. Grigorash O. V., Stepura Ju.P., Bozhko S.V. i dr. Avtonomnye inventory moduljacionnogo tipa. Krasnodar. 2008. S.187.
10. Grigorash O.V. Preobrazovateli jelektricheskoj jenergii na baze transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem dlja sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija. Promyshlennaja jenergetika. 1997. № 7. S.21–25.
11. Grigorash O.V., Kabankov Ju.A. K voprosu primenenija transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem v sostave preobrazovatelej jelektrojenergii. Jelektrotehnika. 2002. № 3. S.22–26.