УДК 621.398

Б.Н.АБРАМОВИЧ, *д-р техн. наук, профессор, babramov@mail.ru*
Э.В.ЯКОВЛЕВА, *аспирантка, amilia@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

B.N.ABRAMOVICH, *Dr. in eng. sc., professor, babramov@mail.ru*
E.V.YAKOVLEVA, *post-graduate student, amilia@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining University

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

Создание фотоэлектрической станции (ФЭС) прямого преобразования мощностью 1 кВт упростит контроль и управление на объектах минерально-сырьевого комплекса. В статье рассмотрены ныне существующие на рынке фотоэлементы, подобраны наиболее подходящие для условий работы в горной и нефтедобывающей промышленностях. Представлена структура ФЭС.

***Ключевые слова*:** фотоэлектрическая станция, энергоснабжение, объекты минерально-сырьевого комплекса, фотоэлемент, вольт-амперная характеристика, мощностная характеристика.

PHOTOVOLTAIC POWER PLANT OF DIRECT CONVERSION FOR THE MINERAL RAW COMPLEXES

Designing of photovoltaic power plant of direct conversion power of 1 kW simplifies the process of performance and direction at the mineral raw complexes. This work examine existing at present day PV cells, it is selected the more suitable for the conditions of mines, open pits and oil-producing enterprise. It is presented the structure of photovoltaic power plant.

***Key words*:** photovoltaic power, energy supply, the mineral raw complexes, photocell, volt-ampere characteristic, power characteristic.

В настоящее время возникла практическая актуальность в создании фотоэлектрической станции (ФЭС) для гарантированного электроснабжения и управления предприятиями минерально-сырьевого комплекса на территории Российской Федерации. Подобные установки успешно используются в США, Канаде, многих европейских государствах. Использование фотоэлементов позволит упростить контроль и управление за различными видами работ в условиях горнодобывающей промышленности. Например, в Канаде, солнечные элементы используются для энергоснабжения системы автоматизации на нефтедобыче. На карьере «Caballo Mines» также работает передвижная система контроля и управления на солнечных батареях.

Выработка электроэнергии фотоэлектрическими преобразователями за некоторый период времени зависит от количества сол-

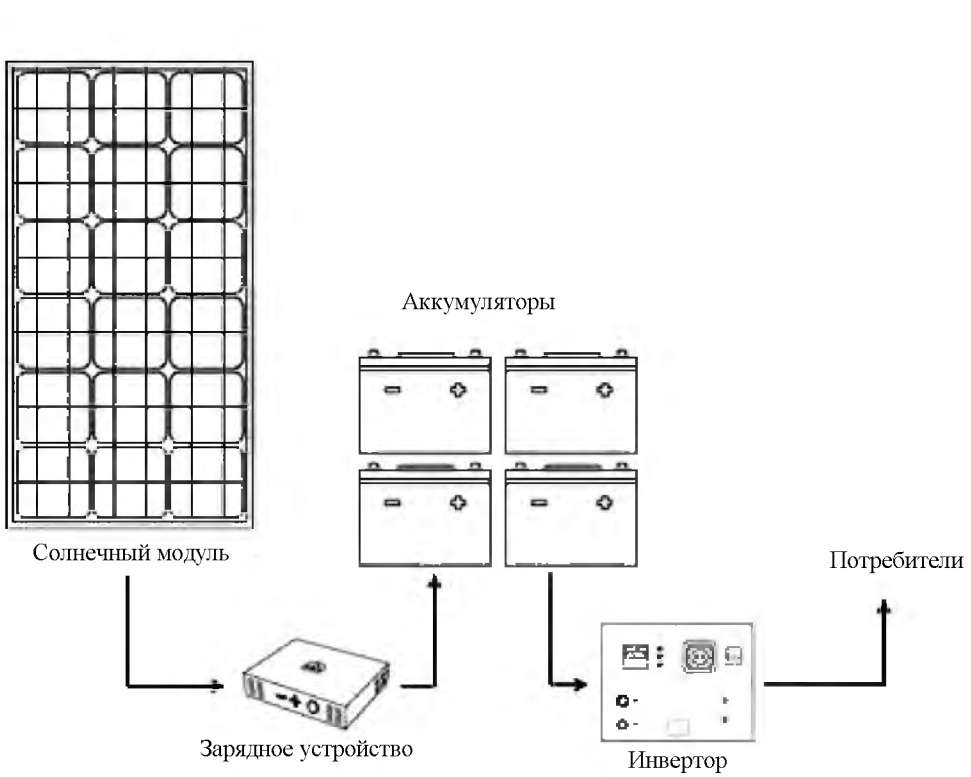


Рис.1. Структура фотоэлектрической станции

нечной энергии, поступающей за этот период времени на приемную поверхность установки, и ее технических характеристик, определяющих эффективность преобразования солнечного излучения в электроэнергию.

Так как солнечное излучение, доходящее до земной поверхности, состоит как из прямого солнечного света, так и из рассеянной солнечной радиации, необходимо учитывать, какую часть излучения использует установка. Солнечные фотоэлементы прямого преобразования используют суммарную радиацию и поэтому наиболее предпочтительны для применения на объектах минерально-сырьевого комплекса, когда работы ведутся в трудных климатических условиях.

Значение инсоляции на широте объекта в Канаде близко к значению солнечного излучения на северной части Российской Федерации и составляет в среднем 2,8 кВт·ч/м^2 в день. Это является достаточной величиной для применения данного источника энергии. При этом солнечные элементы очень хорошо переносят низкую температуру, так как им не требуется дополнительного охлаждения.

Фотоэлектрические станции могут быть использованы на территории России также в условиях карьеров, при проведении геологоразведочных работ на нефтедобыче и на газоперекачивающих станциях.

Структура предлагаемой фотоэлектрической станции (рис.1): группа солнечных модулей, состоящих из фотоэлектрических панелей, блок аккумуляторных батарей, зарядное устройство и инвертор.

Автономные фотоэлектрические установки небольшой мощности (до 1 кВт) целесообразно компоновать из неподвижных модулей, что упрощает конструкцию станции [1]. Фотоэлектрический модуль устанавливается под определенным углом к горизонту, который будет обеспечивать максимальную годовую выработку электроэнергии. Выбор оптимального угла зависит от территориального расположения объекта.

Был произведен анализ и оценка различных фотоэлектрических модулей, которые могут быть использованы в условиях горнодобывающей промышленности. В результате анализа установлено, что при пиковой мощности 120-280 Вт наиболее целесообразны модули из поликристаллического кремния компании «ET Solar ET MODULE Poly». Параметры фотоэлементов приведены в табл.1 и 2.

Таблица 1

Параметры отечественных солнечных элементов

Солнечный модуль	Пиковая мощность, Вт	U_{XX}, В	$I_{КЗ}$, А	$I_м$, А	$U_м$, В	Вес, кг	Габариты, мм	Цена, руб.
MSW120/60-12	120±3	21	8,4	7	12	11,5	1415×695×42	21 840
MSW150/75-24	150±4	42	5,3	4,4	24	17	810×1860×40	27 300
MSW160-24	160±4	42	5,4	4,7	24	18	810×1680×40	29 120
MSW175/80-24	175±4	42	5,3	4,4	24	17	810×1580×40	31 850

Таблица 2

Параметры солнечных модулей «ET MODULE Poly»

Солнечный модуль	Пиковая мощность, Вт	КПД, %	U_{XX}, В	$I_{КЗ}$, А	$I_м$, А	$U_м$, В
ET-P672280	280	14,43	43,78	7,98	7,63	36,72
ET-P672275	275	14,17	43,78	7,96	7,49	36,72
ET-P672270	270	13,92	43,63	7,90	7,42	36,40
ET-P672265	265	13,66	43,63	7,90	7,28	36,40
ET-P672260	260	13,40	43,49	7,79	7,23	36,00
ET-P672255	255	12,14	43,88	7,85	7,23	35,20

Критерием выбора солнечных элементов, помимо КПД, является большое значение тока короткого замыкания, так как $I_{кз}$ пропорционален количеству образовавшихся пар электрон-дырка при поглощении падающего излучения. При этом только фотоны, энергия активации которых превышает энергию активации атомов данного полупроводника, будут создавать пары электрон-дырка. При использовании солнечного излучения ток в замкнутой цепи будет тем больше, чем меньше энергия активации. Поэтому необходимо создать условия, при которых большая часть фотонов поглощалась бы элементом и меньшая часть отражалась от его поверхности.

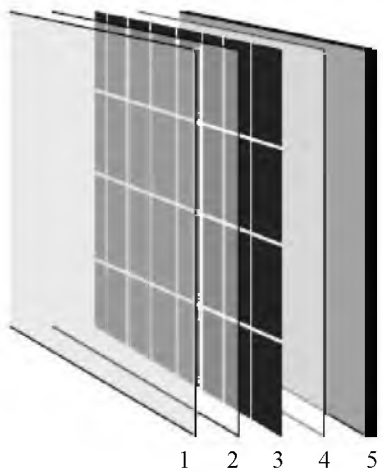


Рис.2. Структура солнечного модуля «ET MODULE Poly»

Кроме того, следует учитывать, что не вся поступившая на поверхность фотоэлемента солнечная энергия может быть эффективно преобразована в электроэнергию. Лимитирующим фактором является напряжение, которое при малой плотности потока радиации снижается ниже номинального, в результате чего невозможно обеспечить потребителя электроэнергией.*

Рассматриваемые в статье модули допустимо применять в условиях геолого-разведочных работ, на карьерах, а также в нефтяной промышленности. Панель (рис.2) включает два слоя закаленного стекла 1 с двухсторонней подложкой из этиленвинилацетата, который обладает превосходными амортизирующими свойствами 2, 4; сами солнечные фотоэлементы 3, а также трехслойный задний коллектор 5.

Поликристаллические солнечные элементы «ET 672 275 MODULE Poly» имеют обратноэкспонентоциальные вольт-амперные характеристики (рис.3).

---

* Методика и результаты расчета выработки энергии солнечными фотоэлектрическими установками / Б.В.Тарнижевский, И.А.Шмидт, Л.Д.Додонов, А.В.Мальцева, Е.С.Макаров // Энергетика. 2001. № 6. С.27-37.

The methodology and results of the calculation of power generation by solar photovoltaic plants / B.V.Tarnizhevsky, I.A.Schmidt, L.D.Dodonov, A.V.Maltsev, E.S.Makarov // Energy. 2001. N 6. P.27-37.

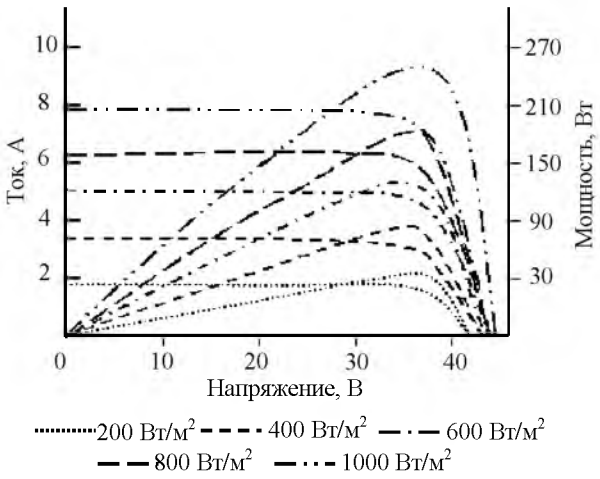


Рис.3. Вольт-амперная характеристика фотоэлемента при различной освещенности

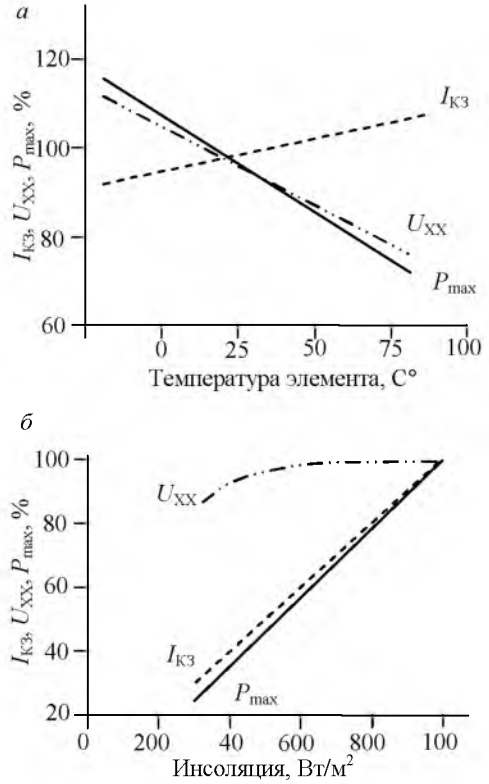


Рис.4. Зависимость тока короткого замыкания, напряжения холостого хода и максимальной мощности от температуры (*а*) и освещенности (*б*) элемента

Мощностные характеристики элемента очень сильно зависят от освещенности. Уменьшение солнечного потока с 1000 до 200 Вт/м^2 уменьшает выходную мощность на 80 %. Следует заметить, что напряжение холостого хода модуля слабо зависит от освещенности, в то время как ток короткого замыкания, а соответственно и рабочий ток, прямо порциональны освещенности. На промежутке от 0 до 25 В значение тока постоянно, в дальнейшем при увеличении напряжения величина тока уменьшается и падает до нуля при напряжении 40-45 В, в зависимости от освещенности фотоэлемента.

Максимальная, или пиковая мощность соответствует рабочему напряжению 36, 72 В при освещенности 1000 Вт/м^2.

На рис.4, *а* показана линейная зависимость тока короткого замыкания от температуры ячеек модуля. С ростом температуры от 0 до 87,5 °С значение тока возрастает на 7 % от номинального значения. При понижении температуры до – 2,5 °С падает на 7 %. Значение напряжения холостого хода и максимальной мощности обратно пропорционально росту температуры и может уменьшиться на 25 и 27 % соответственно. При понижении температуры значение напряжения и мощности увеличивается. Температурный коэффициент тока короткого замыкания является положительной величиной и составляет 0,065 % / °С, напряжения холостого хода U_{XX} и максимальной мощности P_{max} – отрицательные величины 0,346 % / °С и 0,46 % / °С соответственно.

На рис.4, *б* представлены зависимости тока короткого замыкания, напряжения холостого хода и максимальной мощности фотоэлемента от инсоляции. Ток короткого замыкания и максимальная мощность имеют линейные зависимости от величины солнечного излучения. Максимальные значения мощности, напряжения и тока достигаются при значении солнечного потока 1000 Вт/м^2. При этом инсоляции на 700 Вт/м^2 значения $I_{кз}$ и мощности падают в среднем на 70 %. В то время как напряжение холостого хода зависит от освещенности в меньшей степени и практически не изменяется.

Таким образом, использование солнечной энергии посредством прямого преобразования излучения в электричество позволит упростить управление на объектах минерально-сырьевого комплекса. Передвижные системы, работающие на солнечных фотоэлементах, могут отслеживать технологический процесс на карьере, контролировать передвижение техники.