

УДК 620.92

**И.А. Мальцев**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПЕРМСКОГО КРАЯ (РАЙОН УСТЬ-ЧЕРНАЯ)**

Данная статья посвящена солнечной и ветряной энергетике, рассмотрен проект автономной системы электроснабжения для индивидуальных потребителей.

**Ключевые слова:** эскизный проект, автономная система, электроснабжение, ветрогенератор, фотоэлектрический модуль, аккумуляторная батарея, солнечная инсоляция, скорость ветра.

**I.A. Maltsev**

Perm national research polytechnic university, Perm

## **AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM FOR INDIVIDUAL CONSUMERS IN THE NORTH-WESTERN PART OF THE PERM REGION (UST-CHERNAYA DISTRICT)**

This article is devoted to solar and wind power, the project of an Autonomous power supply system for individual consumers is considered.

**Keywords:** preliminary design, autonomous system, electrosupply, wind turbine, photovoltaic module, rechargeable battery, solar insolation, wind speed.

Проект автономной системы электроснабжения для индивидуальных потребителей северно-западной части пермского края (район Усть-Черной) с потребляемой суммарной энергией в неделю 600 кВт\*ч, следовательно, в день это 85,7 (кВт\*ч), в час 3,7 (кВт\*ч).

В проекте обоснован выбор всех устройств, составлена схема электроснабжения, определена стоимость основного оборудования. В работе учтен вопрос импортозамещения и невозможность подключения к общей сети электроснабжения. Рассчитываемая система будет полностью автономной.

Среднее значение скорости ветра за 2019 год в районе Усть-Черная, равняется 3.275 (м/с) [1]. Эта информация нужна для выбора нашего ветрогенератора. Комплект выбранного оборудования должен обеспечивать нормальное электроснабжение круглый год, т.к. для района Усть-Черной характерно низкое значение скорости ветра, следовательно необходимо выбрать ветроустановку малой мощности. Для работы в соответствующих условиях был выбран ветрогенератор компании *EDS Group* вертикально-осевого исполнения – *Sokol Air Vertical 5кВт*. Характеристики выбранной ветроустановки приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристики ветроустановки:

Наименование	Sokol Air Vertical 5кВт
Страна, фирма-производитель	Россия, EDS-Grup
Диаметр ветроколеса (м)	3,7
Максимальная мощность кВт	5.15
Высота лопасти м	4.
Номинальное число оборотов (об/мин)	90-95
Стартовая скорость ветра (м/с)	1,6-2
Номинальная мощность кВт	5
Номинальная скорость ветра (м/с)	7,5

При скорости ветра 3,275 (м/с) ветрогенератор, согласно источнику [2], вырабатывает 2,3 кВт, следовательно среднее значение вырабатываемой энергии в сутки составит 55,2 кВт\*ч, оставшиеся 30.5 кВт\*ч энергии будут вырабатываться при использовании солнечной энергии.

Производим расчет солнечной электростанции. Средние месячные значения инсоляции на поверхности земли в день с оптимальным углом наклона в 48° составляет 3.114 кВт/м<sup>2</sup> [1], продемонстрировано на рисунке 1. В связи с тем, что в районе Усть-Черная преобладают пасмурные дни (≈190 дней в год), выбор сделан в пользу фотоэлектрических модулей на основе мультикристаллического кремния, так как данная структура лучше преобразовывает рассеянный свет и имеет более низкую стоимость.

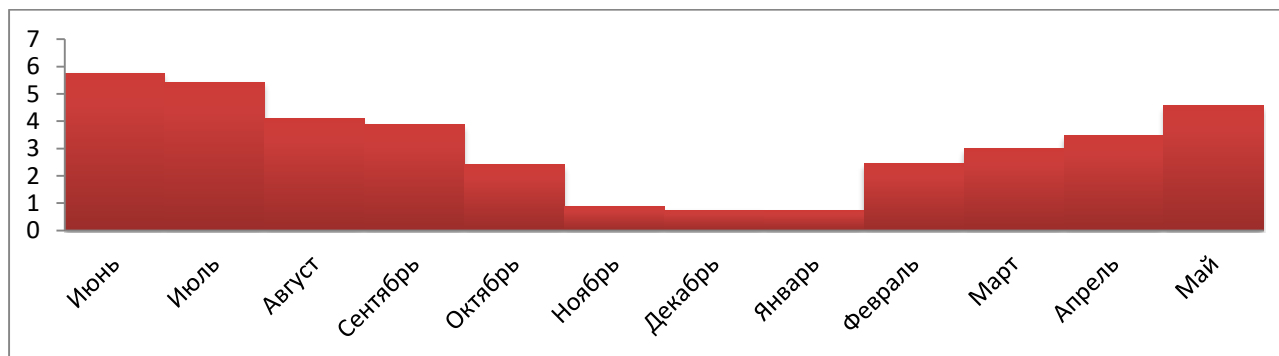


Рисунок 1 – Среднее годовое значение солнечной инсоляции кВт/м<sup>2</sup> в районе Усть-Черная

Технические характеристики выбранных фотоэлектрических модулей ТСМ-250В приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Характеристика панелей

Модель	Фирма, страна	$\eta$ (%)	P (Вт)	$U_{max}$ , (В)	$U_{xx}$ , (В)	$I_{max}$ , (А)	Мак. $P_{max}$ кВт	Габариты [В×Г×Ш], мм
ТСМ-250В	ТЕЛЕКОМ-СТВ, Россия	20	240	34	42	7,3	0.25	1633x996x40

Комплект выбранного оборудования должен обеспечивать нормальное электроснабжение круглый год. Расчет количества солнечных модулей будем производить для 2 последовательно соединенных модулей образующий одну линейку по формулам (1–5) основываясь на источнике [4].

1) Вычисляем площадь активной части:

$$1633 * 996 = 1.63 \text{ м}^2 \quad (1)$$

2) Вычисляем возможную получаемую энергию за день:

$$3,114 * 0.2 = 0.623 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2} \quad (2)$$

3) Площадь для 2 последовательно соединенным модулям:

$$1.63 * 2 = 3.26 \text{ м}^2 \quad (3)$$

4) Максимально возможная получаемая энергия в день с линейки:

$$0.623 * 3.26 = 2.031 \text{ (кВт * ч)} \quad (4)$$

5) Расчет необходимого числа фотоэлектрических модулей с учетом вырабатываемой энергией ветрогенератора:

$$\frac{30.5}{2.031} * 2 = 30 \quad (5)$$

Производим выбор солнечного контроллера заряда АКБ. Использование АКБ общим напряжением в 48 вольт, позволит добиться снижения потерь на преобразование электроэнергии в контроллере заряда, а также уберет необходимость использовать провода большого сечения. Рассчитываем емкость аккумулятора, с учетом работы от АКБ в течение 8 часов

$$Q = \frac{(P \cdot t)}{V \cdot k} = \frac{(5000 \cdot 8)}{48 \cdot 0.7} = 1.2 \text{ кА * ч} \quad (6)$$

Где Q – необходимая емкость аккумулятора, А·ч; P – имеющаяся нагрузка, Вт; V – напряжение каждой аккумуляторной батареи, В; t – время резервирования, ч; k – коэффициент использования емкости аккумуляторов

В качестве АКБ выбраны панцирные батареи 2В 720А\*ч, фирмы «МикроАРТ» с рекуператорами водорода, которые позволяют увеличить интервал обслуживания АКБ до 6 лет. Для покрытия необходимого объема запасаемой энергии нужно последовательно соединить два блока из 24 АКБ. В итоге получится АКБ с характеристиками 48 В, 1440 А\*ч, суммарная емкость АКБ больше необходимой, что создаст резервный запас емкости.

Выбор контроллера заряда, выбор пал на солнечный контроллер КЭС PRO MPPT 200/60. Контроллеры MPPT находят и отслеживают точку максимальной мощности солнечной батареи и используют всю доступную мощность путем широтно-импульсного преобразования при всех режимах заряда. Таким образом, использование MPPT контроллера позволяет увеличить количество используемой солнечной энергии от одной и той же батареи на 10-30% в зависимости от глубины разряда аккумулятора.

Для обеспечения объекта необходимой мощностью электроэнергии был выбран следующий инвертор: «МикроАРТ» МАИ DOMINATOR 48В (Россия)

Для резервирования энергии и для обеспечения автономной работы необходимо использование дизельного или бензинового генератора. В качестве генератора выбрана модель - бензиновой электростанции Fubag BS 7500 A ES,.

Выпускается в комплектации с разъемом для автоматики и выносным блоком Starmaster для автоматического запуска генератора в случае аварийной ситуации, восстанавливая электроснабжение

Для возможности зарядки АКБ необходимо выпрямить переменный ток, идущий от резервного генератора, для этого был выбран блок питания ИПС-1500-220/48В-30А.

Система удаленного мониторинга может быть построена на базе современного одноплатного компьютера «Малина» v4 на базе Raspberry Pi 4 (1 ГБ). В качестве программного обеспечения используется ПО Монитор МАП-КЭС-АКБ для ОС Linux с открытым исходным кодом. Функционально ПО абсолютно аналогично ПАК "Малина" Данные программа снимает непосредственно с МАП. Распространяется на основе лицензии GNU GPL. Схема автономной системы энергоснабжения приведена на рисунке 2.

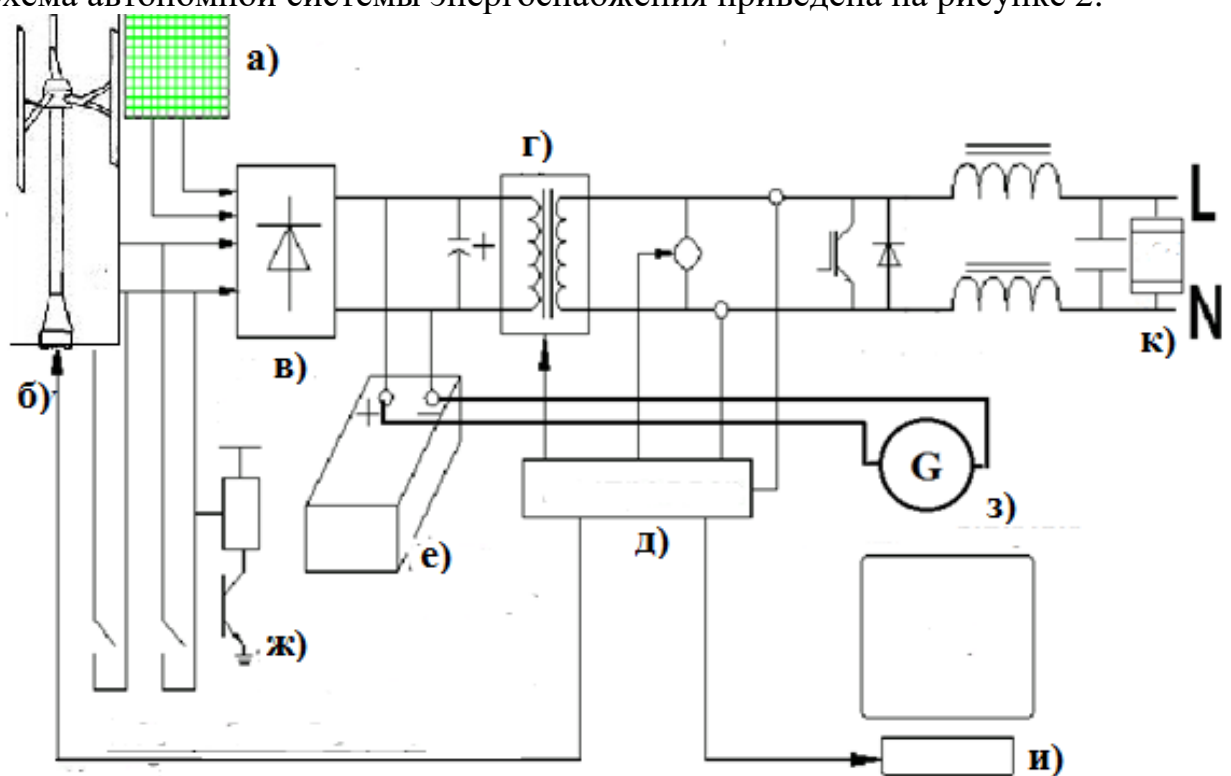


Рисунок 2 – Схема электроснабжения объекта: а) фотоэлектрический модуль, б) горизонтальная ветряная установка, в) выпрямитель, г) инвертор, д) контроллер, е) аккумуляторная батарея, ж) защита от перенапряжения, з) дизельный генератор, и) пульт автоматического управления, к) устройство защиты от импульсных напряжений

Все использованное оборудование было выбрано от Российских производителей с целью импортозамещения. В таблице 3 приведена итоговая стоимость системы автономного электроснабжения.

Таблица 3 – Расчет стоимости оборудования с учетом импортозамещения

Наименование	Цена, руб.	Кол-во, шт.	Стоимость, руб
Вертикально-осевой ветрогенератор Sokol Air Vertical 5кВт	355000	1	355000

Фотоэлектрический модуль TSM-250B	23940	30	718000
Аккумулятор тяговый панцирный 2 (В) 720 (А*ч) ООО «МикроАРТ»	12300	48	590400
ПЖ 165 (195) - для соединения между собой 720 А*ч	980	26	25480
Электролит особо чистый	610	44	26840
Контроллер КЭС PRO MPPT 200/60	36500	1	36500
Коннекторы типа MC4	150	546	81900
Коннекторы типа MC4Y	600	134	80400
Стойки для солнечных батарей	5062	15	75930
ПЖ 225 (255) - для поворота АКБ 720 Ач,	1350	3	4050
Ручной насос для перекачки электролита	850	1	850
9 кВт DOMINATOR (инвертор)	128900	1	128900
Генератор Fubag BS 7500 A ES	95520	1	95520
Выпрямитель ИПС-1500-220/48В-30А	48000	1	48000
Система удаленного мониторинга Raspberry Pi 4 (1 ГБ).	6790	1	6790
Итого, руб:	<b>1955060</b>		

Технические характеристики автономной системы электроснабжения:

1. Максимальная мощность одновременно включенных приборов до 9 (кВт);
2. Время работы системы от полностью заряженных аккумуляторов на максимальной мощности, более 8 часов. При включенном резервном генераторе до 17 часов без подпитки от альтернативных источников питания;
3. Срок службы аккумуляторов АКБ «МикроАРТ» в условиях автономии не менее 10 лет при правильной эксплуатации (или 1500 циклов 80% разрядов), или 15 - 17 лет при резервном питании;
4. Срок службы фотоэлектрических модулей составляет не менее 20 лет;
5. Система удаленного мониторинга на основе Raspberry Pi 4 (1 ГБ), имеет 28 разъемов программируемой шины GPIO с помощью которой возможно снимать дополнительные параметры системы или использовать как контроллер системы умный дом.

В заключении, можно отметить следующее, польза данного проекта заключается в возможности перехода на альтернативные источники энергии практически в любом субъекте Пермского края, а так же за его пределами. По данному алгоритму можно рассчитать объект и время его окупаемости для

определенного региона. Данный расчет проекта автоматической системы электроснабжения способен поддерживать круглогодично потребителя находящегося удаленно от ЛЭП, использование возобновляемых источников энергии позитивно отражается на состоянии окружающей среды, а так же достаточно выгоден с экономической точки зрения.

### **Список литературы**

1. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources [Электронный ресурс]. URL: <https://power.larc.nasa.gov/> (Дата обращения 10.11.2020).
2. Energy альтернативная энергетика. Как рассчитать количество солнечной энергии в регионе. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.betaenergy.ru/insolation//> (Дата обращения 10.11.2020).
3. Телеком-СТВ розничные цены на солнечные модули. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.telstv.ru/?page=ru\\_solar\\_modules](http://www.telstv.ru/?page=ru_solar_modules) (Дата обращения 7.11.2020).
4. Любимов Э.В. Учебные материалы к дисциплине системы управления энергоресурсами. – 2015.

### **Сведения об авторах**

**Мальцев Илья Анатольевич** – Магистрант кафедры «Электроэнергетика и электротехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭМ-19-1м, г. Пермь, e-mail: malcevia18.08.1997@mail.ru

### **About the authors**

**Ilya Maltsev** – master's Student of the Department of electric power and electrical engineering of the Perm national research Polytechnic University, EM-19-1m, Perm, e-mail: malcevia18.08.1997@mail.ru