электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Элементы солнечных электростанций

 # 04, апрель 2014
УДК: 620.91

автор: Карлащук В. И.
wkarl@yandex.ru
Российский университет дружбы народов

1. Введение

Одной из фундаментальных проблем человечества является энергетическая, которая в настоящее время решается в основном за счет угля, нефти и газа. По данным [1] при современном уровне добычи разведанных запасов угля хватит на 400 лет, нефти на 42 года и газа на 61 год. В связи с этим во всем мире интенсивно ведутся исследования по оценке ресурсов альтернативных энергоносителей: торфа, горючих сланцев, природных битумов, газов угленосных отложений, водорастворённых газов, нефти и газов в породах с низкой проницаемостью, гидратов углеводородных газов, геотермальной энергии, энергии солнца, ветра, океана, био- и водородной энергии, энергии силикатов и др.

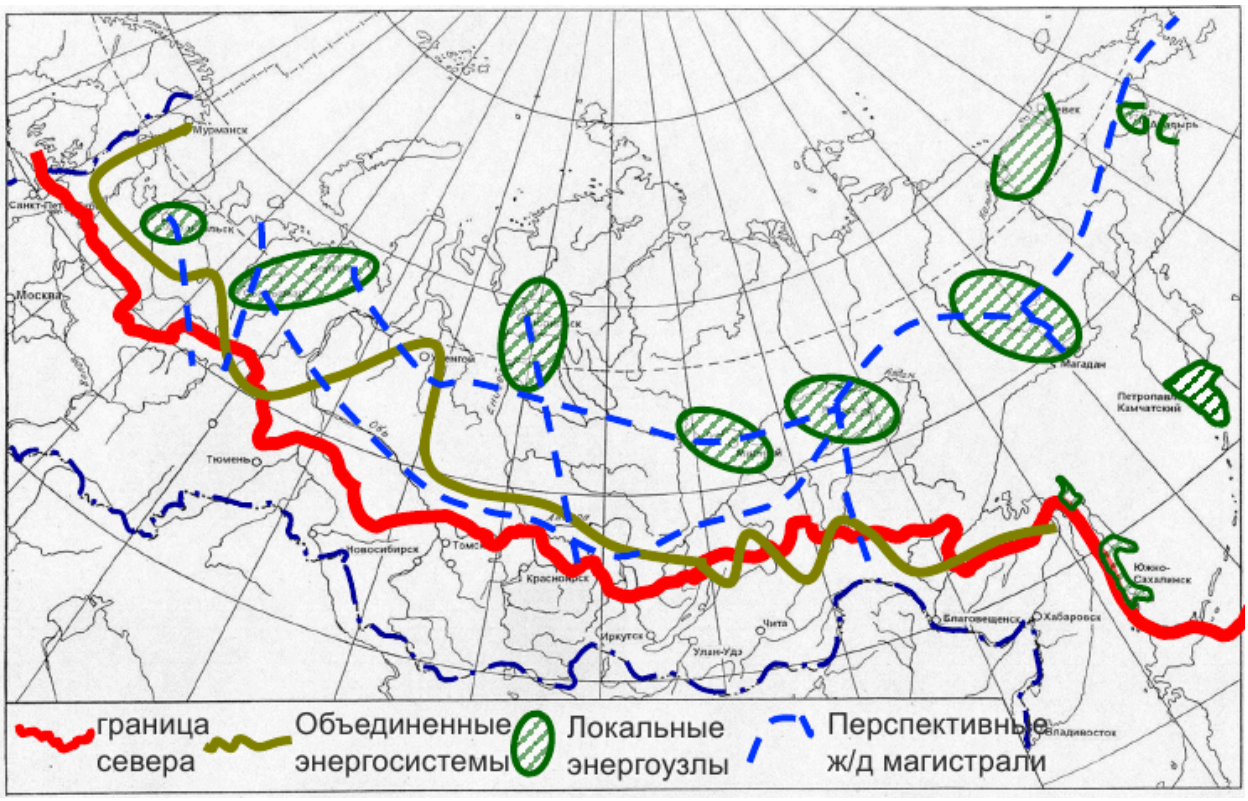


Рис. 1. Зонирование территории России по степени централизации электроснабжения

Дополнительной головной болью России является ее обширная территория, 60% которой с населением в 20 млн. человек лишены централизованного электроснабжения (рис. 1 [2]), а также непрерывно растущая дороговизна топлива и трудности его доставки в отдаленные районы страны для локальных энергоузлов. Так, по данным [2] цена котельно-печного топлива для этих районов составляет 3…6 тыс. руб./т условного топлива (1 тонна

условного топлива (ТУТ) = $7 \cdot 10^3$ кВт·час), дизельного топлива — 32…38 тыс. руб./т. При этом себестоимость производства электроэнергии составляет 18…25 руб./кВт·час, тепла — 4…5 тыс. руб./Гкал при тарифах для населения на электроэнергию 2,5…3,5 руб./кВт, на тепло — 0,5…2 тыс.руб./Гкал. В результате так называемые субвенции на выравнивание тарифов (северный завоз) составляют 50 млрд.руб./год при среднем тарифе для населения России на электроэнергию 1…2 руб./кВт.

В докладе [2] приводится карта размещения энергоисточников малой мощности на востоке России (рис. 2), на которой обозначено:

ТЭЦ — теплоэлектроцентрали;

ДЭС — дизельная электростанции;

ГЭС — гидроэлектростанции;

ВЭС — ветроэлектростанции;

ГэоТЭС — геотермальная электростанции;

ФЭП — электростанции с использованием фотоэлектрических преобразователей (чаще используется аббревиатура СЭС — солнечные электростанции).

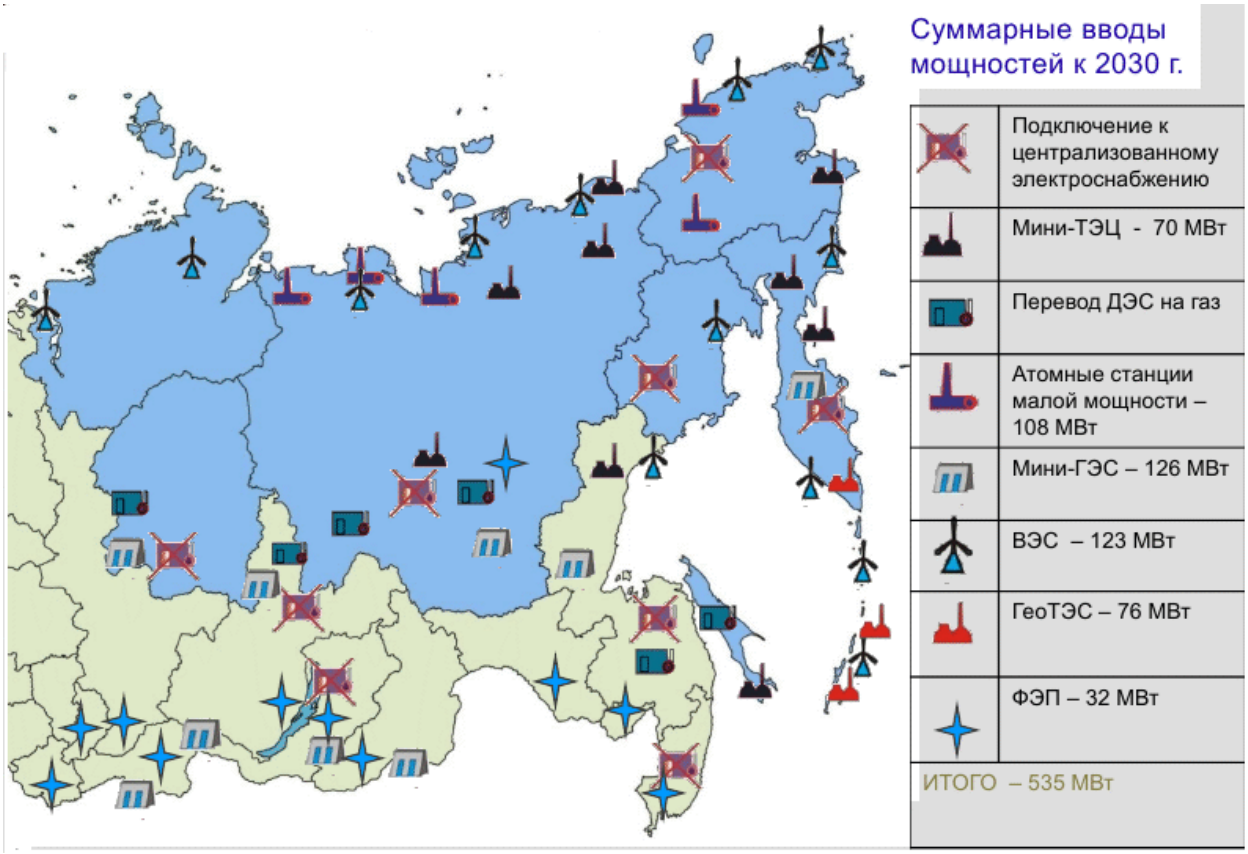


Рис. 2. Карта перспективного размещения энергоисточников малой мощности на востоке России

Из рис. 2. видно, что ожидаемая доля ФЭП в локальном энергообеспечении составит пока всего 5,5 %. И неудивительно, поскольку еще недавно о широком применении ФЭП вообще речи не было.

При выборе места под СЭС основным фактором является продолжительность солнечного сияния на данной территории или инсоляция (in-sol, in — внутрь, solis — солнце) — облучение горизонтальных поверхностей солнечным светом (солнечной радиацией). Кар-

та инсоляции России показана на рис. 3, из которой видно, что размещение СЭС на рис. 2 находится в хорошем согласии с территориальной инсоляцией.

Приведём некоторые результаты применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на востоке России по данным заметки Дмитрия Романова. «Солнце, ветер и вода» (Аргументы и факты, №50, 2013 (www.aif.ru)). Это рабочие СЭС в посёлках Батамай, Ючюгей, Дулгалах и Куду-Кюель (Якутия) суммарной мощностью 90 кВт. Начато строительство СЭС мощностью 4 МВт в якутском посёлке Батагай (Заполярье) со сроком окончания работ в 2014-2015 годах. Всего к 2016 году предполагается построить СЭС общей мощностью 42 МВт.

Рис.3. Ресурсы солнечной энергетики России

На сайте http://www.solbat.su/meteorology/insolation/ опубликованы в табличном виде среднестатистические данные по инсоляции территории России и бывшего СССР с градацией по месяцам и в зависимости от ориентации светоприемника в пространстве. В качестве примера в табл. 1 для нескольких городов приведена дневная сумма солнечной радиации по месяцам на горизонтальную площадку в кВт·ч/м^2.

Таблица 1

Город	Янв	Фев	Март	Апр	Май	Июнь	Июль	Авг	Сент	Окт	Нояб	Дек	За год
С.-Петербург	0,35	1,08	2,36	3,98	5,46	5,78	5,61	4,31	2,6	1,23	0,5	0,2	2,8
Москва	0,5	0,94	2,63	3,07	4,69	5,44	5,51	4,26	2,34	1,08	0,56	0,36	2,63
Казань	0,68	1,44	2,82	4,29	5,52	5,93	5,72	4,49	2,86	1,51	0,83	0,54	3,06
Ростов-на-Дону	1,27	2,09	2,98	4,09	5,53	5,76	5,86	5,17	3,85	2,38	1,31	1	3,45
Нижн. Новгород	0,64	1,45	2,75	3,95	5,34	5,6	5,5	4,27	2,69	1,45	0,75	0,45	2,91
Екатеринбург	0,64	1,5	2,94	4,11	5,11	5,72	5,22	4,06	2,56	1,36	0,72	0,44	2,87
Новосибирск	0,69	1,37	3,02	4,08	5,05	5,48	5,01	4,29	2,93	1,44	0,8	0,62	2,91
Хабаровск	1,64	2,72	4,11	4,61	5,39	5,86	5,42	4,53	3,81	2,56	1,72	1,28	3,64
Ереван	2,04	2,91	3,85	4,69	5,68	6,76	6,75	6,04	4,96	3,53	2,31	1,71	4,28

Развитию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) во всем мире уделяется большое внимание. Например, согласно принятой в Германии правительственной программе планируется довести долю ВИЭ в общем объеме производимой энергии до 20% к 2025 году. Академик Жорес Алфёров еще более 20 лет назад заявлял, что будь в распоряжении фотоэлектричества хотя бы 15-20 % затрат на «мирный атом», то в России Солнце давало бы более ощутимую часть электроэнергии.

На территории бывшего СССР первой крупной солнечной электростанцией была Крымская мощностью 5МВт. Она была и построена в 1985 году, но, проработав 10 лет, была закрыта в смутное постперестроечное время и разворована. На Западе и Востоке СЭС растут как грибы. Там установка солнечных батарей из некоторого правила хорошего тона переросла в глобальную программу с господдержкой. Зачинщиком стала Германия с её программой «1000 солнечных крыш». К ней присоединились все члены ЕС, затем Япония, США и даже Монголия. В итоге лидером традиционно стали США с их программой «1000000 солнечных крыш».

В перечисленных странах был принят закон о «зеленом тарифе», при котором излишки «солнечного» электричества через отдельный счетчик продаются в централизованную сеть по повышенной цене (в Германии — в 3-4 раза). При этом часть расходов на оборудование компенсируется государством, а «солнечный» энергетик получает налоговые льготы. В результате даже немецкие фермеры стали зарабатывать на солнечном электричестве и на карте Германии появились целые поселки с преимущественно «фотоэлектрическим» бюджетом на базе сравнительно дешевых ФЭП китайского производства. Постепенно это увлечение привело к тому, что значительную часть европейского рынка при поддержке правительства Китая захватили его производители. К настоящему времени доля Китая в отрасли достигла 60% и продолжает расти (см. рис. 4; данные с сайта http://www.solbat.su/helio/)

Рис. 4. Состояние рынка фотоэлектрического оборудования

Помощь Китая своим производителям в организации демпинга оценивается экспертами в 140-150 млрд. долларов. Большинство европейских производителей объявили о банкротстве или стали испытывать серьезные финансовые проблемы. То, что это был организованный демпинг (продажа солнечных модулей дешевле себестоимости (порой на 40-50% ниже немецких аналогов) за счет господдержки Китая) уже заявила специальная европейская комиссия. С 6 марта 2013 года все солнечные панели (СП) из Поднебесной облагаются серьезной пошлиной. И не только СП, но и все материалы для их производства. Дошло до того, что китайских студентов, обучающихся в Германии, перестали допускать

на производственную практику: столь высок уровень промышленного шпионажа. Американцы опомнились раньше и своевременно ввели заградительную пошлину на китайские СП.

С определенными поправками принятие «зеленого тарифа» планируется и в России. В Украине и Белоруссии он уже принят. В Украине построена крупнейшая в мире СЭС мощностью 100 МВт. Она занимает площадь 200 гектаров и способна генерировать в год не менее 130000 МВт·час электроэнергии. До этого крупнейшей была СЭС в Канаде мощностью 97 МВт. За ними следуют несколько германских и итальянских проектов, затем еще один украинский. По суммарной мощности СЭС бесспорным лидером является Германия (672 МВт), за ней Италия (316 МВт) и Испания (264 МВт).

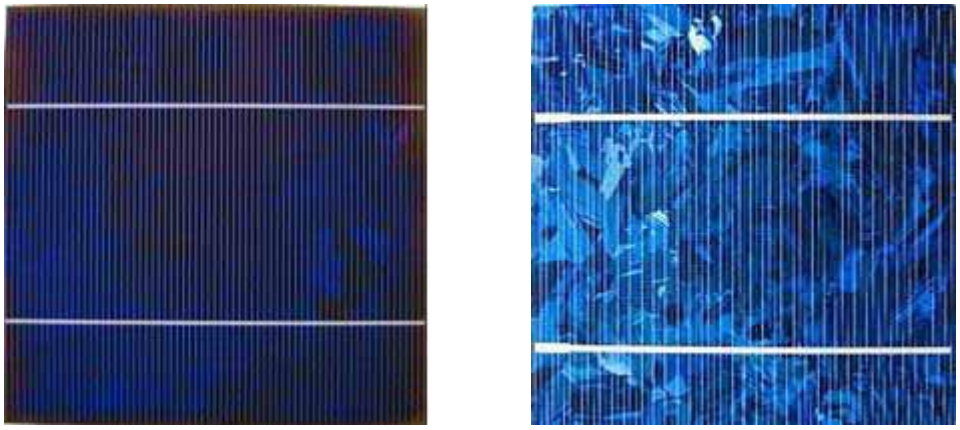
2. Анализ состояние рынка элементов СЭС

В состав солнечной электростанции входят (рис. 5) солнечные модули, аккумуляторные батареи (АКБ) с контроллерами их заряда/разряда и инверторы. Если преимущественным потребителем являются низковольтные устройства постоянного тока (например, автомобильный холодильник, портативные телевизоры и радиоприемники, светодиодные лампы и т. п.), то в такой СЭС можно обойтись и без инверторов.

Рис. 5. Состав локальной СЭС

Рассмотрим состояние разработки и рынка элементов СЭС, ориентируясь на материалы опубликованных работ и интернет-ресурсов, в частности, сайтов http://www.solbat.su/, http://www.solnechnye.ru/, http://www.solarhome.ru/, http://www. invertory.ru/ и др.

Солнечные модули собираются из отдельных фотоэлементов из кремния (Si) и арсенид галлия (GaAs). Кремниевые фотоэлементы более дешевые, но обладают меньшим КПД (18-22%), тогда как для более дорогих арсенид галлиевых он достигает 38%. Однако из-за дороговизны они применяются преимущественно в космической технике.



а) б)

Рис. 6. Кремниевые фотоэлементы

Для массового производства кремниевых фотоэлементов используют монокристаллический (рис. 6, *а*) и поликристаллический (рис. 6, *б*) кремний. Монокристаллические элементы и модули производятся из сырья высокой степени очистки (99,999%) и имеют наивысшую эффективность — до 22%, тогда как поликристаллические — до 18% из-за того, что при их производстве используется не только кремний высокой степени очистки, но и вторичное сырье, в частности, переработанные солнечные элементы или кремниевые отходы металлургической промышленности. Поэтому поликристаллические модули несколько (в среднем на 10%) дешевле монокристаллических. По данным европейской ассоциации EPIA в 2010 году производство поликристаллических модулей составило 52,9%, монокристаллических — 33,2% и 13,9% — аморфных и др.

Из-за дефицита так называемого солнечного кремния толщина пластин фотоэлементов вместо прежней 350-500 мкм уменьшена до 180-200 мкм. Для сохранения прочностных характеристик фотоэлементов во время сборки солнечных модулей была изменена и ориентация кристаллов кремния: вместо прямоугольной ориентации 100 была использована диагональная ориентация 111, признаком которой является тот факт, что при разрушении пластины она неизменно ломается по диагонали. Это свойство не позволяет элементу трескаться вдоль токосъемной дорожки (светлые линии на рис. 6) при соединении пайкой отдельных элементов в модуле.

Уместно напомнить любителям собирать собственные модули, что при пайке фотоэлементов они предварительно должны быть нагреты до температуры 60-70°С, иначе возможно образование микротрещин, которые проявляются сразу или позже при ламинировании (покрытии поверхности модуля защитным слоем пленки).

Количество фотоэлементов в модуле равно 36 шт для 12-вольтового модуля и 72 шт — для 24-вольтового. Габаритными размерами стандартных солнечных фотоэлементов, принятыми производителями всего мира, в настоящее время являются 103×103, 125×125 и 156×156 мм. Для производства маломощных солнечных модулей стандартные фотоэлементы лазером режутся на доли 1:2, 1:3 , 1:4 и 1:6 от исходного размера (ранее для пластин с ориентацией 100 применялась скрайберная резка (надрезание с последующим разламыванием)).

Кроме размера, фотоэлементы отличаются по форме. Из-за того, что исходный монокремний имеет форму цилиндра и кремниевые пластины после резки имеют круглую форму, неудобную для сборки и малоэффективную по используемой площади модуля, пластины обрезают, в результате чего получается форма псевдоквадрата при максимальном стандартном размере фотоэлемента или просто квадрата (или прямоугольника) при дольных размерах.

Для определения электрических параметров солнечных модулей (и отдельных фотоэлементов) используются общепринятые условия тестирования и паспортизации STC (Standart Test Condition):

— температура поверхности солнечного элемента (или модуля) 25°С;

— освещенность 1000 Вт/м^2;

— спектр излучения AM 1,5 (солнечный спектр на географической широте 45°).

К электрическим параметрам солнечных элементов, полученных при STC-условиях, относятся:

Uн — номинальное напряжение, В; формальный параметр, определяемый номинальным напряжением используемого аккумулятора (6 В, 12 В, 24 В, 48 В и т. д.);

Uxx — напряжение холостого хода (при отключенной нагрузке), В;

Iкз — ток короткого замыкания, А;

Up — напряжение максимальной мощности, В; напряжение, при котором отдаваемая фотоэлементом или солнечным модулем мощность достигает максимума;

Ip — рабочий ток при напряжении максимальной мощности, А;

Wp = Up·Ip — максимальная мощность, Вт.

Параметры одиночных фотоэлементов, выпускаемых краснодарской компанией SOLBAT (http://www.solbat.su/), приведены в табл. 2.

Таблица 2

РАЗМЕР,мм	ФОРМА	Uxx, В	Iкз, А	Up, В	Ip, А	Wp, Вт	ЦЕНА (руб)
125*125	псевдоквадрат	0,595	5,31	0,470	4,71-5,11	2,21-2,41	180-200
62,5*62,5	1/4 от 125x125	0,595	1,35	0,470	1,05-1,30	0,55-0,60	50-55
125*62,5	1/2 от 125x125	0,595	2,65	0,470	2,10-2,65	1,10-1,20	95-110
103*103	псевдоквадрат	0,595	3,65	0,470	3,20-3.55	1,50-1,65	125-140
51,5*51,5	1/4 от 103x103	0,595	0,91	0,470	0,80-0,90	0,35-0,41	35-40
103*51,5	1/2 от 103x103	0,595	1,82	0,470	1,60-1,80	0,70-0,82	65-75

Кроме фотоэлементов, компанией SOLBAT выпускаются:

1. Модули солнечные каркасные (серия МСК) в виде пакетной конструкции из высокопрочного закаленного текстурированного стекла 2 (рис. 7), загерметизированных с обеих сторон этилвинилацетатной пленкой (ЭВА) 3, фотоэлементов 4, дополнительно заламинированных с тыльной стороны полиэтилентерефталатной пленкой (ПЭТ) 5. Пакет окантован алюминиевым анодированным профилем 6 с использованием герметика 1. На тыльной стороне находится коробка с электрическими контактами для подключения соединительных кабелей или (опционально) специальных разъемов MC4 или MC3. Текстурированная поверхность стекла снижает потери, вызванные отражением при падении светового потока под острыми углами.

Рис. 7. Элементы конструкции МСК- модулей

МСК мощностью более 60 Вт снабжаются шунтирующими (баррирующими) диодами для предотвращения выхода из строя модулей при их параллельном включении и снижения потерь при частичном затенении отдельных модулей. Такие диоды размещаются в соединительной коробке и подключаются к выводу из средней части схемы солнечного модуля. В системах мощностью более 1 кВт они закорачивают затененную часть солнечного модуля для предотвращения выхода его из строя.

Параметры модулей МСК и модулей других производителей приведены в табл. 3, из которой видно, что по привлекательности цены лидирует магазин invertory.ru. Хотелось бы верить, что это достигается за счет повышенного товарооборота.

2. Модуль солнечный бескаркасный (серия МСБ) также ламинируются пленкой ЭВА и может иметь подложку из диэлектрика (например стеклотекстолита) или пленки ПЭТ, ко-

торая используется также и для защиты лицевой поверхности модуля. Преимуществом модулей МСБ является малый вес, компактность и некритичность к незначительным изгибам, однако условия их эксплуатации по сравнению с МСК должны быть более щадящими. Выпускаемые изделия серии МСБ: МСБ-20 (20Вт/12В), МСБ-15 (15Вт/12В) и

МСБ-6 (6Вт/6В), а также малыми партиями — раскладные солнечные модули на их основе.

Таблица 3

Модель	Размер, мм	Uн, В	Uxx, В	Iкз, А	Up, В	Ip, А	Wp, Вт	Вес, кг	Стекло	Цена, руб.
МСК-15 Exmork CHN15[2]	285x425x28 290x450x20 435x290x17	12 12 12	22,1 21,5 21,6	0,92 0,92 0,92	18 17,5 17,2	0,83 0,86 0,87	15 15 15	1,9 1,5 1,5	Закаленное Бельгия -	2000 1150 1650
МСК-20 Exmork CHN20[2]	425x425x28 360x510x20 530x350x30	12 12 12	22,1 21,5 21,99	1,30 1,23 1,25	18 17,5 17,2	1,22 1,14 1,16	20 20 20	2,7 2,25 2,4	Закаленное Бельгия -	2500 1450 1960
МСК-24	425x555x28	12	22,1	1,75	18	1,33	24	3,4	закаленное	2800
МСК-30 Exmork CHN30[2]	425x555x28 450x550x25 520x520x30	12 12 12	22,1 21,5 22	1,80 1,84 1,87	18 17,5 17,2	1,67 1,71 1,74	30 30 30	3,4 3,03 3,4	Закаленное Бельгия -	3500 1600 2790
МСК-40 Exmork MSV40[1] TCM40[1] CHN40[2]	535x615x28 550x580x25 530x620x28 620x540x43 670x530x30	12 12 12 12 12	22,1 22 21 21 22	2,75 2,46 2,8 - 2,5	18 17,5 17 17 17,2	2,50 2,29 2,35 2,25 2,33	45 40 40 40 40	4.0 3,9 5 3.5 4,4	Закаленное Бельгия Закаленное Закаленное -	4000 2300 5100 4600 3720
МСК-60 Exmork	550x810x28 550x840x30	12 12	22,1 22	3,55 3,69	18 17,5	3,33 3,43	60 60	5,5 6	Закаленное Бельгия	4800 3300
МСК-95 PT-95[1]	550x1185x28 1195x541x35	12 12	22,1 24,42	5,58 5,46	18 18,6	5,27 5,1	95 95	8,0 8	Закаленное -	5900 6900
МСК-120 Exmork	705x1315x38 1280x670x35	12 12	22,1 22	7,25 7,37	18 17,5	6,67 6,85	120 120	10 12,5	Закаленное Бельгия	8000 6500
МСК-140	667x1467x38	12	22,1	8,25	18	8,05	140	12	закаленное	8200
МСК-185	805x1575x38	12	22,1	11	18	10,27	185	17	закаленное	14800
МСК-185	805x1575x38	24	44,2	5,59	36	5,14	185	17	закаленное	11000
МСК-200 Exmork TCM200[1] CHN200[2] PT-200[1] ФСМ200[1]	805x1575x38 1580x808x35 1310x996x43 1580x808x40 1580x808x40 1580x808x45	24 24 24 24 24 24	44,2 43,5 42 45 45 44,4	5,98 7,45 - 5,8 5,63 6,2	36 35,5 34 38,8 38 37,9	5,56 6,87 5,7 5,15 5,27 5,41	200 200 200 200 200 200	17 12,5 17,18 - 16 15,5	Закаленное Бельгия - - - -	11000 10100 13300 13600 12000 12000

Примечания к табл. 3 — производители и продавцы солнечных модулей:
МСК — http://www.solbat.su/;
Exmork — http://www. invertory.ru/;
[1] — http://www.solarhome.ru/;
[2] — Chinaland Solar Energy; http://www.solnechnye.ru/.

Производителями солнечных батарей в России являются ООО «Хевел» (Новочебоксарск), ОАО «Рязанский завод металлокерамических приборов», ОАО «Сатурн» (Краснодар), ЗАО "Термотрон-завод" (Брянск), «Телеком-СТВ» (Зеленоград), «Солнечный ветер» (Краснодар), «Квант» (Москва), которые изготавливают примерно 5-6 МВт солнечных батарей в год.

Для определения качества солнечных элементов используется PID test (Potential Induced Degradation Test) — ускоренный тест на их деградацию под действием высокого напряжения. Тест проводится в течение 48 часов при температуре +85°С, влажности 85% и потенциале 1000 В солнечных элементов относительно заземленной рамы солнечного модуля. Перед и после теста проводятся измерения заявленных параметров. По результатам теста дается заключение о качестве солнечных элементов с использованием трех градаций:

Grade A — снижение мощности элементов не более 5%, т. е. элементы обеспечивают более 95% номинальной мощности;

Grade B — снижение мощности элементов составляет не более 30%, т. е. обеспечивают более 70% номинальной;

Grade C — снижение мощности элементов более чем на 30%, т. е. обеспечивают менее 70% номинальной.

Кроме электрических параметров, в паспорт солнечного модуля заносятся следующие данные (на примере модулей Exmork):

Тип – кремниевые монокристаллические.

Эффективность фотоэлектрического преобразования (КПД) – до 15,7%.

Класс качества – А++ (очевидно, снижение мощности при PID-тесте значительно меньше 5%).

Материалы:

Рамка – анодированный алюминий.

Стекло - бельгийское закалённое (специальная серия для солнечных модулей).

Светопроницаемость стекла – 97% (выдерживает без повреждения удар металлического шарика массой 227 г с высоты 1 метр).

Ветровая нагрузка – до 60 м/с (200 кг на квадратный метр).

Фронтальный ламинат – Hi-sheet RC 02B (толщина 0,45 мм), Япония.

Подкладка – фольгированный материал PTL3-38/75 (толщина 0,17 мм), Krempel, Германия.

Оптимальная температура без потери мощности – до +45°С.

Рабочий диапазон — от –40°С до +80°С

Степень герметизации – IP 65 (эксплуатация на улице).

Гарантия на солнечные модули Exmork – 3 года.

Срок службы – не менее 30 лет.

Гарантируемая мощность в течение 30-ти лет: 2 года – не менее 100% мощности, 10 лет – не менее 90%, 25 лет – не менее 80%.

Сертификат — ГОСТ Р 51597-2000, сертификат соответствия №РОСС CN.АГО3.НО1527 (на сайте http://www. invertory.ru/ имеются скан-копии свидетельств).

На российские панели МСК (http://www.solbat.su) гарантия составляет 5 лет при эксплуатации в температурном диапазоне от –50ºС до +75ºС, атмосферном давлении до 85-107 кПа, относительной влажности до 100%, максимальной интенсивности дождя до 5 мм/мин и максимальной нагрузке снег+ветер до 2000 Па. Гарантии по мощности аналогичны вышеприведенным, за исключением первых двух лет.

При выборе солнечных батарей (СБ) основное внимание уделяются следующим параметрам:

1. Номинальное напряжение — 12 или 24 В (на холостом ходу это примерно 19 или 38 В соответственно).

2. Односторонняя или двухсторонние (у двухсторонних панелей тыльная чувствительность к свету примерно в 2 раза меньше, чем основная фронтальная; по цене они незначительно дороже односторонних).

3. Номинальная мощность в ваттах, определяемая при стандартных условиях тестирования и паспортизации STC. В условиях Московской области, например, батарея стандартной мощностью 100 Вт при прямом солнечном свете в ясный полдень реально может выдать 60…80 Вт, при лёгкой облачности — 30…50 Вт, при сплошной облачности — 10…25 Вт.

Для ориентировочных расчётов требуемой мощности СБ используется суммарный средне дневной расход W энергии потребителями постоянного Wdc и переменного Wac тока 220 В:

$$W = 1{,}05Wdc + 1{,}2Wac,$$

где 1,05, 1,2 — коэффициенты потерь при зарядке аккумулятора, на сопротивлении проводов и потерь при преобразовании постоянного тока в переменный (DC > AC);

$Wdc = Pd1 \cdot t1 + Pd2 \cdot t2 + Pd3 \cdot t3 + ... + Pdn \cdot tn$;

$Wac = Pa1 \cdot t1 + Pa2 \cdot t2 + Pa3 \cdot t3 + ... + Pan \cdot tn$;

Pdn, Pan — номинальная мощность потребителя (устройства) постоянного и переменного тока (с учётом коэффициента мощности), Вт;

tn — среднее время работы устройства в сутки, час;

$tn = tмес/30$;

tмес — время работы редко используемого устройства за месяц, час.

Поскольку потребность в электроэнергии в течение года различна, как и производительность СБ, то такой расчёт имеет смысл проводить для декабря (наименее солнечный месяц в период осень - зима) и для марта (наименее солнечный месяц в период весна - лето).

Следующий шаг — определение средней производительности солнечных батарей в данной местности с учётом средне дневной солнечной радиации в расчетном месяце, которые можно найти на сайте http://www.solbat.su/ или сайте NASA (http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?uid=3030), где, кроме солнечной радиации, можно найти данные о силе ветра (важно при использовании ветрогенераторов) и др. При этом всё, что требуется — это простейшая регистрация (только e-mail) и географические координаты нужного места. Оттуда получаем средне дневную величину солнечной радиации в кВт*ч/м^2, оптимальный угол наклона СБ относительно горизонта при направлении на юг, а также углы наклона относительно горизонта для каждого сезона. Если панель закрепляется неподвижно, то целесообразно выбрать угол, соответствующий марту. Для СБ, установленной на поворотной платформе, оптимальные углы будут другими. Они примерно равны:

— для лета: географическая широта минус 15 градусов;

— для зимы: географическая широта плюс 15 градусов;

— для весны и осени оптимальный угол равен географической широте.

На основе данных о солнечной радиации можно для каждого сезона рассчитать номинальную мощность солнечной батареи:

$$Pном = W/(Kсб \cdot Ka \cdot Hср),$$

где

Hср — средняя дневная радиация для СБ, расположенной под оптимальным углом;

Kсб — коэффициент, учитывающий потери в СБ, отражения света от снега и др. (он принимается приблизительно равным 0,6 летом, 1,2 — зимой и 0,9 — весной и осенью; для бесснежной зимы он будет меньше 1,2, а для прохладного лета — больше 0,6);

Ка — поправочный коэффициент, учитывающий влияние положения СБ на её производительность: если СБ направлена на юг и в течении всего года неподвижно закреплена под углом, оптимальным для марта, то он берётся равным 0,85 для лета, 0,95 для зимы и 1,00 для весны и осени; если угол наклона СБ изменяется раз в сезон, то Ка = 1; если СБ установлена на поворотной платформе, то Ка принимается равным 1,4 летом, 1,1 зимой и 1,25 весной и осенью.

Если расчёты ведутся для других периодов, то могут понадобиться данные по другим месяцам (наименее солнечным в эти периоды). Их также можно взять с сайта NASA или учесть, что дневная солнечная радиация увеличивается с декабря по июнь и уменьшается с июня по декабрь примерно по синусоиде. При этом необходимо скорректировать и коэффициенты Ксб и Ка.

Примеры размещения СБ на крышах и стенах домов показаны на рис. 8. При этом для уменьшения потерь мощности, составляющих 0,4-0,5 %/°С, между тыльной поверхностью СБ и поверхностями крыш и стен необходимо оставлять как можно больший воздушный промежуток для естественного обдува СБ.

Рис. 8. Примеры размещения СБ на крышах и стенах домов

Аккумуляторы (от лат. accumulator — накопитель) в СЭС служат для накопления и хранения электрической энергии, получаемой от солнечных модулей. При этом аккумулятору приходится работать в так называемом *циклическом режиме*: днем — заряд, вечером и ночью — максимально возможный разряд. Последнему требованию в наибольшей степени отвечают щелочные и кислотные аккумуляторные батареи (АКБ) за исключением автомобильных (стартерных), для которых разряд более 50% крайне нежелателен из-за существенного ускорения при этом процесса сульфатации и снижения ёмкости. Правда, при соответствующем режиме заряда (см. ниже) происходит и обратный процесс и автомобильный аккумулятор поддаётся восстановлению лучше, чем герметизированный. Он также лучше переносит перезаряд. К недостаткам автомобильного аккумулятора относят-

ся необходимость обслуживания, нежелательность установки в жилом помещении (из-за выделения газов), взрывоопасность, относительно быстрый саморазряд.

Щелочные аккумуляторы обладают превосходным ресурсом по живучести, возможностью восстановления путем замены электролита и работой при низких температурах. К недостаткам относятся малый КПД (не более 50-60%) и низкая восприимчивость к зарядке малым током, что приводит к безвозвратной потере значительной части энергии, которая достается с таким трудом в случае СЭС. Кроме того, для аккумуляторов такого типа очень трудно подобрать контроллер заряда, а контроллеры с возможностью настройки режимов заряда достаточно дорогие. Поэтому в системах бесперебойного и автономного электроснабжения преимущественное применение нашли свинцово-кислотные АКБ трех типов — GEL, AGM и Flooded, — которые отличаются сравнительно малой удельной стоимостью 1 кВт·ч, повышенным КПД (75-80%), большим количеством циклов заряд/разряд, малым саморазрядом, широким диапазоном рабочих температур и минимальными затратами на обслуживание.

АКБ типа GEL (Gelled Electrolite) появилась в середине XX века. История их появления такова (http://www. invertory.ru). Сын аптекаря Зонненшайна Яков в тяжёлые для Германии послевоенные годы подрабатывал фотографом на пляжах и в парках. Для фотовспышки он носил с собой обычный автомобильный аккумулятор. Его не устраивало, что кислота выплёскивается и разъедает одежду и руки. В отцовской аптекарской лаборатории он случайно загустил электролит добавкой SiO_2 (силикагеля) и формалина для стабилизации его свойств. Так появилась немецкая фирма Sonnenshein, которая начала выпускать GEL аккумуляторы с фирменным изображением солнышка. Долгое время фирма Sonnenshein была единственным производителем таких аккумуляторов, но потом эту технологию воспроизвели во Франции, затем в США, а потом фирма Sonnenshein опрометчиво построила завод в Китае. Не прошло и года как появились китайские клоны – ничуть не хуже, но в несколько раз дешевле.

При производстве GEL аккумуляторов используют свинец высокой очистки, что позволило повысить эксплуатационные характеристики АКБ в несколько раз. При этом гель, плотно обволакивая пластины, не даёт активной массе осыпаться, а его повышенное сопротивление разрядным токам препятствует образованию сульфата свинца. Многочисленные поры в желеобразной массе заполняются электролитом и служат для рекомбинации водорода и кислорода, выделяющихся при больших зарядных токах. Благодаря этим свойствам гелевые аккумуляторы выдерживают большое количество циклов заряд/разряд, могут долго находиться в разряженном состоянии, имеют низкий саморазряд, их можно эксплуатировать почти в любом положении и использовать в жилом помещении без какого-либо специального обслуживания.

Стойкие к частичному разрушению корпуса (попадание пули или осколков), гелевые АКБ выдают ток даже при разрушении, поскольку электролит при этом не вытекает. Гелевые аккумуляторы также подходят для военной авиации с ее высокими перегрузками, так как не разливаются и работают в любом положении. При одинаковой емкости аккумуляторов отдача от гелевого будет больше, чем от обычного.

Недавно на рынке появились спиральные гелевые АКБ. Благодаря оптимизированному методу упаковки пластин производители добились уменьшения расстояния между ними и увеличения эффективной поверхности, что позволило снизить внутреннее сопротивление и влияние высокой вязкости электролита. В результате гелевая АКБ со спиральными электродами емкостью 55 А·час по току отдачи стала эквивалентной жидкостно-кислотной АКБ на 150-200 А·час.

Попытки создания GEL аккумулятора в СССР предпринимались в 1980-х годах, но оказались тщетными из-за трудностей изготовления специального сепаратора. Запустить производство помешали затем события 1990-х годов. В современной России о намерении создать производство GEL аккумуляторов заявляли многие аккумуляторные заводы, но

вплотную к реализации подошёл только Великолукский завод щелочных аккумуляторов, однако до серийного производства дело пока не дошло.

АКБ типа AGM (Absorptive Glass Mat) появилась на 20 лет позже гелевых. Вместо загущенного до желе электролита в них применяется стекломат из тончайших стеклянных волокон, который пропитывается электролитом. Поры стекломатов электролит заполняет не до конца. В оставшемся объеме происходит рекомбинация водорода и кислорода с образованием воды. Использование стекловолокна позволяет не только герметизировать корпус, но и сохранять работоспособность батареи даже в случае повреждений наружной оболочки. AGM-батареи дешевле гелевых, нечувствительны к колебаниям температуры, очень стойки к глубоким разрядам (тяговые AGM), долговечны, виброустойчивы и могут работать в любом положении, но боятся перезаряда.

Flooded -аккумуляторы с жидким электролитом относятся к классу открытых (заливных) АКБ, но в отличие от обычных автомобильных они снабжены рециркуляционными клапанами, препятствующими выделению газов. Проверка уровня электролита производится раз в год. Это снимает ограничения по размещению Flooded аккумуляторов внутри помещений и позволяет отнести их к классу мало обслуживаемых. Аккумуляторы этого типа более выносливы по сравнению с необслуживаемыми, удельная стоимость А·час в них ниже и они лучше поддаются балансировке по внутреннему сопротивлению. В настоящее время Flooded–аккумуляторы активно внедряются пока только в автомобильную технику.

Каждый из вышеописанных типов аккумуляторов имеет свой панцирный подкласс, отличительной особенностью которого являются решетчатые пластины и электроды в виде трубок, что существенно увеличивает число зарядно-разрядных циклов, особенно глубоких разрядов. Такие АКБ маркируются как OPzS и OPzV.

Основным параметром аккумулятора является емкость С, определяемая максимальным зарядом, который может принять конкретный аккумулятор. Номинальная ёмкость, которая указывается на корпусе, рассчитана у кислотно-свинцовых батарей, как правило, на 20-часовой цикл разряда (до напряжения 10,5 В). Например, для аккумулятора 60 А·час это соответствует току 3 А (0,05С). При большем токе разряда реальная ёмкость оказывается заметно меньше, а при меньшем — больше. Например, при токе 15 А батарея ёмкостью 60 А·час разрядится быстрее, чем за 4 часа, а при токе 1 А будет работать дольше, чем 60 час. Кроме того, ёмкость зависит от температуры (при температуре 0...+30 градусов аккумулятор работает оптимально), у автомобильных батарей с жидким электролитом — от уровня электролита, режима заряда и других факторов. Емкость измеряют также в кулонах, джоулях и в Вт·час: 1 Вт·час = 3600 Кл = 3600Дж.

Заряд аккумулятора происходит в несколько стадий: стадия накопления (bulk), поглощения (absorbtion), поддержки заряда (float) и стадия выравнивания (equalization). Стадия выравнивания применяется только для аккумуляторов открытого типа (flooded или классических автомобильных) и выполняется по определенному графику (например, раз в месяц). В некоторых случаях для стационарных аккумуляторов открытого типа предусматривается принудительная циркуляция электролита.

Операция выравнивания позволяет увеличить срок эксплуатации свинцово-кислотных аккумуляторов за счет перемешивания электролита, который со временем расслаивается, и происходящей при этом очистки пластин от сульфатов. Во время процесса выравнивания выделяется значительное количество гремучей смеси из кислорода и водорода. Поэтому серьезное внимание приходится уделять вентиляции помещения аккумуляторной. Для АКБ герметичного типа (GEL и AGM) операция выравнивание не требуется.

Аккумуляторы, применяемые в различных энергетических системах, различаются по номинальному напряжению, номинальной емкости, габаритам, типу электролита, ресурсу, скорости заряда, стоимости и рабочему диапазону температур. К аккумуляторам фотоэлектрических систем предъявляются повышенные требования по цикличности (количе-

ство выдерживаемых циклов заряд/разряд), саморазряду, диапазону рабочих температур и минимальному обслуживанию.

Увеличение емкости и напряжения АКБ достигается за счет параллельного, последовательного или параллельно-последовательного соединения. Для последовательного соединения необходимо использовать аккумуляторы одной емкости. При этом суммарная емкость блока равна емкости одного аккумулятора, а напряжение равно сумме напряжений отдельных АКБ. При параллельном соединении суммарная емкость увеличивается, а напряжение равно исходному напряжению отдельной АКБ. Параллельно-последовательные соединения приводят к увеличению как напряжения, так и емкости составного блока.

В один блок можно объединять только идентичные по параметрам, т. е. они должны быть одного напряжения, емкости, типа, возраста, производителя и желательно одной партии выпуска (при разнице не более 30 дней). С течением времени АКБ, соединенные последовательно, и особенно последовательно-параллельно подвержены разбалансировке. Это значит, что суммарное напряжение последовательных АКБ соответствует норме для зарядного устройства, но в самой цепочке напряжения одиночных аккумуляторов могут заметно отличаться, в результате чего часть аккумуляторов перезаряжается, а другая недозаряжается, что существенно уменьшает их ресурс. Хотя существуют специальные устройства балансировки, но в силу их недоступности в домашних условиях, для улучшения балансировки целесообразно 1-2 раза в год проводить заряд каждого аккумулятора индивидуально.

Любая 12-вольтовая АКБ состоит из 6 блоков по 2 В. Чтобы собрать блок аккумуляторов большой емкости, рекомендуется не параллельное соединение 12-ти вольтовых моноблоков, а последовательное соединение 2-х вольтовых блоков большой емкости, которые выпускаются серийно (см. табл. 6). Ресурс такой сборки значительно выше. Кроме того, большинство производителей не рекомендует включать параллельно более 4-х АКБ, что связано с проблемой разбалансировки и вытекающей из этого различной степенью старения отдельных аккумуляторов.

При расчете СЭС закладывается такая емкость аккумулятора, чтобы при автономном питании в течении заданного количества пасмурных (незарядных) дней, глубина разряда аккумулятора не превышала 50%, а лучше 30%. При эксплуатация АКБ учитывать следующие обстоятельства:

1. Разряд АКБ недопустимо большим током приводит к быстрому износу пластин и преждевременному старению. Заряд же большим током (более 0,25С) снижает объем электролита за счёт выкипания. Причём в герметичных АКБ выкипание электролита недопустимо: аккумулятор высыхает и погибает.

2. Для выбора разумной глубины разряда аккумулятора, влияющей на количество циклов заряд/разряд, можно воспользоваться данными на рис. 9.

Для ориентировочной оценки глубины разряда можно воспользоваться данными по ее зависимости от напряжения ненагруженной АКБ (табл. 4).

Таблица 4

Тип АКБ/Уровень разряда	25%	50%	75%	100%
Свинцово-кислотная АКБ, В	12,4	12,1	11,7	10,5
Щелочная АКБ, В	12,6	12,3	12,0	10,0

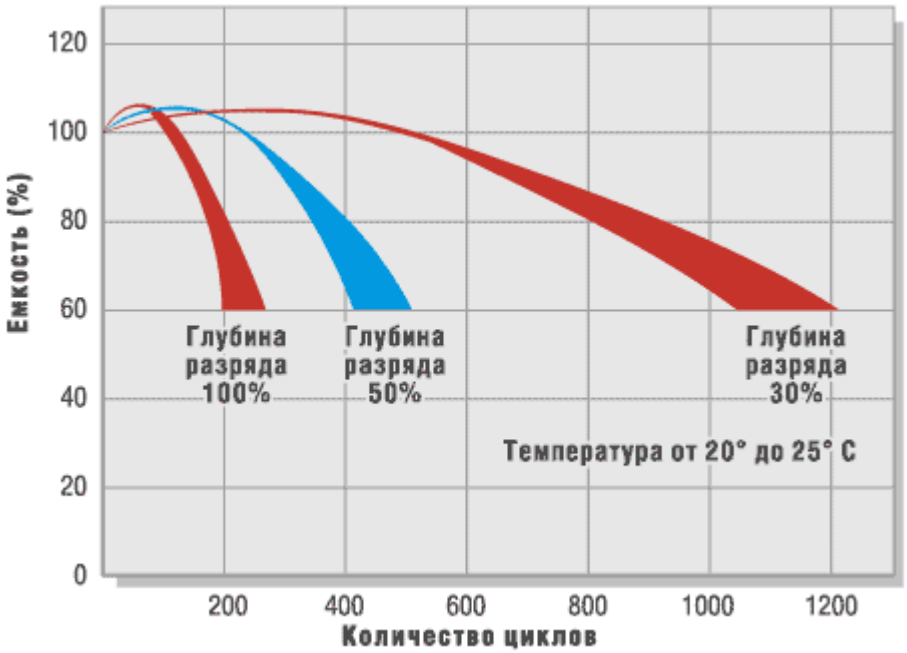


Рис. 9. Зависимость цикличности АКБ от глубины разряда

3. При зарядке необходимо учитывать зависимость напряжения на АКБ от температуры, которая ориентировочно может быть оценена по данным табл. 5.

Таблица 5

Температура батареи, °С	Напряжение, В
0	15,0
10	14,7
20	14,4
30	14,1

4. При эксплуатации температура внешней среды оказывает существенное влияние на параметры аккумулятора: при повышении температуры резко сокращается ресурс АКБ (см. рис.9), что связано с активацией негативных химических процессов. Повышение температуры аккумуляторной батареи всего лишь на 10°С ускоряет коррозию в 2(!) раза. Таким образом, аккумулятор, эксплуатируемый при 35°С проживет в 2 раза меньше, чем такой же при 25°С.

Необходимо учитывать, что при заряде аккумулятор нагревается и его температура может превышать температуру в помещении на 10-15°С. Особенно это заметно при ускоренном заряде большим током. Поэтому необходимо обеспечить наиболее комфортные условия естественного охлаждения его корпуса.

5. При хранении в стандартных условиях (20°С) аккумуляторы обычно разряжаются со скоростью 3% в месяц. Длительное хранение без подзаряда приводит к сульфатации отрицательных пластин. Периодической подзарядки 1-2 раза в год достаточно для поддержания АКБ в хорошем состоянии. Повышенная температура ускоряет саморазряд (рис. 10).

6. Самыми простым способом тестирования аккумуляторов является так называемый КТЦ (контрольно-тренировочный цикл) [5]: проверка плотности электролита ареометром (плотность 1,27…1.28 у нового аккумулятора соответствует 100% заряда, а плотность 1,20…1,21 — 50%) и тест при помощи нагрузочной вилки (1,7 В на каждый элемент (банку) при полностью заряженной АКБ и нулевой потере ёмкости; 1,6 В при 25%-ной потере; 1,5 В — при 50%; 1,4 В — 75%). При этом АКБ необходимо выводить из эксплуатации и, кроме того, проверка уровня и плотности электролита не дает полной картины состояния аккумулятора. К более современным методам относятся всевозможные тестеры емкости

АКБ, которые обеспечивают высококачественное тестирование за 3-5 секунд без отключения нагрузки [5], однако такие тестеры достаточно дорогие.

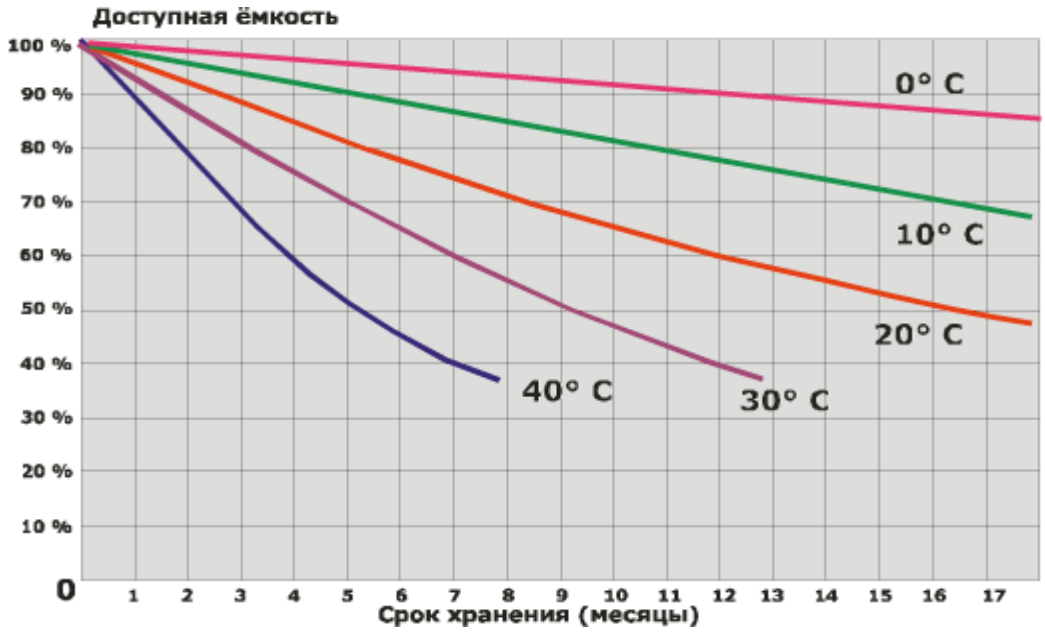


Рис. 10. Зависимость емкости АКБ от срока хранения и температуры

В связи со значительным снижение цен на СБ за последние 2-3 года, АКБ стали самым дорогостоящим элементом СЭС. Их первоначальная стоимость достаточно велика и к тому же они являются практически расходным материалом. Из этого следует, что нужно обращать особое внимание на выбор АКБ, а также последующую правильную их эксплуатацию. Иначе стоимость системы будет расти как снежный ком. Обычно в документации к АКБ производители указывают срок службы в буферном режиме и при идеальных условиях эксплуатации (температура 20°С, редкие неглубокие разряды, постоянный оптимальный заряд). Даже в резервной системе такие условия обеспечить нелегко. А в автономном режиме картина совершенно иная: непрерывно-циклический режим заряд/разряд являются ещё более тяжелыми условиями работы АКБ.

В заключение перечислим факторы, снижающие ресурс АКБ:

1. Перезаряд: опасен выкипанием электролита; для предотвращения этого необходимо использовать исправный и проверенный контроллер заряда или зарядное устройство инвертора.

2. Систематический недозаряд: целесообразно 1-2 раза в месяц производить заряд АКБ на 100%.

3. Глубокий разряд: проблема решается средствами п. 1. Однако не так страшен глубокий разряд, как хранение разряженного АКБ.

4. Разряд АКБ непомерно большими токами, поскольку при этом его пластины неравномерно изнашиваются по толщине, что приводит в конечном итоге к сокращению срока службы.

5. Заряд АКБ большими токами (более 25% емкости) «высушивает» аккумулятор и сокращает срок его службы. Особенно критичны к этому GEL и AGM аккумуляторы.

6. Высокая температура при эксплуатации. Оптимальная для аккумулятора температура 20-25°С. При температуре 35°С ресурс аккумулятора уменьшается в 2 раза.

7. Для восстановления «убитых» АКБ рекомендуется заряжать их очень малым током (1-5% емкости), а затем разряжать большим током (до 50% от емкости АКБ), что способствует частичному восстановлению её емкости. Таких циклов нужно провести 5-10.

В табл. 6 приведены краткие характеристики АКБ, рекомендуемых для использования в СЭС.

Таблица 6

№	Аккумуляторные батареи «Delta»	Технология	Розничная цена	Производитель
1	DT 1212, напряжение:12 В, емкость:12 А·ч, размер: 151x98x65 мм, вес 2,5кг	AGM	900 руб.	КНР
2	DTM 1217, напряжение:12В, емкость:17А·ч, размер: 181x77x167 мм; вес: 5,7кг *3 GX 1217	AGM GEL	1400 руб. 1818 руб.	КНР
3	DTM 1233, напряжение:12В, емкость:33А·ч, размер: 195x130x155мм; вес: 10,2кг	AGM	3300 руб.	КНР
4	HR 12-18, 12 В, 18А·ч, 181x77x167 мм; вес: 5,9кг *3 DT 12-18; 12 В, 18А·ч,	AGM	1600 руб. 1040 руб.	КНР
5	DTM 1240, 12 В, 40А·ч, 197x165x170мм; вес:13.5кг	AGM	3700 руб.	КНР
6	DTM 1265, напряжение:12В, емкость:65А·ч, размер:350x167x179мм; вес:22.2кг *3	AGM	6000 руб. 4050 руб.	КНР
7	DTM 12100, 12 В, 100 А·ч, 330x171x214 мм; вес: 32 кг *3	AGM	8200 руб. 5850 руб.	КНР
8	DTM 12120, 12 В, 120А·ч, 410x176x227мм; вес:38кг	AGM	9500 руб.	КНР
9	DTM 12150, 12 В, емкость:150А·ч, размер:485x172x240 мм; вес:47 кг	AGM	11900 руб.	КНР
10	DTM 12200, напряжение:12В, емкость: 200 А·ч, размер: 522x238x218 мм; вес: 65 кг	AGM	15700 руб.	КНР
11	GX 12-65, напряжение:12В, емкость: 65А·ч, размер: 350x167x179 мм; вес:24 кг	GEL	7600 руб.	КНР
12	HR 12-65, напряжение:12В, емкость:65А·ч, размер: 350x167x159 мм; вес: 24кг	AGM	6100 руб.	КНР
13	ST 12-100, 12 В, емкость: 100А·ч, размер: 410x176x227 мм; вес:38 кг	AGM	12400 руб.	КНР
14	GL 12-65, напряжение:12В, емкость:65 А·ч, размер: 350x176x183мм; вес: 22,2 кг *3	GEL	7500 руб. 7000 руб.	КНР
15	GX 12-100,12В, 100А·ч, 410x176x227 мм; вес: 38 кг *2 *3	GEL	10500 руб. 9700 руб. 8500 руб.	КНР
16	GX 12-200, 12 В, 200 А·ч, 522x238x218 мм; вес: 65 кг *2 *3	GEL	17000 руб. 16980 руб. 16618 руб.	КНР
№	**Аккумуляторные батареи «HAZE»**			
1	HZB 12-44, напряжение:12В, емкость: 44 А·ч, размер: 198x167x157 мм; вес: 13,3 кг *2	AGM	3900 руб. 3820 руб.	Англия/Китай
2	HZB 12-55, 12 В, 55 А·ч, 229x138x213 мм; вес: 17 кг *2 *3	AGM	5000 руб. 4980 руб. 4600 руб.	Англия/Китай
3	HZB 12-120, 12В, 120А·ч, 408x176x227 мм; вес:35,8 кг	AGM	9100 руб.	Англия/Китай

4	HZB 12-200, 12 В, 200 А·ч, 520x240x220 мм; вес: 60,9 кг *1 *2 *3	AGM	15800 руб. 18200 руб. 15370 руб. 13800 руб.	Англия/Китай
5	HZY 12-70, 12 В, 70 А·ч, 259x168x208 мм; вес: 21,5 кг *2 *3	GEL	7500 руб. 7100 руб. 6500 руб.	Англия/Китай
6	HZY 12-100, 12В, 100Ач, 305x168x208мм; вес:28.4 кг *1 *2 *3	GEL	10200 руб. 11500 руб. 8740 руб. 8300 руб.	Англия/Китай
7	HZY 12-200, 12 В, 200 А·ч, 520x240x220 мм; вес: 66,0 кг *1 *2	GEL	19000 руб. 21000 руб. 18470 руб.	Англия/Китай
8	HZY 12-230, 12В, 230А·ч, 521x269x230мм; вес: 71 кг *1 *3	CEL	20900 руб. 24800 руб. 18500 руб.	Англия/Китай
№	**Аккумуляторные батареи «VENTURA» (срок службы - 10 лет)**			
1	GPL 12-65, напряжение: 12 В, емкость: 65 А·ч, размер: 350x166x174 мм, вес: 22 кг	AGM	5300 руб.	КНР
2	GPL 12-100, 12 В, 100 А·ч, 306x169x211 мм, вес: 27 кг	AGM	8800 руб.	КНР
3	GPL 12-120, 12 В, 120 А·ч, 409x176x225 мм, вес: 35 кг	AGM	9100 руб.	КНР
4	GPL 12-200, 12В, 200Ач, 522x238x218мм, вес:67кг	AGM	17200 руб.	КНР
№	**Аккумуляторные батареи «Fiamm»**			
1	FG 24204, напряжение: 12 В, емкость: 42 А·ч, размер: 196x163x174 мм; вес: 15 кг	AGM	4600 руб.	Италия
2	FG 27004, напряжение: 12 В, емкость: 70 А·ч, размер: 350x166x174 мм; вес:24 кг	AGM	7200 руб.	Италия
3	FG2A007, напряжение: 12 В, емкость: 100 А·ч, размер: 329x172x221мм; вес:34 кг	AGM	9900 руб.	Италия
4	12 SP 135, 12 В, 135 А·ч, 345x172x279 мм; вес: 48 кг (срок службы 10 лет)	AGM	18500 руб.	Италия
№	**Аккумуляторы «Sonnenschein»**			
1	A512/200A, 12 В, 200 А·ч, 518x274x242 мм; вес: 70 кг	AGM	32500 руб.	Германия
2	Solar, 2 В, 1200 А·ч, 215x235x688 мм; вес: 82 кг *1 Prosolar	AGM	46000 руб. 29900 руб.	Германия -
3	Solar, напряжение: 2 В, емкость: 2300 А·ч, размер:215x400x815 мм; вес: 160 кг	AGM	88000 руб.	Германия

Примечания к табл. 6 — продавцы аккумуляторов:
Без цифровой метки — http://www.solbat.su/;
*1 — http://www.solarhome.ru/;
*2 — http://www.solnechnye.ru/;
*3 — http://www.invertory.ru/.

Контроллеры заряда-разряда АКБ являются связующим звеном между солнечной и аккумуляторной батареями. В его основные функции входит:

— автоматическое подключение солнечной батареи на заряд АКБ;

— многостадийный заряд аккумуляторной батареи;

— автоматическое отключение солнечной батареи при полном заряде АКБ;

— автоматическое отключение нагрузки при установленном уровне разряда АКБ.

Большинство предлагаемых на рынке контроллеров имеют разнообразный набор средств безопасности, включающих защиту:

— от неверной полярности подключения СБ, АКБ и нагрузки;

— от короткого замыкания (КЗ) на входе (со стороны СБ);

— от КЗ в нагрузке;

— от перегрева;

— нагрузки от перенапряжения на входе;

— от молний (варистором или специальным сапрессор Transil диодом [8]);

— от обрыва в цепи АКБ;

— от разряда АКБ через СБ в ночное время и др.

Контроллеры с жидкокристаллическими дисплеями могут отображать:

— уровень заряда и разряда АКБ в процентах (так называемый SOC — State Of Charge);

— напряжение на АКБ;

— ток солнечной батареи;

— ток зарядки АКБ;

— ток в цепи нагрузки;

— суммарное количество А·час, полученных от солнечной батареи;

— суммарное количество отданных нагрузке А·час;

— предупреждение о предстоящем отключении нагрузки.

Некоторые модели контроллеров имеют встроенные реле времени, позволяющие включать ночное освещение (при этом сам солнечный модуль используется контроллером в качестве фотоэлемента для оценки времени суток); могут заряжать два независимых АКБ (обычно имеют в названии Duo); некоторые модели имеют коммуникационный порт для связи с компьютером для мониторинга, записи данных и ввода дополнительных параметров; специальное тропическое (влагостойкое) исполнение и др.

Наиболее простыми являются контроллеры типа ON/OFF, которые просто отключают солнечный модуль при достижении напряжения на аккумуляторной батарее около 14,4 В (для АКБ номинальным напряжением 12 В). При снижении напряжения на АКБ до значений 12,5-13 В происходит подключение солнечного модуля и заряд возобновляется. При этом максимальный уровень заряда АКБ составляет 60-70%, т. е. имеет место регулярный недозаряд, что приводит к сульфатация пластин и сокращению срока службы АКБ. Этот тип контроллеров используется в любительских условиях и практически не используется в современных промышленных СЭС, т. к. на рынке появились более высокотехнологичные контроллеры.

Наибольшее распространение среди промышленных контроллеров получили контроллеры с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ или PWM — Pulse-width modulation) и с поиском точки максимальной мощности (MPPT — Maximum Power Point Tracking). ШИМ-контроллер обеспечивает 100% уровень зарядки аккумулятора за 4 стадии (рис. 11), которые выполняются автоматически в зависимости от фактического уровня заряда АКБ в следующей последовательности:

1. Стадия «Основной заряд/Накопление/Bulk» — заряд максимально возможным током солнечной батареи.

2. Стадия «Поглощающий заряд/Насыщение/Absorbtion/ШИМ заряд» — заряд при заданном напряжении на АКБ при уменьшающемся токе заряда, что позволяет избежать перегрева и газообразования в аккумуляторе.

Рис. 11. Алгоритм работы ШИМ-контроллера

3. Стадия «Поддерживающий заряд/Равновесие/Float» — АКБ полностью заряжена, зарядное напряжение уменьшается для предотвращения дальнейшего нагрева и газообразования.

4. Стадия «Уравновешивающий заряд (выравнивание/equalization) » — только для АКБ открытого типа. При этом выравниваются напряжения на отдельных банках АКБ и происходит очищение пластин от сульфатов с одновременным перемешиванием электролита. Процесс выравнивания сопровождается большим газовыделением (водород + кислород) и для предотвращения взрыва необходимо предусмотреть вентиляцию помещения аккумуляторной и устранение всех источников искрения. Обычно выравнивание производится по определенному графику, например, раз в месяц.

ШИМ-контроллеры обычно применяются в небольших системах — мощностью от 100 Вт до 2 кВт. Некоторые из них имеют как светодиодную индикацию, так и LCD-экраны, на которые выводится вся текущая информации о работе системы. В качестве примера в табл. 7 приведены краткие технические характеристики ШИМ-контроллера Steca PR3030.

Таблица 7

Напряжение	12/24 В
Максимальный входной ток	30 А
Максимальный ток нагрузки	30 А
Максимальное собственное потребление	12 мА
Напряжение ударного заряда	14,4/28,8 В
Напряжение поддержки	13,9/27,8В (для герметичных АКБ) 14,1/28,2В (для АКБ с жидким электролитом)
Напряжение выравнивания (для АКБ с жидким электролитом)	14,7/29,4 В

Напряжение защитного отключения нагрузки (глубина разряда (SOC) 30%)	11,1/22,2 В
Напряжение повторного подключения нагрузки (SOC >50%)	12,6/25,2 В
Интервал рабочих температур	–10...+50°С
Размер терминалов (отверстия под провода)	16/25 мм^2
Класс защиты	IP22
Габаритные размеры	187x96x44 мм
Вес	350г

Что касается MPPT-контроллеров, то по части алгоритма их функционирования имеются разные объяснения. Так, по мнению http://www.solbat.su/ достоинством таких контроллеров является возможность заряда АКБ с номинальным напряжением более низким, чем номинальное напряжение солнечной батареи, например, заряд АКБ с номинальным напряжением 12 В от солнечной батареи (СБ) с номинальным напряжением 24 В, 48 В, 60 В или более. При этом утверждается, что его КПД составляет порядка 94-98% (!) за счет преобразования высокого напряжения СБ в увеличенный ток заряда. Если, например, имеется 12-вольтовая АКБ и две последовательно включенных 12-вольтовых СБ с напряжением в точке максимальной мощности 17-18 В и токе 1 А, то на выходе MPPT контроллера получим зарядный ток почти 2 А. А если он больше допустимого для данной АКБ! Кроме того, если предположить, что в составе MPPT-контроллера имеется понижающий DC-DC-преобразователь (а другого не дано), то при коммутации токов в несколько десятков ампер в таких преобразователях достаточно трудно получить декларируемый КПД: в лучшем случае он может составить около 90% [6].

Более походящее объяснение преимуществ MPPT контроллеров приведено в статье «Укрощаем Ярило-Солнце! Первый в России тест солнечных контроллеров премиум-класса», размещенной на сайте invertor.ru. При этом используется график мощности 12-и вольтовой солнечной панели при 100% освещённости на рис. 12, из которого видно, что точка максимальной мощности находится в районе 17 В, в которой работает MPPT контроллер, в то время как PWM контроллер работает только в ограниченном диапазоне напряжений солнечной панели в соответствии с нижним (10,5 В) и верхним (14,5 В) пределами допустимых напряжений на аккумуляторе.

Если принять, что на рис. 12 представлены характеристики 100-ваттной солнечной панели, то ее ток короткого замыкания (КЗ) будет порядка 6,5 А примерно до 15 В, а в точке максимальной мощности (17 В; MPPT заряд) – около 6 А. Тогда мощность при заряде от PWM контроллера по мере заряда АКБ будет меняться от 65 Вт до 94 Вт (рассчитываем: $6{,}5 \times 10 = 65$ Вт; $6{,}5 \times 14{,}5 = 94$ Вт). Мощность, отбираемая MPPT-контроллером при тех же условиях, всегда будет $6 \times 17 = 102$ Вт.

Если солнечные панели соединять последовательно с целью получения большего выходного напряжения, то добавится эффективность использования СБ в пасмурную погоду (и хотя отдача в это время будет низкой – лучше хоть что-то, чем ничего). Однако и в PWM-контроллера будет наблюдаться аналогичное приращение эффективности. Очевидно, что в рассматриваемом случае требуется дополнительное исследование оптимального соотношения цена–эффективность–мощность СЭС, поскольку, как видно из табл. 8, соотношения цен на промышленные контроллеры не в пользу MPPT- контроллеров.

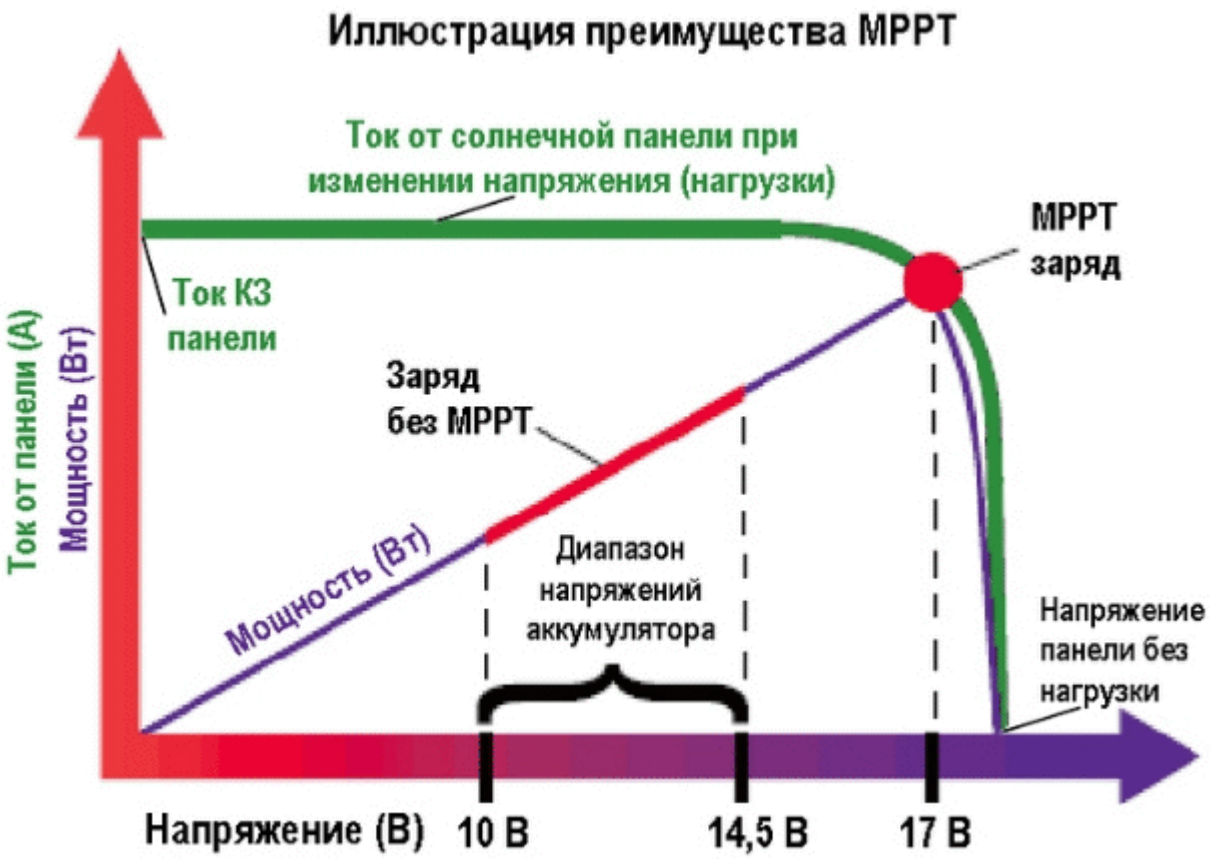


Рис. 12. График мощности 12-и вольтовой 100-ваттной солнечной панели при 100% освещённости

Таблица 8.

Краткие сведения о промышленных PWM и MPPT контроллерах

№	Наименование изделия и торговые организации	Розничная цена	Производитель
1	EP Solar LS0512, 12 В, 5 А, 3 светодиода *1 *2 *3	1100 руб. 900 руб. 750 руб. 600 руб.	КНР
2	EP Solar LS0512R, 12 В, 5 А, таймер, 3 светодиода *2	1300 руб. 790 руб.	КНР
3	EP Solar LS1024, 12В/24 В, 10 А, 3 светодиода *1 *3 *3Juta *3Juta *3Juta *3Zonhan	1500 руб. 1450 руб. 1000 руб. 900 руб. 950 руб. 850 руб. 900 руб.	КНР
4	Ep Solar LS1024R, 12В/24 В, 10 А, 2 таймера, 3 светодиода *1 *2	1800 руб. 1800 руб. 1490 руб.	КНР
5	EP Solar LS1524, 12В/24 В, 15 А, 3 светодиода *1 *2 *3Zonhan	2000 руб. 2400 руб. 1870 руб. 1750 руб.	КНР
6	EP Solar LS1524R, 12/24 В, 15 А, 2 таймера, 3 светодиода	2300 руб.	КНР

	*1 *3Juta	2800 руб. 1300 руб.	
7	EP Solar LS2024, 12/24 В, 20 А, 3 светодиода *1 *2 *3 *3Juta	2400 руб. 2800 руб. 2150 руб. 1900 руб. 1600 руб.	КНР
8	EP Solar LS2024R, 12/24 В, 20 А, 2 таймера, 3 светодиода *2 *3Juta *3Zonhan	2700 руб. 2370 руб. 2950 руб. 2000 руб.	КНР
9	EP Solar LS1024RP, 12/24 В, 10 А, влагозащищенный+2 таймера, 3 светодиода *1	2100 руб. 2100 руб.	КНР
10	EP Solar LS1524RP, 12/24 В, 15 А, влагозащищенный+2 таймера, 3 светодиода	2600 руб.	КНР
11	EP Solar LS2024RP, 12/24 В, 20 А, влагозащищенный+2 таймера, 3 светодиода *3Juta-48В	3000 руб. 4200 руб.	КНР
12	EP Solar VS3024, 12В/24 В, 30 А, 3 светодиода *1 *2 *3Juta-48 В *3Zonhan-48 В *3Zonhan-24 В	6500 руб. 6800 руб. 6580 руб. 4800 руб. 3700 руб. 3700 руб.	КНР
13	EP Solar VS4024, 12В/24 В, 40 А, 3 светодиода *1 *2	9200 руб. 9900 руб. 7740 руб.	КНР
14	EP Solar Tracer MPPT 2215RN, 12В/24 В, 20 А, 3 светодиода *1 *2 *3 *3Juta-12 В *3Juta-24 В	8200 руб. 7000 руб. 7470 руб. 6800 руб. 4150 руб. 4150 руб.	КНР
15	EP Solar Tracer MPPT 3215RN, 12В/24 В, 30 А, 3 светодиода *1 *2 *3	10500 руб. 10300 руб. 10200 руб. 8900 руб.	КНР
16	EP Solar Tracer MPPT 4210RN, 12В/24 В, 45 А, 3 светодиода *1 *3Zonhan-40 А *3Zonhan-50 А; 12 и 24 В (ШИМ и без автоперекл.)	14500 руб. 13500 руб. 8000 руб. 6400 руб	КНР
17	Steca PR 0505, 12/24 В, 5 А, 3 светодиода	2000 руб.	Германия
18	Steca Solarix PRS 1010 , 12/24 В, 10 А, 4 светодиода *1	4500 руб. 3800 руб.	Германия
19	Steca Solarix PRS 1515 , 12/24 В, 15 А, 4 светодиода *1	4900 руб. 4000 руб.	Германия
20	Steca Solarix PRS 2020, 12/24 В, 20 А, 4 светодиода *1	5200 руб. 4600 руб.	Германия
21	Steca Solarix PRS 3030, 12/24 В, 30 А, 4 светодиода	5800 руб.	Германия
22	Steca PR 1010, 12/24 В, 10 А, Ж/К-дисплей	5100 руб.	Германия
23	Steca PR 1515, 12/24 В, 15 А, Ж/К-дисплей	6800 руб.	Германия

	*1	6200 руб.	
24	Steca PR 2020, 12/24 В, 20 А, Ж/К-дисплей *1	7700 руб. 6850 руб.	Германия
25	Steca PR 3030, 12/24 В, 30 А, Ж/К-дисплей *1	9100 руб. 8800 руб.	Германия
26	Steca Solarix 4401, 4 8В, 40 А, Ж/К-дисплей	10500 руб.	Германия
27	Phocos CA08-2.2 12 В, 8 А, 3 информационных светодиода	2100 руб.	Германия Китай
28	Phocos CA14-2.1 12 В, 14 А, 3 информационных светодиода	2200 руб.	Германия Китай
29	Phocos CML05-2.1 12/24 В, 5 А, 5 информационных светодиодов	1900 руб.	Германия Китай
30	Phocos CML10-2.2 12/24 В, 10 А, 5 информационных светодиодов	2800 руб.	Германия Китай
31	Phocos CML15-2.1 12/24В, 15А, 5 информационных светодиодов	3500 руб.	Германия Китай
32	Phocos CML15-2.1-NL 12/24 В,15 А, 5 информационных светодиодов	4200 руб.	Германия Китай
33	Phocos CML20-2.1 12/24 В, 20 А, 5 информационных светодиодов	4500 руб.	Германия Китай
34	Phocos CX10-1.1 12/24 В, 10 А, ЖК дисплей	3500 руб.	Германия Китай
35	Phocos CX20-1.1 12/24 В, 20 А, ЖК дисплей	4800 руб.	Германия Китай
36	Phocos CX40-1.1 12/24 В, 40 А, ЖК дисплей	7200 руб.	Германия Китай
37	Phocos PL20-1.1 20 А, ЖК дисплей	15000 руб.	Австралия
38	Phocos PL40-1.1 40 А, ЖК дисплей	18000 руб.	Австралия
39	Phocos PL60-1.1 60 А, ЖК дисплей	27000 руб.	Австралия
40	Phocos MPPT 100/20, 12/24 В, 20 А, 3 информационных светодиода	15300 руб.	Германия Китай
41	MorningStar SHS-6, 12 В, 6 А	1700 руб.	США
42	MorningStar SHS-10, 12 В, 10 А	2100 руб.	США
43	MorningStar SS-20L-24V, 12/24 В, 20 А	4100 руб.	США
44	MorningStar ProStar-30, 12/24 В, 30 А *2	6800 руб. 6370 руб.	США
45	MorningStar TriStar TS-45, 12В/24В/48В, 45 А *2	12500 руб. 9570 руб.	США
46	MorningStar Tristar TS-60, 12В/24В/48В, 60 А *2	13900 руб. 12750 руб.	США
47	MorningStar Tristar MPPT TS-45,12В/24В/36В/48В, 45 А *1 *2	22100 руб. 23100 руб. 22200 руб.	США
48	MorningStar Tristar MPPT TS-60,12В/24В/36В/48В, 60 А *1 *2	26100 руб. 27200 руб. 26900 руб.	США
49	MorningStar Tristar TSM-2 панель управления встраиваемая *1 *2	4800 руб. 5000 руб. 4770 руб.	США
50	Xantrex XW-MPPT-60-150, 12/24/36/48/60 В, 60 А	32000 руб.	Канада

	*1	32500 руб.	
51	OutBack FlexMax60-MPPT 12/24/36/48/60 В, 60 А *1 *2	30000 руб. 30000 руб. 29870 руб.	США
52	OutBack FlexMax80-MPPT 12/24/36/48/60 В, 80 А *1 *2	33000 руб. 33500 руб. 32950 руб.	США
53	Ep Solar eTracer ET4415N-MPPT 12/24/36/48/60 В, 45 А	20500 руб.	КНР
54	Ep Solar eTracer ET6415N-MPPT 12/24/36/48/60 В, 60 А	23500 руб.	КНР
55	Studer Vario Track VT-65 MPPT 12/24/48 В, 65 А *1	28500 руб. 29800 руб.	Швейцария
56	Studer Vario Track VT-80 MPPT 12/24/48 В, 80 А *1	32500 руб. 33000 руб.	Швейцария

Примечания к табл. 8:
Без цифровой метки — данные http://www.solbat.su/;
*1 — http://www.solarhome.ru/;
*2 — http://www.solnechnye.ru/;
*3 — http://www.invertory.ru/.

Инверторы (от лат. inverto — переворачивать) — это устройства для преобразования постоянного напряжения АКБ в переменное. Они бывают двух типов: с генерацией так называемой чистой (true sine wave) и модифицированной синусоиды (рис. 13). Модифицированная синусоида (или квазисинусоида) по форме может быть прямоугольником (меандром), трапецией, ступенчатой синусоидой и т. п.

Инверторы с чистой синусоидой дают сигнал как в промышленной сети, а хорошие инверторы порой даже получше. Квазисинусоида подходит не для всех потребителей. Инверторы с модифицированной синусоидой нежелательно применять в следующих случаях:

— питание асинхронных двигателей, особенно циркуляционных насосов котлов отопления (применение подобной системы питания приводит к возникновению высоких импульсных токов в обмотке двигателя, разогреву двигателя и снижению срока службы);

— питание радиоэлектронных устройств с трансформаторными блоками питания (трансформатор при этом выдает меньшую мощность, а в выходных цепях повышается уровень импульсных помех);

— питание точной и радиопередающей аппаратуры (высокочастотные гармоники могут пройти через блоки питания и отрицательно влиять на работу аппаратуры);

а)

б)

Рис. 13. Форма выходных сигналов инверторов: чистая (*а*) и модифицированная (*б*) синусоиды

— работа с возможными сбоями таких приборов как лазерный принтер, копир, магнито-оптический дисковод, некоторые портативные компьютеры и лампы дневного света,

электроинструменты и швейные машинки с электронными регуляторами скорости вращения и некоторые зарядные устройства для беспроводных электроинструментов, измерительные устройства с микропроцессорным управлением, цифровые радиоприемники, некоторые медицинские приборы, например кислородные концентраторы.

Кроме формы выходного напряжения инверторы подразделяются еще на две большие группы: низкочастотные (50 Гц) с использованием обычных низкочастотных силовых трансформаторов с сердечником в виде тора и высокочастотные (до 20 МГц) с использованием высокоскоростных транзисторных ключей.

НЧ инверторы чрезвычайно надежны, нередко имеют широкий спектр настаиваемых параметров и в их состав (если это источник бесперебойного питания (ИБП)) обычно входит также мощное зарядное устройство. Они могут безостановочно работать в режиме non-stop и отличаются большим весом и дороговизной по сравнению с компактными и легкими ВЧ инверторами (иногда их называют автомобильными).

Наиболее продвинутые инверторы позволяют реализовать трехфазную конфигурацию из однофазных инверторов за счет специальной шины синхронизации и масштабирование (возможность параллельного включения инверторов по одной фазе для увеличения суммарной мощности).

При выборе мощности инвертора необходимо учитывать пусковые токи нагрузок, а также тип нагрузки. Если она чисто активная, например, лампа накаливания, то ее мощность измеряется в ваттах (Вт), если активно-реактивная (активная + индуктивность или емкость), то в вольт-амперах (ВА). Соотношение между активной и реактивной мощностью определяется коэффициентом мощности cos φ, где $\varphi = \mathrm{arc\ tg}\ (X/R)$ — фазовый угол между входным напряжением и током в цепи, содержащей активное R и реактивное сопротивление $X = (2\pi \cdot f \cdot L - 1/2\pi \cdot f \cdot C)$; L [Гн], C [Ф] — индуктивность и емкость нагрузки; f [Гц] — рабочая частота. Из приведенных формул видно, что при чисто активной нагрузке ($X = 0$) $\cos \varphi = 1$. Если, например, в каком-либо устройстве имеется электродвигатель мощностью P = 7 кВт с $\cos \varphi = 0{,}7$ (указывается на его шильдике), то это означает, что полная мощность, потребляемая таким двигателем от инвертора, составит 7/0,7 = 10 кВА, т. е. 3 кВт тратится на бесполезную реактивную мощность (в данном случае заряд и разряд индуктивности обмоток двигателя). Из формулы $X = (2\pi \cdot f \cdot L - 1/2\pi \cdot f \cdot C)$ видно, что для достижения $X = 0$ необходимо использовать компенсирующий конденсатор емкостью $C = 1/(2\pi \cdot f)^2 L$, что и делается на заводах, где превалирующей реактивной составляющей является индуктивная нагрузка электродвигателей силового привода. К сказанному следует добавить, что номинальная мощность инвертора должна превышать мощность одновременно подключенных нагрузок на 25-30%.

Инверторы могут работать в следующих режимах:

1. Постоянный режим — режим работы с нагрузкой не более номинальной мощности.

2. Режим небольшой перегрузки, при котором некоторые модели инверторов могут поддерживать в течении определенного времени (нередко до 60 мин) нагрузку в 1,2-1,5 раза больше номинальной мощности.

3. Режим пусковой мощности, при котором перегрузка продолжительностью около 5 сек может достигать 1,5-3 раза.

4. «Спящий» режим, при котором инвертор снижает потребление энергии в несколько раз при отсутствия нагрузки. С целью энергосбережения в некоторых инверторах предусмотрена возможность установки пониженного выходного напряжения (210-200 В и меньше).

5. Режим синхронизации с коммунальной сетью централизованного электроснабжения (только для наиболее продвинутых инверторов), что на определенных условиях позволяет обмениваться энергией с такими сетями (так называемый режим продажи SELL).

Как правило, выходное напряжение инверторов 220 В переменного тока частотой 50 Гц, а входное соответствует стандартному ряду номинальных напряжений аккумулятор-

ных батарей — 12, 24, 48 и иногда 36 В. И только лишь в ИБП с двойным преобразованием используется входное напряжение до 240 В постоянного тока.

В состав инвертора могут входить также зарядные устройства MPPT или PWM типа, а также коммутационные устройства для автоматического подключения, кроме коммунальной сети, альтернативных источников питания (ветро- или бензогенераторов) с одновременной передачей энергии непосредственно к потребителям. Инвертор с такими функциями можно использовать и как ИБП. Ряд моделей инверторов снабжаются панелями или пультами дистанционного управления, а наиболее продвинутые — средствами мониторинга и управления через интернет.

Кроме инверторов общего применения существует еще класс так называемых сетевых инверторов для систем grid-tie (прямое взаимодействия с коммунальной сетью централизованного электроснабжения). Суть их работы состоит в следующем: на вход сетевого инвертора поступает напряжение от массива солнечных модулей. Модули при этом объединены в высоковольтные цепочки (до 1000В и более). Имея на входе MPPT контроллер, сетевые инверторы могут отслеживать напряжение максимальной мощности, которое затем инвертируется в переменное и передается в коммунальную сеть. Энергия, генерируемая солнечными батареями, потребляется при этом нагрузками в приоритетном порядке, а недостаток компенсируется из сети. Если мощность солнечных батарей покрывает потребности нагрузки, то из сети ничего не потребляется. Достоинством инверторов этого типа является отсутствие дорогостоящих АКБ, что снижает первоначальную стоимость системы на 35-40%, а также её обслуживания в будущем. Но в то же время отсутствие АКБ лишает потребителей, включая и сам инвертор, резервирования при отключении сети в тёмное время суток.

Для совмещения полезных свойств батарейного и сетевого инверторов были разработаны специальные гибридные батарейно-сетевые модификации. При наличии напряжения в сети они работают как сетевые, т. е. передают энергию от солнечных батарей или ветрогенераторов к коммунальной сети, а также на заряд АКБ через ШИМ или MPPT контроллер или через отдельный сетевой инвертор, подключенный к выходу двунаправленного гибридного инвертора, обеспечиваемого заряд АКБ как с его входа, так и с выхода. Примерами двунаправленных инверторов являются Xtender, SMA, Victron (см. табл. 9). Если же происходит аварийное отключение коммунальной сети, то гибридный инвертор превращается в обычный батарейный и работает в автономном режиме.

В режиме поддержки сети гибридный инвертор имеет дополнительно режим продажи SELL, при котором он может не только приоритетно питать нагрузку от СБ или ветрогенератора, но и поставлять излишки (если они имеются) в коммунальную сеть. При этом нужно иметь еще и двунаправленный счетчик электроэнергии, способный работать в вычитающем режиме («сматывать» показания потребленную энергию от коммунальной сети).

Если ориентироваться на приобретение наиболее продвинутого инвертора, то целесообразно обратить внимание на следующие параметры:

— возможность настройки режимов на каждом этапе работы встроенного зарядного устройства с учетом данных выносного термодатчика АКБ;

— наличие вспомогательного выхода AUX, программируемого для формирования команд при определенных событиях для управления внешними устройствами;

— возможность приоритетного использования энергии альтернативных источников питания;

— возможность масштабирования, т. е. наращивания мощности системы за счет параллельного включения инверторов;

— возможность конфигурирования инверторов в трехфазную систему;

— наличие защитных функций;

— низкое потребление на холостом ходу (без нагрузки) и наличие спящего режима;

— выходное напряжение в виде чистого синуса.

Максимальной надежностью и наиболее гибкими настройками обладают инверторы Xtender, SMA, Victron, Xantrex, OutBack, Magnum, TBS Electronic, COTEK и некоторые другие (см. табл. 9). Бюджетным и одновременно надежным выбором является инвертор с зарядным устройством американской компании TrippLite, а также изделия компании MeanWell (Тайвань).

Таблица 9.

Инверторы для солнечных систем

№	Наименование изделия и торговые организации	Розничная цена	Производитель
1	MeanWell A301-300F3,12В/220В,300Вт, мод.синус *3Exmork 12В/150Вт, мод.синус *3Exmork 12В/300Вт, мод.синус *3Exmork 12В/400Вт, мод.синус *3Exmork 12В/500Вт, мод.синус *3Exmork 12В/600Вт, мод.синус	900 руб. 600 руб. 800 руб. 900 руб. 1000 руб. 1500 руб. 1600 руб.	Тайвань Китай
2	MeanWell A301-600F3,12В/220 В, 600 Вт,мод.синус	3700 руб.	Тайвань
3	MeanWell COTEK S600-212E3, 12В/220В, 600 Вт, чистый синус, КПД 90%	13500 руб.	Тайвань
4	MeanWell COTEK S600-224E3, 24В/220В, 600Вт, чистый синус, КПД 90%	13500 руб.	Тайвань
5	MeanWell COTEK S1500-224E3, 24В/220В, 1500 Вт, чистый синус, КПД 90%	17300 руб.	Тайвань
6	Steca AJ 275-12, 12В/220В,200 Вт, чистый синус, КПД 93%	12 900 руб.	Германия
7	Steca AJ 500-12, 12В/220В,400Вт,чистый синус,КПД 93%	24500 руб.	Германия
8	Инвертор Victron Phoenix 12/350,12В,350ВА, чистый синус, КПД 90% *2	7000 руб. 6490 руб.	Голландия
9	Инвертор Victron Phoenix Inverter Compact 12/1200, 12 В, 1200ВА, КПД 94% *2	31000 руб. 29750 руб.	Голландия
10	Инвертор ПН-12-350 12/24В/220В,чистый синус, КПД 95%	3200 руб.	Россия
11	Инвертор ПН-12-700 12/24В/220В, чистый синус. КПД 95%	6500 руб.	Россия
12	Инвертор ПН-12-1500 12/24В/220В,чистый синус, КПД 95%	10300 руб.	Россия
13	Инвертор ПН-24-3000 12/24В/220В, чистый синус, КПД 95%	18500 руб.	Россия
14	ИБП TrippLite APSX750, 750Вт, мод. синус, 12В, КПД 94%	15000 руб.	США
15	ИБП TrippLite APSX1250, 1250Вт, мод. синус, 12В, КПД 94%	17000 руб.	США
16	ИБП TrippLite APSINT2012, 2000 Вт, мод. синус, 12в, КПД 94%	26000 руб.	США
17	ИБП TrippLite APSX3024SW, 3000 Вт, чистый синус, 24 В, КПД 94%	56000 руб.	США
18	ИБП TrippLite APSX6048VR, 6000 Вт, чистый синус, 48 В, КПД 94%	78000 руб.	США
19	Инвертор TBS PowerSine 800ВА, чистый синус, 12В, КПД 92%	15900 руб.	Голландия
20	Инвертор TBS PowerSine 1000ВА, чистый синус,24В, КПД 94% *1 *3 Exmork 24В/1000Вт, мод.синус *3 Exmork 24В/1200Вт, мод.синус *3 Exmork 12В/2000Вт, мод.синус *3 Exmork 12В/1000Вт, мод.синус *3 Exmork 12В/1200Вт, мод.синус *3 Exmork 12В/1500Вт, мод.синус *3 Exmork 24В/1500Вт, мод.синус *3 Exmork 12В/3000Вт, мод.синус	27000 руб. 26000 руб. 2500 руб. 2800 руб. 3300 руб. 6300 руб. 6300 руб. 2800 руб. 3300 руб. 4250 руб.	Голландия Китай Китай

	*3 Exmork 12В/5000Вт, мод.синус	9500 руб.	
21	Инвертор TBS PowerSine 1400ВА,чистый синус, 24 В, КПД 94% *1 *2	29500 руб. 28000 руб. 28950 руб.	Голландия
22	Инвертор TBS PowerSine 1600ВА, чистый синус, 12 В, КПД 92% *1 *2	37000 руб. 35000 руб. 36700 руб.	Голландия
23	Инвертор TBS PowerSine 1800ВА,чистый синус,24В, КПД 94% *1 *2	38000 руб. 35000 руб. 37900 руб.	Голландия
24	ИБП TBS PowerSine Combi 1600ВА, чистый синус, 12 В, КПД 92% *1	47000 руб. 46500 руб.	Голландия
25	ИБП TBS PowerSine Combi 1800ВА, чистый синус, 24 В, КПД 94% *1 *2	48000 руб. 48500 руб. 48500 руб.	Голландия
26	Xantrex ProWatt SW700, 700 Вт,чистый синус, 12 В, КПД 94%	13800 руб.	Канада
27	Xantrex ProWatt SW1400, 1400Вт, чистый синус, 12В, КПД 94%	19500 руб.	Канада
28	Xantrex ProWatt SW2000, 2000 Вт, чистый синус, 12 В, КПД 94% *3 Exmork 12В/2000Вт, чистый синус *3 Exmork 12В/1000Вт, чистый синус *3 Exmork 12В/1500Вт, чистый синус *3 Hefei 48В/1000Вт, чистый синус *3 Hefei 24В/1000Вт, чистый синус *3 Hefei 48В/2000Вт, чистый синус *3 Hefei 48В/1000Вт, чистый синус *3 PowerStar 48В/2000Вт, чистый синус *3 PowerStar 12В/1000Вт, чистый синус *3 PowerStar 12В/1500Вт, чистый синус *3 PowerStar 24В/1500Вт, чистый синус *3 PowerStar 12В/2000Вт, чистый синус *3 PowerStar 24В/2000Вт, чистый синус *3 PowerStar 12В/3000Вт, чистый синус *3 PowerStar 24В/3000Вт, чистый синус *3 PowerStar 24В/4000Вт, чистый синус *3 PowerStar 48В/4000Вт, чистый синус *3 PowerStar 24В/5000Вт, чистый синус *3 PowerStar 48В/5000Вт, чистый синус *3 PowerStar 24В/6000Вт, чистый синус *3 PowerStar 48В/6000Вт, чистый синус	25500 руб. 10000 руб. 7900 руб. 11900 руб. 12600 руб. 18400 руб. 25900 руб. 17800 руб. 12900 руб. 15600 руб. 15600 руб. 17800 руб. 17800 руб. 26500 руб. 26500 руб. 29700 руб. 29700 руб. 33500 руб. 33500 руб. 45900 руб. 45900 руб. 74000 руб. 74000 руб.	Канада Китай Китай
29	Xantrex TR2424E, 2400ВА, мод. синус, 24 В, КПД 94%	42000 руб.	Канада
30	Xantrex CONEXT SW2524, чистый синус, 24 В, КПД 92%	69000 руб.	Канада
31	Xantrex CONEXT SW4024, чистый синус, 24 В, КПД 92%	83000 руб.	Канада
32	Xantrex XW 4024, 4000Вт,чистый синус, 24 В, КПД 94%	145000 руб.	Канада
33	Xantrex XW 4548, 4500Вт,чистый синус, 48 В, КПД 94%	155000 руб.	Канада
34	Xantrex XW 6048, 6000Вт,чистый синус, 48 В, КПД 94%	175000 руб.	Канада
35	Системная контрольная панель Xantrex XW-SCP	13000 руб.	Канада
36	Блок автозапуска генератора Xantrex XW-AGS	9800 руб.	США

37	OutBack VFX1312, 1300ВА, чистый синус, 12 В, КПД 93%	49000 руб.	США
38	OutBack VFX3024, 3000ВА, чистый синус, 24 В, КПД 93% *2	98000 руб. 98800 руб.	США
39	OutBack VFX3048, 3000ВА, чистый синус, 48 В, КПД 93% *2	98000 руб. 98800 руб.	США
40	Системный контроллер MATE-B/MATE-2 *2	11500 руб. 11800 руб.	США
41	ИБП Xtender XTS900-12, 900 ВА,чистый синус, 12В, КПД 93%	49000 руб.	Швейцария
42	ИБП Xtender XTS1200-24, 1400 ВА,чистый синус, 24 В, КПД 93%	53000 руб.	Швейцария
43	ИБП Xtender XTM2000-12, 2000 ВА, чистый синус, 12 В, КПД 93% *1	93000 руб. 95500 руб.	Швейцария
44	ИБП Xtender XTM2400-24, 2400 ВА,чистый синус, 24 В, КПД 94% *1	93000 руб. 93000 руб.	Швейцария
45	ИБП Xtender XTM2600-48, 2600 ВА, чистый синус, 48 В, КПД 94% *1	98000 руб. 97000 руб.	Швейцария
46	ИБП Xtender XTM3500-24, 3500 ВА, чистый синус, 24 В, КПД 94% *1	115000 руб. 118000 руб.	Швейцария
47	ИБП Xtender XTM4000-48, 4000 ВА, чистый синус, 48 В, КПД 94% *1	120000 руб. 128000 руб.	Швейцария
48	ИБП Xtender XTH6000-48, 6000 ВА, чистый синус, 48 В, КПД 96% *1	215000 руб. 215000 руб.	Швейцария
49	ИБП Xtender XTH8000-48, 8000 ВА, чистый синус, 48 В, КПД 96% *1	265000 руб. 275000 руб.	Швейцария
50	Системная панель RCC-02/RCC-03	13500 руб.	Швейцария
51	ИБП Victron MultiPlus Compact 12/1200/50-16	47000 руб.	Голландия
52	ИБП Victron MultiPlus Compact 24/1600/40-16 *2	55000 руб. 54700 руб.	Голландия
53	ИБП Victron MultiPlus Compact 24/2000/50-30 *2	69000 руб. 67800 руб.	Голландия
54	ИБП Victron MultiPlus 24/3000/70-50 *2	105000 руб. 101800 руб.	Голландия
55	ИБП Victron Quattro 48/5000/70-100/100 *2	140000 руб. 149700 руб.	Голландия
56	ИБП Victron Quattro 48/10000/140-100/100 *1 *2	249000 руб. 235500 руб. 243700 руб.	Голландия
7	Панель управления VE.NET Blue Power Panel для Victron	13500 руб.	Голландия

Примечания к табл. 9:

Без цифровой метки — данные http://www.solbat.su/;

*1 — http://www.solarhome.ru/;

*2 — http://www.solnechnye.ru/;

*3 — http://www.invertory.ru/.

Из приведенных в табл. 9 данных видно, что приобретение «настоящего» инвертора является достаточно дорогим удовольствием. Поэтому стоит задуматься об использовании на наших летних жилищах (дачах и садовых участках) низковольтной бытовой аппаратуры. Такая аппаратура должна быть в первую очередь портативной (с высокой степенью транспортабельности), если учитывать беззащитность наших летних жилищ в нежилой период от посещений непрошенных гостей. Автору известен случай, когда установленный на высоких стойках огромный алюминиевый бак был демонтирован такими гостями и увезен не меньше чем на бортовом грузовике.

Если речь идёт о портативных радиоприемниках, телевизорах, нет- и ноотбуках, ридерах, светодионых светильниках и т. п., то здесь нет особых проблем. Наибольшую головную боль вызывает такое энергоёмкое устройство как холодильник, когда произвольно непредсказуемое выключение сети приводит к порче продуктов. Если в доисторический период (до подключения электричества) использовалось опускаемое в колодец ведро с минимальным набором продуктов, то при наличии старенького холодильника с морозильной камерой ведро с замороженными продуктами проблему уже не решает. Если ориентироваться на холодильники с низковольтным питанием, то такие холодильники уже разработаны для автомобилистов, хотя по цене они заметно дороже аналогичных бытовых.

3. Заключение

В результате анализа собранных сведений по солнечной энергетике и её элементам

1. Установлена заинтересованность многих стран мира в развитии такой энергетики, примерами которой являются программы «1000 солнечных крыш» (Германии), «1000000 солнечных крыш» (США), закон о «зеленом тарифе», являющийся по существу законом о господдержке солнечной энергетики во многих странах, включая Белоруссию, Украину, Монголию и Россию.

2. Определены перспективные области России для размещения солнечных электростанций (СЭС).

3. Проанализированы основные эксплуатационные характеристики солнечных батарей (СБ) и рассмотрена методика ориентировочных расчётов в зависимости от вида нагрузки (постоянного или переменного тока), потребляемой мощности, географического положения, времени года, среднестатистических данных о погодных условиях, имеющихся как на русскоязычных, так и на сайте NASA.

4. Выявлены основные типы аккумуляторных батарей (АКБ), пригодных для накопления и хранения генерируемой СБ электрической энергии, и сформулированы основные требования к условиям их эксплуатации по критерию обеспечения максимального срока службы.

5. Определены требования к контроллерам заряда/разряда АКБ в зависимости от мощности СЭС. Установлено, что наиболее дешевые ШИМ- контроллеры целесообразно использовать в небольших СЭС — мощностью от 100 Вт до 2 кВт, а при больших мощностях — более дорогие MPPT контроллеры (с поиском точки максимальной мощности), для которых требуется провести дополнительное исследование оптимального соотношения цена–эффективность–мощность СЭС.

6. Установлено, что при выборе инвертора необходимо в первую очередь ориентироваться на вид нагрузки. Если это приборы с низковольтным питанием (портативные радиоприемники, телевизоры, ноотбуки, светодиодные светильники, автомобильные холодильники и т. п.), то инвертор в таком случае не требуется. При нагрузке с напряжением питания ~220 В целесообразно выбирать инвертор с так называемой чистой синусоидой (как в коммунальной сети), поскольку более дешевые инверторы с модифицированной синусоидой в большинстве случаев (за исключением электроосвещения и нагревателей) не обеспечивают безопасную работу приборов как бытового, так и специального назначения.

Список литературы

1. Голицын М.В. Альтернативные энергоносители / М.В. Голицын, А.М. Голицын, Н. В. Пронина; Отв. ред. Г.С. Голицын. — М.: Наука, 2004, 159 с.

2. Иванова И.Ю., Петров Н.А., Тугузова Т.Ф. Системная оценка эффективности вариантов энерго-, топливоснабжения децентрализованных потребителей: методические подходы и результаты исследований. Режим доступа: ecfor.ru›pdf.php?id=seminar/energo/z123, (дата обращения 20.12.2013).

3. Возобновляемые источники энергии: теоретические основы, технологии, технические характеристики, экономика / Отв. ред. З.А. Стычинский и Н.И. Воропай. — Магдебург: изд. университета им. Отто фон Герике, 2010, 223 с.

4. Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики // Физика и техника полупроводников, 2004, Т.38, вып.8, с. 937-948.

5. Болотовский В.И., Вайсгант З.И. Эксплуатация, обслуживание и ремонт свинцовых аккумуляторов. Л.:, Энергоатамиздат, 1989, 311 с.

6. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. М.: СОЛОН-Пресс, 2005, 416 с.