

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА (национальный
исследовательский университет)»**

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

Методические указания к лабораторной работе

САМАРА 2012

УДК 621.3(075)

ББК 31.280.7

Составители: В.В. Бирюк, А.А. Горшкалев, С.К. Крюков, С.О. Некрасова, Д.В. Сармин, Д.А. Угланов Д.А.

Фотоэлектрическая энергетическая станция : Метод. указания / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. В.В. Бирюк, А.А. Горшкалев, С.К. Крюков, С.О. Некрасова, Д.В. Сармин, Д.А. Угланов Д.А.; Самара, 2012. – 54 с.

Приведены основы методики расчета параметров солнечной электростанции. Рассмотрены основные схемы реализации на практике солнечных энергосберегающих систем.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 160301 Авиационные двигатели и энергетические установки, для специализации «Менеджмент энергосберегающих технологий», направление подготовки специалистов 160700.65 Проектирование авиационных и ракетных двигателей, направления подготовки магистров 160700.68 Двигатели летательных аппаратов, а также может быть полезно слушателям курсов, аспирантам и специалистам, изучающим современные энергосберегающие технологии. Разработано на кафедре теплотехники и тепловых двигателей.

Табл. 10. Ил. 11. Библиогр. 4 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Н. Матвеев

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Энергия Солнца.....	5
2. Солнечный коллектор.....	8
3. Разновидности солнечных коллекторов.....	8
4. Фотоэлектрическая энергия.....	9
5. Проектирование солнечных установок.....	12
6. Оценка ресурсов.....	13
7. Расчет солнечной электростанции.....	14
7.1 <i>Определение суммарной мощности всех потребителей, подключаемых одновременно и работающих определенное время в сутки (неделю).....</i>	<i>14</i>
7.2 <i>Определение емкости аккумуляторной батареи (АКБ).....</i>	<i>15</i>
7.3 <i>Определение суммарной мощности и количества солнечных модулей.....</i>	<i>16</i>
7.4 <i>Определение количества солнечных модулей.....</i>	<i>16</i>
7.5 <i>Пример расчета автономной системы бесперебойного энергоснабжения (гибридная система - солнечная электростанция + промышленная электросеть)..</i>	<i>17</i>
7.6 <i>Ценовые характеристики оборудования.....</i>	<i>18</i>
8. Лабораторная работа «Исследование энергетических характеристик фотоэлектрического преобразователя».....	19
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	32
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	33
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	43

ВВЕДЕНИЕ

Дефицит топлива и возрастающее загрязнение окружающей среды отходами производств, использующих невозобновляемые источники энергии, поставили перед человечеством вопрос о применении экологически чистых, возобновляемых источников энергии, к которым относится, в том числе, и солнечная энергия. Она обладает наибольшим потенциалом для будущего применения в качестве нового источника энергии, использование которого позволит обеспечить человечество необходимым количеством энергии. При этом опыт современных разработок в автомобилестроение и самолетостроение позволяют говорить о том, что солнечные системы энергоснабжения могут использоваться в качестве источников энергии.

1. Энергия Солнца

Солнечная энергия - наиболее энергоемкий, дешевый, но и, пожалуй, наименее используемый человеком источник энергии.

Всего за три дня Солнце посылает на Землю столько энергии, сколько её содержится во всех разведанных запасах ископаемых топлив, а за 1 сек. - 170 млрд. Дж. Большую часть этой энергии рассеивает или поглощает атмосфера, особенно облака, и только треть её достигает земной поверхности. Вся энергия, испускаемая Солнцем, больше той её части, которую получает Земля, в 5 млрд. раз. Но даже такая малая величина в 1600 раз больше энергии, которую дают все остальные источники, вместе взятые. Солнечная энергия, падающая на поверхность одного озера, эквивалентна мощности крупной электростанции.

Использование всего лишь 0,0125% энергии Солнца могло бы обеспечить все сегодняшние потребности мировой энергетики, а использование 0,5% полностью покрыть потребности на перспективу. К сожалению, вряд ли когда-нибудь эти громадные потенциальные ресурсы удастся реализовать в больших масштабах. Только очень небольшая часть этой энергии может быть практически использована. Едва ли не главная причина подобной ситуации – слабая плотность потока солнечной энергии. Простой расчет показывает, что если снимаемая с 1 м² освещенной солнцем поверхности мощность в среднем составляет 160 Вт, то для генерирования 100 тыс. кВт нужно снимать энергию с площади в 1,6 км². Ни один из известных в настоящее время способов преобразования энергии не может обеспечить экономическую эффективность такой трансформации.

Выше говорилось о средних величинах. Доказано, что в высоких широтах плотность солнечной энергии составляет 80 - 130 Вт/м², в умеренном поясе - 130 - 210, а в пустынях тропического пояса 210 - 250 Вт/м². Это означает, что наиболее благоприятные условия для использования солнечной энергии существуют в развивающихся странах Африки, Южной Америки, в Японии, Израиле, Австралии, в отдельных районах США (Флорида, Калифорния). В СНГ в районах, благоприятных для этого, живет примерно 130 млн. человек, в том числе 60 млн. в сельской местности.

Однако даже при наилучших атмосферных условиях (южные широты, чистое небо) плотность потока солнечного излучения составляет не более 250 Вт /м². Поэтому, чтобы коллекторы солнечного излучения «собирали» за год энергию, необходимую для удовлетворения всех потребностей человечества, нужно разместить их на территории 130 000 км². Необходимость использовать коллекторы огромных размеров, кроме того, влечет за собой значительные материальные затраты, Простейший коллектор солнечного излучения представляет собой зачерненный металлический (как правило, алюминиевый) лист, внутри которого располагаются

трубы с циркулирующей в ней жидкостью. Нагретая за счет солнечной энергии, поглощенной коллектором, жидкость поступает для непосредственного использования. Согласно расчетам изготовление коллекторов солнечного излучения площадью 1 км², требует примерно 10000 тонн алюминия. Доказанные же на сегодня мировые запасы этого металла оцениваются в $1,17 \cdot 10^9$ тонн.

Из выше изложенного ясно, что существуют разные факторы, ограничивающие мощность солнечной энергетики.

Солнечная энергетика относится к наиболее материалоемким видам производства энергии. Крупномасштабное использование солнечной энергии влечет за собой гигантское увеличение потребности в материалах, а, следовательно, и в трудовых ресурсах для добычи сырья, его обогащения, получения материалов, изготовление гелиостатов, коллекторов, другой аппаратуры, их перевозки. Пока ещё электрическая энергия, рожденная солнечными лучами, обходится намного дороже, чем получаемая традиционными способами. Ученые надеются, что эксперименты, которые они проводят на опытных установках и станциях, помогут решить не только технические, но и экономические проблемы.

Но, тем не менее, станции-преобразователи солнечной энергии строят, и они работают.

Солнечную радиацию при помощи гелиоустановок преобразуют в тепловую или электрическую энергию, удобную для практического применения. В южных районах нашей страны созданы десятки солнечных установок и систем. Они осуществляют горячее водоснабжение, отопление и кондиционирование воздуха жилых и общественных зданий, животноводческих ферм и теплиц, сушку сельскохозяйственной продукции, термообработку строительных конструкций, подъем и опреснение минерализованной воды и др.

С 1988 года на Керченском полуострове работала Крымская солнечная электростанция. Она невелика - мощность всего 5 МВт. Она работала без каких-либо выбросов в окружающую среду, что особо важно в курортной зоне, и без использования органического топлива. Работая 2000 часов в год, станция вырабатывала 6 млн. кВт электроэнергии.

С начала 50-х годов в нашей стране космические летательные аппараты используют в качестве основного источника энергопитания солнечные батареи, которые непосредственно преобразуют энергию солнечной радиации в электрическую. Они являются практически незаменимым источником электрического тока в ракетах, спутниках и автоматических межпланетных станциях.

Освоение космического пространства позволяет разрабатывать проекты солнечно-космических электростанций для энергоснабжения Земли. Эти станции, в отличие от земных, не только смогут получать более плотный поток теплового солнечного излучения, но и не зависят от погодных условий и смены дня и ночи. Ведь в космосе Солнце сияет с неизменной

интенсивностью.

Продолжается изучение возможностей более широкого использования гелиоустановок: «солнечные» крыши на домах для энерго- и теплоснабжения, «солнечные» крыши на автомобилях для подзарядки аккумуляторов, «солнечные» фермы в сельских районах и т.д.

Ученые и энергетики продолжают вести работу по поиску новых более дешевых возможностей использования солнечной энергии. Возникают новые идеи, новые проекты.

2. Солнечный коллектор

Солнечный коллектор - это прибор, предназначенный для поглощения радиации солнечных лучей и трансформации их в тепловую энергию, которая может в дальнейшем использоваться в целях энергоснабжения. Все его конструктивные особенности сводятся к максимальному поглощению солнечной энергии и минимальным потерям тепла. Эффективность коллектора определяется количеством солнечной энергии поглощенной, преобразованной в тепловую, и потерями тепла при этом процессе.

3. Разновидности солнечных коллекторов

Существует два вида солнечных коллекторов: плоские и вакуумные.

Плоский солнечный коллектор

Плоский - самый простой вид солнечного коллектора. Единичный модуль - плоская пластина размером около 2 м². Плоские коллекторы устанавливаются на крышах зданий под некоторым углом для наибольшего попадания солнечных лучей. Это максимально простая и надежная конструкция с высоким КПД. Плоский солнечный коллектор состоит из легкого корпуса; прозрачной изоляции; медного металлического абсорбера с панелью, поглощающей энергию солнца; минеральной ваты и теплоизоляционного шара.

Однако некоторые плоские солнечные коллекторы имеют сложную систему управления и требуют отдельных затрат энергии для своей работы. Поэтому в частном строительстве они практически не применяются.

Вакуумный солнечный коллектор

В своей конструкции вакуумный солнечный коллектор имеет трубчатую систему изоляции медного абсорбера. Каждая трубка вставлена в запаянный стеклянный сосуд, отсюда и его название. Вакуум служит теплоизолирующим материалом, поскольку он совсем не проводит

тепло. Поэтому можно полностью исключить потерю энергии на конвекцию и теплопроводность. Следовательно, вакуумный солнечный коллектор имеет минимальные потери тепла.

Вакуумный солнечный коллектор производит почти в два раза больше тепла, нежели плоский. Однако слишком большая стоимость препятствует использованию его в домашних условиях. Конечно, использование солнечных коллекторов значительно снизило бы расходы на энергетику и «разгрузило» отечественные энергосистемы. Однако для этого необходимо потратить много сил и средств на разработку нового оборудования и адаптацию его к условиям нашей страны.

4. Фотоэлектрическая энергия

Производительность фотоэлектрических элементов зависит от уровня солнечной радиации. Фотоэлементы объединяют в модули, составляющие основной компонент фотоэлектрических систем. Модули рассчитаны на разное напряжение вплоть до нескольких сотен вольт. Достигают этого последовательным соединением фотоэлементов и модулей. Для питания электроприборов переменного тока используются инверторы.

Чаще всего для фотоэлементов СФЭУ используются кремний, Cu(In,Ga)Se_2 и арсенид галлия (GaAs), причём в последнем случае речь идёт о гетерофотопреобразователях (ГФП) со структурой AlGaAs-GaAs.

КПД фотоэлементов рассчитывается как процентное соотношение между энергией, поступившей на фотоэлемент, и электроэнергией, полученной потребителем. Различают теоретическую, лабораторную и практическую эффективность. Важно знать разницу между ними, а для пользователей фотоэлементов, конечно, имеет значение только практический КПД.

Для фотоэлементов массового производства он составляет:

- монокристаллический кремний: 16-17%;
- поликристаллический кремний: 14-15%;
- аморфный кремний: 8-9%.

Фотоэлектрические системы подразделяют на:

Автономные, которые состоят только из фотоэлектрических панелей. Кроме того, в них могут входить регуляторы и аккумуляторы.

Гибридные, представляющие собой комбинацию фотоэлементов и дополнительных средств для производства электричества с использованием ветра, дизельного топлива или природного газа. В таких системах часто используются аккумуляторы и регуляторы меньшего размера.

Системы, соединенные с электросетью. Фактически они являются небольшими

электростанциями, поставляющими электроэнергию в общую энергосеть.

Автономная солнечная электростанция в общем случае состоит из:

- набора солнечных модулей, размещенных на опорной конструкции или на крыше;
- аккумуляторной батареи (АКБ);
- контроллера разряда-заряда аккумулятора;
- соединительных кабелей;
- инвертора - преобразователя постоянного напряжения в переменное 220В (50 Гц).



Рисунок 1 - Автономная солнечная энергосберегающая система

Для обеспечения энергией в темное время суток или в периоды без яркого солнечного света необходима аккумуляторная батарея. Солнечные электростанции с аккумуляторами могут проектироваться для снабжения электричеством как постоянного, так и переменного токов. Для получения переменного тока в конструкцию солнечных электростанций добавляется инвертор.

Резервные солнечные системы энергоснабжения используются там, где есть соединение с сетью централизованного электроснабжения, но сеть ненадежна.

Резервные сетевые солнечные системы могут использоваться для снабжения электроэнергией в периоды времени, когда отсутствует напряжение в центральной сети. Малые сетевые солнечные системы электроснабжения могут обеспечивать электроэнергией только наиболее важные объекты, такие как освещение, компьютер, средства связи, телефон, радио, факс и подобные.

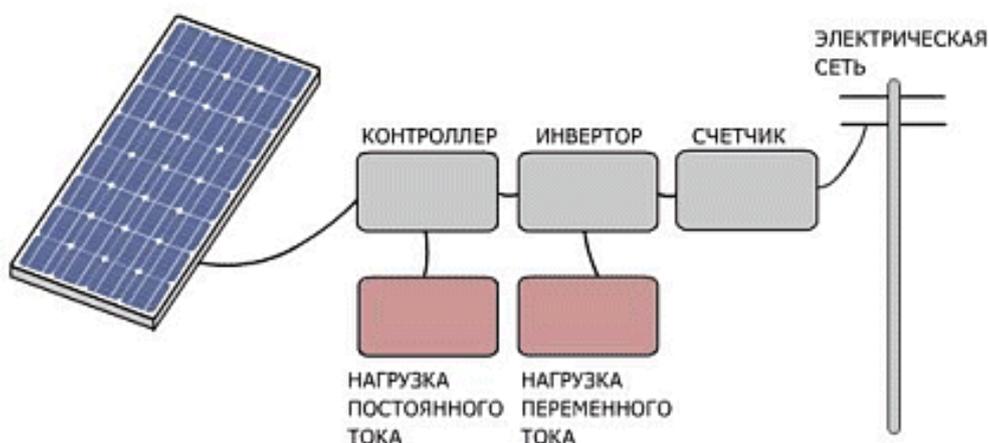


Рисунок 2 - Резервная сетевая солнечная энергосберегающая система

Более крупные системы могут обеспечивать энергией и холодильник во время отключения сети. Чем больше мощность необходимая для питания ответственной нагрузки, и чем дольше периоды отключения сети, тем больше необходимая мощность солнечной энергосберегающей системы.

В случае подключения солнечной энергосберегающей системы к сети, после полного заряда аккумуляторных батарей, излишек электроэнергии поступает в центральную сеть электроснабжения и владельцу такой системы начисляется компенсация за отданную в общую сеть электроэнергию.

5. Проектирование установок

При проектировании фотоэлектрической установки сначала необходимо определить потребность в энергии. После этого рассчитывается общее суточное потребление в ампер-часах. Из общего суточного и недельного потребления выводится общий объем аккумуляции энергии. Нужно учесть количество пасмурных дней, когда установка должна функционировать. Наконец, нужно оценить, сколько потребуется фотоэлектрических модулей для производства достаточного количества энергии. Фотоэлектрическую установку можно комбинировать и с другими источниками энергии. Удачно сочетаются, например, небольшой ветрогенератор и фотоэлементы. Полученная энергия может заряжать свинцовый или никель-кадмиевый аккумулятор.

6. Оценка ресурсов

Доступная солнечная энергия изменяется в течение дня из-за относительного движения Солнца и в зависимости от облачности. В полдень при ясной погоде энергетическая освещенность,

создаваемая Солнцем, может достигать 700 Вт/м², тогда как в условиях плотной облачности она может упасть до 100 Вт/м² и ниже. Количество солнечной энергии меняется с углом наклона установки и ориентацией ее поверхности, снижаясь по мере удаления от южного направления.

Фотоэлементы заводского производства имеют определенную номинальную мощность, выраженную в ваттах пиковой мощности (Вт_п). Это показатель их максимальной мощности в стандартных условиях испытаний, когда солнечная радиация близка к своему максимальному значению в 700 Вт/м², а температура поверхности фотоэлемента 25 °С. На практике же фотоэлементам редко приходится работать в таких условиях. Приблизительно мощность (*P*) фотоэлектрической системы оценивается по формуле:

$$P = P_p \times I \times PR \text{ кВт}\times\text{ч/день}$$

где:

P_p - номинальная мощность, эквивалентная КПД, умноженному на площадь в м²;

I - экспозиция солнечного излучения на поверхности, в кВт×ч/м² в день (таблица 1) ;

PR - коэффициент производительности системы.

Типичные коэффициенты производительности:

- 0,8 для систем, соединенных с сетью;
- 0,5-0,7 для гибридных систем;
- 0,2-0,3 для автономных систем, используемых круглый год.

7. Расчет солнечной электростанции

Под расчетом автономной системы бесперебойного энергоснабжения (СБЭП) понимается выбор типа, условий эксплуатации и емкости АКБ; определение мощности солнечных модулей, их количества, схемы соединения; мощности инвертора и контроллера заряда-разряда; определение параметров соединительных кабелей.

7.1 Определение суммарной мощности всех потребителей, подключаемых одновременно и работающих определенное время в сутки (неделю)

Для оценки суммарной мощности всех потребителей необходимо перемножить мощность каждого из потребителей на время его работы для определения требуемой энергии в Вт×ч в неделю. Далее все эти данные суммируются для вычисления полной нагрузки переменного тока в ватт×часах в неделю.

Пример расчета полной нагрузки приведен в Таблице 1.

Таблица 1 Среднесуточное значение солнечной освещенности (*I*) в Европе в кВт×ч/м² в день

(наклон к югу, угол наклона к горизонту 30°)

	Южная Европа	Центральная Европа	Северная Европа
январь	2,6	1,7	0,8
февраль	3,9	3,2	1,5
март	4,6	3,6	2,6
апрель	5,9	4,7	3,4
май	6,3	5,3	4,2
июнь	6,9	5,9	5,0
июль	7,5	6,0	4,4
август	6,6	5,3	4,0
сентябрь	5,5	4,4	3,3
октябрь	4,5	3,3	2,1
ноябрь	3,0	2,1	1,2
декабрь	2,7	1,7	0,8
За год	5,0	3,9	2,8

На этом этапе уже можно выбрать мощность инвертора, которая должна быть не менее чем в 1,1 раза больше расчетной. Следует иметь в виду, что, к примеру, компрессорный холодильник в момент запуска потребляет мощность в 7 раз больше паспортной, поэтому при подборе инвертора необходимо обратить внимание на пиковую мощность. Для мощных станций (более 1 кВт) напряжение станции выбирается не менее 48В, так как на больших мощностях инверторы лучше работают с более высоких исходных напряжений.

7.2 Определение емкости аккумуляторной батареи (АКБ)

Расчетная емкость получается простым делением суммарной мощности потребителей на произведение напряжения АКБ и на значение глубины разряда аккумулятора в долях.

Например, если суммарная мощность потребителей $W=25836,8$ Вт×ч в неделю, а допустимая глубина разряда АКБ $U_{АКБ}=12В - n=50\%$, то расчетная емкость составит:

$$C = W : t : (U_{АКБ} \times n) = 25836,8 : 7 : (12 \times 0,5) = 615,2 \text{ (А} \times \text{ч)},$$

где t – количество дней в неделю.

При расчете емкости АКБ в полностью автономном режиме необходимо принимать во внимание пасмурные дни, в течение которых аккумулятор должен обеспечивать работу потребителей. При этом необходимо умножить расчетную емкость АКБ в сутки на число дней без солнца, характерное для местности, где устанавливается СБЭП. Это количество электричества, которое нужно запасти в АБ. Если таких дней $l=2$, то итоговая расчетная емкость АКБ составит:

$$C_{\Sigma} = C \times l = 615,2 \times 2 = 1230,4 \text{ (А}\times\text{ч)}$$

7.3 Определение суммарной мощности и количества солнечных модулей

Для расчета потребуется значение среднего количества пиковых солнечных часов в вашей местности (из метеокарт или таблиц). Часто в средней полосе России этот показатель составляет $z = 5$ дней в неделю.

Учитывая потери на заряд-разряд аккумуляторной батареи (обычно $b=20\%$ при использовании специальных батарей, при использовании обычных стартерных батарей до 50%), определяем требуемое число C_d А×ч от СБ в сутки:

$$C_d = C_{\Sigma} \times (1+b) : z = 1230,4 \times 1,2 : 5 = 295,3 \text{ (А}\times\text{ч)}.$$

7.4 Определение количества солнечных модулей

Зная ток фотоэлектрического модуля в точке максимальной мощности (см. спецификации производителя), например $I=7\text{А}$, определяется количество солнечных модулей:

$$N = C_d / I = 295,3 : 7 = 42,2 \text{ (ед.)}$$

Таким образом, солнечная электростанция, собранная из 43-х солнечных модулей, инвертора мощностью от 2,2 кВт, 13 необслуживаемых аккумуляторов (единичной емкостью 100 А×ч), выбранные в соответствии с C_{Σ} , способна полностью в автономном режиме обеспечить потребителя требуемой энергией 25836,8 Вт×ч в неделю или 3691 А×ч в сутки.

При проектировании настоятельно рекомендуется максимально снизить мощность потребителей. Например, в качестве осветителей использовать (по возможности) только энергосберегающие лампы. Такие светильники при потреблении в 5 раз меньшем, обеспечивают световой поток, эквивалентный световому потоку лампы накаливания.

На небольших ФЭС целесообразно устанавливать модули на поворотном кронштейне для оптимального разворота относительно падающих лучей. Это позволит увеличить мощность станции на 20-30%.

7.5 Пример расчета автономной системы бесперебойного энергопитания (гибридная система - солнечная электростанция + промышленная электросеть)

При расчете системы все пошаговые операции аналогичны указанным выше, однако не учитываются пасмурные дни, т.е. не берется в расчет необходимость дополнительных АКБ и солнечных панелей. Расчет потребного количества электроэнергии представлен в таблице 2.

При этих условиях емкость АКБ составит:

$$C = W : m : (U_{АКБ} \times n) = 25836,8 : 7 : (12 \times 0,5) = 615,2 \text{ (А} \times \text{ч)},$$

Суммарная мощность солнечных модулей (при отсутствии пасмурных дней):

$$C_{\Sigma} = C \times I = 615,2 \times 1,2 : 7 = 105,5 \text{ (А} \times \text{ч)}$$

Количество солнечных модулей (при токе фотоэлектрического модуля равному 7А):

$$105,5 : 7 = 15,1 \text{ (ед.)}$$

При применении гибридной системы цена по комплектации уменьшается более чем в 2 раза. При этом стоимость забранной электроэнергии от электросети вполне компенсируется работой системы в автономном режиме.

Таблица 2 Пример расчета полной нагрузки

Нагрузка переменного тока, питаемая через инвертор	Мощность, Вт	Кол-во	час/нед.	Вт×ч/нед.
<i>Кофеварка</i>	800	1	2	1600
<i>Микроволновая печь</i>	800	1	1	800
<i>Холодильник</i>	300	1	50	1500С
<i>TV/DVD 19"</i>	40	1	28	1120
<i>Радиочасы</i>	1	1	168	168
<i>Энергосберегающие лампы 20 Вт</i>	20	6	40	4800
<i>Итого</i>	1961			23488
<i>Всего с учетом КПД инвертора=90%</i>				W=25836,8

7.6 Ценовые характеристики оборудования

В 2010-2011гг. цены на комплектные солнечные электростанции варьируются в диапазоне 250...500 тыс. руб. (в зависимости от комплектующих) за 1 кВт установленной мощности. В эту стоимость входит весь комплект необходимого оборудования: фотопанели (ФП), соединители ФП, монтажные конструкции, заряд-контроллер, автомат защиты постоянного тока, УЗО постоянного тока, бокс для коммутации и автоматов защиты, инвертор, системный контроллер, байпас инвертора, комплект АКБ.

При наличии централизованной сети энергоснабжения это оборудование имеет очень долгий срок окупаемости. Оно больше подойдет для потребителей, не имеющих доступа к централизованной сети, а также там, где затруднена поставка жидкого и газообразного топлива для эксплуатации дизельных или газопоршневых энергоустановок.

Развитие технологий и серийное освоение позволяют постоянно снижать цену киловатта установленной мощности. Особенно привлекательны эти решения (с точки зрения цены), когда существуют жесткие лимиты на подключение электроэнергии (нет возможности выделить требуемое количество электричества потребителю), высока стоимость технологического присоединения или есть другие обременения, накладываемые распределительными организациями (прокладка линий электропередач, установка понижающих трансформаторов за свой счет).

8. Порядок выполнения лабораторной работы «Исследование энергетических характеристик фотоэлектрического преобразователя»

8.1 Законы фотоэффекта

Преобразование энергии в ФЭП (фотоэлектрический преобразователь) основано на фотоэлектрическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения. Чаще всего для фотоэлементов СФЭУ используются кремний, Cu(In,Ga)Se_2 и арсенид галлия (GaAs), причём в последнем случае речь идёт о гетеро фотоэлектрических преобразователях (ГФЭП) со структурой AlGaAs-GaAs.

1. Внешним фотоэффектом называется явление испускания электронов веществом под действием света, поглощаемого этим веществом.

Экспериментально установлены три основных закона внешнего фотоэффекта, справедливые для любого материала фото эмиттера:

1) количество электронов, испускаемых в единицу времени (сила фототока в режиме насыщения), пропорционально интенсивности света (закон Столетова);

2) для каждого вещества при определенном состоянии его поверхности существует "красная граница" внешнего фотоэффекта ω_0 , где ω_0 такая частота света, меньше которой ($\omega < \omega_0$) фотоэлектронная эмиссия не наблюдается;

3) максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно растет с частотой света и не зависит от его интенсивности (закон Эйнштейна).

Все эти закономерности находят исчерпывающее объяснение на основе фотонных представлений о свете (М. Планк, 1900г.; А. Эйнштейн, 1905г.).

При облучении вещества светом его электроны получают энергию не непрерывно, а порциями (квантами). Энергия каждой порции равна:

$$\varepsilon = \eta\omega, \quad (1)$$

где $\eta = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ - постоянная Планка;

ω - циклическая частота световой волны.

Позже эти порции энергии света были названы фотонами.

Чем больше интенсивность света определенной частоты, тем больше фотонов с определенной энергией падает на поверхность вещества в единицу времени и, следовательно, больше выбивается электронов. Если все выбитые электроны являются носителями электрического тока в цепи (режим тока насыщения), то сила этого тока будет пропорциональна интенсивности света. То есть действительно должен выполняться закон Столетова.

Если энергии одного фотона не достаточно, чтобы выбить электрон, то фотоэффекта не будет, сколько бы таких фотонов ни падало на вещество. При этом предполагается, что электрон может поглотить только один фотон; вероятность же одновременного поглощения двух и более фотонов ничтожно мала. Следовательно, действительно должна существовать «красная граница» фотоэффекта.

Назовем **наименьшую** энергию, необходимую для освобождения электрона из данного вещества, работой выхода A_B .

Тогда для электрона, которому достаточно для освобождения именно этой энергии и который поглотил фотон с энергией $\eta\omega$, можно записать:

$$\eta\omega = A_B + E_{K.MAKC}, \quad (2)$$

где $E_{K.МАКС} = \frac{mv_{МАКС}^2}{2}$ - максимально возможная кинетическая энергия выбитых электронов

при данной энергии поглощенного фотона $\eta\omega$ и работе выхода A_B . Эта формула является, по сути, законом сохранения энергии и называется **уравнением Эйнштейна для фотоэффекта**.

Так как началу фотоэффекта соответствует очевидное условие $E_{K.МАКС} = 0$, то из уравнения Эйнштейна следует выражение для красной границы фотоэффекта:

$$\omega_0 = \frac{A_B}{\eta}. \quad (3)$$

Выражая из (2) максимальную кинетическую энергию электрона получаем, что она действительно пропорциональна частоте света и не зависит от интенсивности светового потока:

$$E_{K.МАКС} = \eta\omega - A_B. \quad (4)$$

8.2 Спектральная зависимость фотоэлектронной эмиссии.

Одной из важнейших характеристик фотоэмиттера является его **квантовая эффективность** (**квантовый выход**) Y [1]. Пусть на фотоэмиттер падает в единицу времени $n \gg 1$ фотонов. Тогда число электронов n_e , испускаемых этим фотоэмиттером за единицу времени, равно:

$$n_e = Yn. \quad (5)$$

Если энергия фотона меньше значения, соответствующего красной границе фотоэффекта ω_0 , квантовый выход равен нулю (фотоэффект не наблюдается). При увеличении частоты света ($\omega > \omega_0$) квантовый выход быстро растет, достигая максимума при некоторой частоте ω_1 , затем уменьшается; при еще большем росте частоты может опять наблюдаться медленный рост квантового выхода. Указанный характер зависимости $Y(\omega)$ связан с энергетическими состояниями свободных электронов и наблюдается у металлов [1].

Для большинства металлов максимальное значение величины Y не превышает 0,1 при энергии фотона $\eta\omega \approx 10 \div 20 \text{ эВ}$. Кроме того, красная граница фотоэффекта для щелочных металлов соответствует энергии фотона $\varepsilon_0 \approx 3 \div 5 \text{ эВ}$, а для остальных металлов еще больше

$\varepsilon_0 \approx 10 \div 15 \text{эВ}$. Сказанное означает, что металлические фотоэммитеры нефоточувствительны в видимой области спектра и, кроме того, имеют малый квантовый выход. Поэтому чистые металлы практически не используются в качестве фотоэммитеров в электровакуумных приборах.

Эффективные фотоэммитеры в видимой и ближней ультрафиолетовой областях спектра созданы на основе полупроводниковых материалов. При этом следует отметить, что переходя от металлов к полупроводникам, нужно применять в уравнении Эйнштейна (2) вместо работы выхода $A_{\text{в}}$ другую энергию W – **порог фотоэффекта** [1]:

$$\eta\omega = W + E_{\text{К.МАКС.}} \quad (6)$$

Это связано с более сложным, чем у металлов характером энергетических состояний электронов, способных покинуть полупроводник при фотоэффекте. Существенное влияние на фотоэмиссию оказывает примесь, добавленная в полупроводник, и состояние его поверхности.

При использовании полупроводниковых фотоэммитеров удастся увеличить максимальное значение квантового выхода Y_{max} до 0,5 при пороге фотоэффекта $W = 1 \div 2 \text{эВ}$.

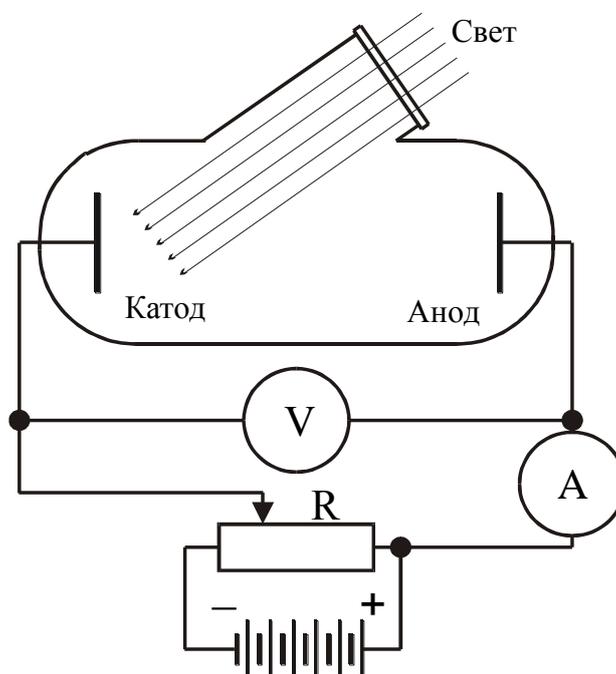


Рисунок 3 – Электрическая схема для исследования явления фотоэффекта

8.3 Вольтамперная характеристика фотоэлемента.

На рисунке 4 показана схема включения фотоэлемента, позволяющая снять его вольтамперную характеристику (ВАХ) $I(U)$.

Примерный вид таких ВАХ, полученных для одинаковой частоты, но различных интенсивностей света, представлен на рисунке 3.

Участок AB графика соответствует току насыщения $I_{\text{НАС}}$ фотоэлемента. При этом сила тока при $U > U_A$ не зависит от напряжения между катодом и анодом, потому что все электроны, выбитые светом в область пространства между катодом и анодом, достигают анода.

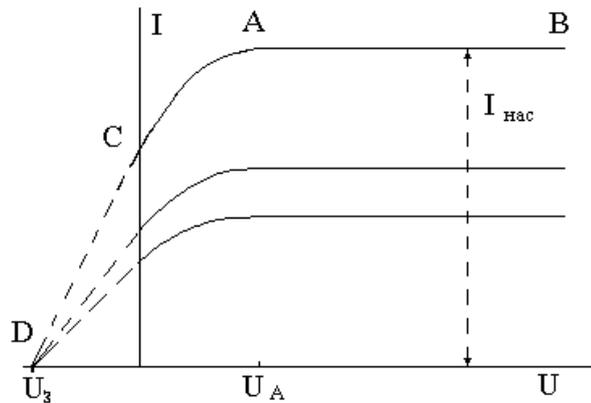


Рисунок 4 – Вольтамперная характеристика фотоэмиттера

При напряжениях $U < U_A$ электрическое поле между катодом и анодом недостаточно для того, чтобы при данной геометрии фотоэлемента собрать на аноде все выбитые электроны. Сила тока становится меньше $I_{\text{НАС}}$. Причем: при нулевом и даже отрицательном напряжении на аноде сила тока отлична от нуля. Это объясняется тем, что некоторые выбитые фотонами электроны (при $\eta\omega > W$) обладают достаточным запасом кинетической энергии для того чтобы даже в тормозящем поле достичь анода (участок графика CD).

При некоторой определенной разности потенциалов задерживающего поля $U_з$ наступает состояние, когда даже самые энергичные из летевших к аноду электронов, не коснувшись его, отбрасываются назад к катоду. Ток через фотоэлемент при этом становится равным нулю (точка D графика). Работа сил тормозящего электрического поля над электронами с максимальной кинетической энергией в момент их остановки около анода равна приращению этой энергии:

$$0 - \frac{mv_{\text{МАКС}}^2}{2} = -|eU_з|. \quad (7)$$

В реальном фотоэлементе анод и катод могут быть изготовлены из различных веществ. Поэтому между ними, кроме разности потенциалов U , обусловленной внешним источником, возникает так называемая контактная разность потенциалов $U_{\text{КОНТ}}$. Вольтметр, включенный в схему, измерить $U_{\text{КОНТ}}$ не может. Следовательно, точке D графика соответствует истинное напряжение

$$U_D = U_3 + U_{\text{КОНТ}}. \quad (8)$$

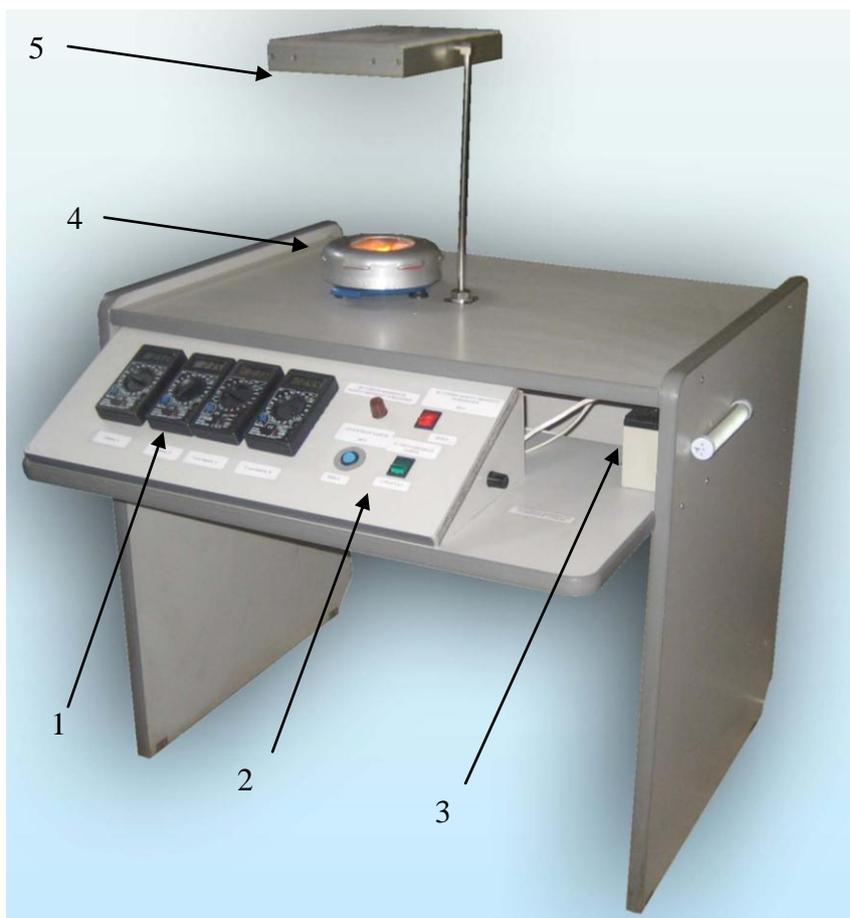


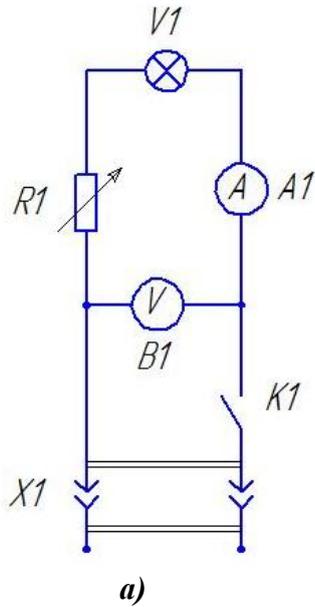
Рисунок 5 – Схема экспериментальной установки.

8.4 Описание экспериментальной установки

Учебная установка, представленная на рисунке 5, состоит из следующих элементов: 1 – комплекс измерителей тока и напряжения; 2 - блок управления; 3 – аккумулятор; 4 - источник света; 5 – фотоэлектрический преобразователь.

Принципиальная электрическая схема учебного стенда представлена на рисунке 6.

Условные обозначения на схеме:



*A1 – амперметр лампы;
A2 – амперметр солнечной панели;
Б1 – солнечная батарея;
Б2 – аккумуляторная батарея 12 В;
В1 – вольтметр лампы;
В2 – вольтметр солнечной панели;
Д1 – диод;
К1 – выключатель лампы;
К2 – переключатель солнечной батареи;
К3 – переключатель нагрузки солнечной батареи;
V1 – лампа имитирующая дневной свет;
V2 – светодиодная лампа;
R1 – реостат лампы;
R2 – реостат нагрузки солнечной панели;
X1 – розетка сети 220 В.*

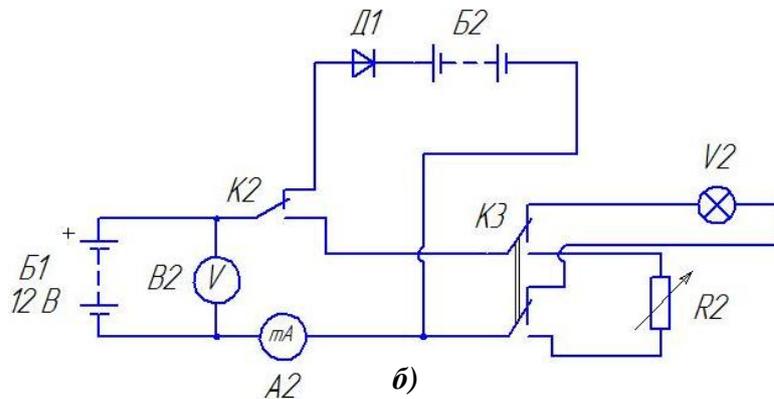


Рисунок 6 – Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки.

На электрической схеме стенда можно выделить две части. Первая относится к источнику света (рисунок 6а) состоящая из трех элементов, сама лампа (V1) ее выключатель (K1) и ее регулятор мощности (R1). Вторая схема относится непосредственно к фотоэлектрическому преобразователю (ФЭП), которая представлена на рисунке 6 б., и содержит в себе несколько элементов, главным из которых является сам преобразователь (Б1). В этой же схеме присутствует аккумуляторная батарея (Б2), подключенная последовательно к плюсовой клемме ФЭП диодом (Д1). Это сделано для предотвращения разряда батареи на ФЭП, в случае если напряжение на преобразователе ниже, чем на самой батарее. Также в схеме присутствуют два переключателя (K2 и K3). Переключатель (K2) используется для подключения к ФЭП либо аккумуляторной батареи (Б2), либо требуемой для неё нагрузки. Переключатель K3 необходим для выбора нагрузки, которым может быть как светодиодная лампа (V2), так и резистор переменного сопротивления (R2).

Сила тока и напряжение ФЭП измеряются с помощью мультиметров, порядок настройки которых на режим измерения, представлен на рисунке 7.

Источник света является лампа L , которая включается в осветительную сеть 220 В. Сила тока и напряжение источника света измеряются с помощью мультиметров, порядок установки которых на режим измерения, представлен на рисунке 7.

8.5 Методика и техника измерений. Снятие вольт-амперной характеристики (ВАХ)

1. Включить измерители напряжения и электрического тока источника света и ФЭП, в соответствии со схемой включения (рисунок 7).
2. Включить источник света в электрическую сеть. Нажатием соответствующей кнопки «Лампа искусственного освещения» (рисунок 8) осуществить подачу электрического тока на данное устройство.
3. Установить выключатель в положение «Реостат», соответствующее проведению лабораторной работы «Снятие ВАХ» (рисунок 8).
4. Установить ФЭП при угле ее наклона, равном 90° (параллельно столу, в соответствии рисунку 8).
5. Зарегистрировать значения силы тока I_l и напряжения источника света и U_l и занести в таблицу 3.
6. Зарегистрировать значения силы тока $I_{ФЭП}$ ФЭП и напряжения $U_{ФЭП}$, а затем занести в таблицу 3.
7. Изменить сопротивление фотоэлектрического преобразователя соответствующим регулятором (рисунок 8).
8. Получить $6 \div 10$ экспериментальных точек постепенно увеличивая сопротивление.



Рисунок 7 – Схема включения комплекса измерителей тока и напряжения.



Рисунок 8 – Блок управления лабораторной установкой.

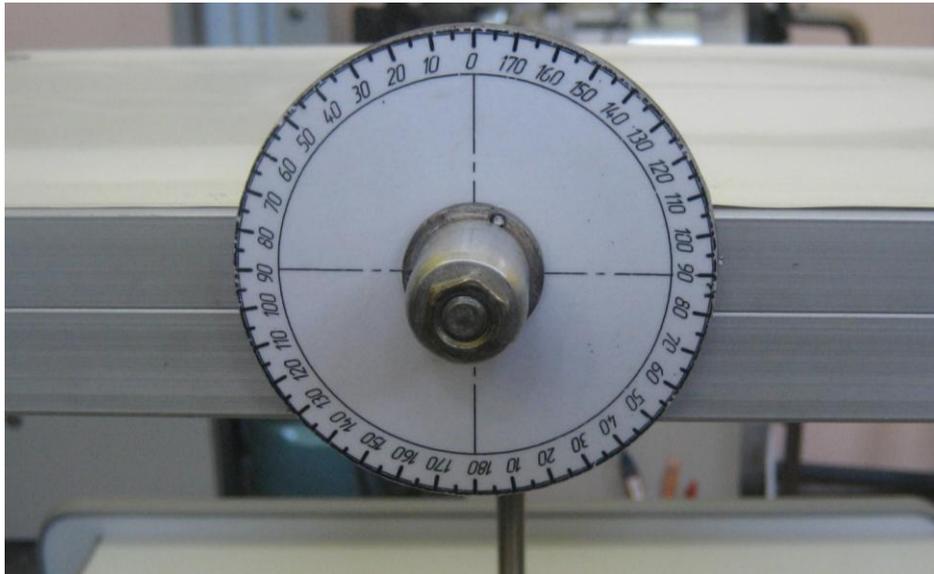


Рисунок 9 – Измеритель угла наклона фотоэлектрического преобразователя

Таблица 3 – Бланк регистрации экспериментальных данных

Показания приборов						Расчетные данные			
№	Угол наклона α , град	$I_{\text{л}}, A$	$U_{\text{л}}, B$	$I_{\text{ФЭП}}, A$	$U_{\text{ФЭП}}, B$	$P, Вт$	$W, Вт$	η	Угол реального наклона β , град

8.6 Методика и техника измерений. Исследование энергетической эффективности ФЭП в зависимости от угла падения на него светового потока

1. Включить измерители напряжения и электрического тока источника света и ФЭП, в соответствии со схемой включения (рисунок 7).

2. Включить источник света в электрическую сеть. Нажатием соответствующей кнопки «Лампа искусственного освещения» (рисунок 8) осуществить подачу электрического тока на данное устройство, далее ручкой «регулятора мощности лампы» необходимо установить требуемую мощность лампы.

3. Установить выключатель в положение «Светодиодная лампа», соответствующая проведению лабораторной работы «Исследование энергетической эффективности ФЭП в зависимости от угла падения на него светового потока» (рисунок 8).

4. Установить ФЭП при угле ее наклона, равном 90° (параллельно столу, в соответствии рисунку 8).
5. Зарегистрировать значения силы тока и напряжения источника света, занести в таблицу 3.
6. Зарегистрировать значения силы тока и напряжения ФЭП, занести в таблицу 3.
7. Изменить угол расположения фотоэлектрического преобразователя с помощью его поворота вокруг своей оси для изменения угла падения светового потока (рисунки 9 - 10).
8. Получить 6 ÷ 10 экспериментальных точек постепенно уменьшая угол падения светового потока.

Обработка экспериментальных данных

1. Рассчитать мощность, подаваемую на источник света:

$$P = I_n \times U_n \text{ (Вт)}.$$

2. Рассчитать мощность, вырабатываемую ФЭП:

$$W = I_{\text{ФЭП}} \times U_{\text{ФЭП}} \text{ (Вт)}.$$

3. Определить КПД ФЭП (при этом световой КПД источника света составляет величину около $\eta_n=0,05$):

$$\eta = W / (\eta_n \times P).$$

4. Рассчитать угол реального уклона:

$$\beta = 90 - \alpha.$$

Содержание отчёта

1. Принципиальная схема установки.
2. Протокол записи показания измерительных приборов.
3. Обработанные результаты эксперимента.
4. Графики зависимости $I_{\text{ФЭП}}=f_1(U_{\text{ФЭП}})$, $W=f_2(\beta)$ и $\eta=f_3(\beta)$. Примеры графиков представлены на рисунках 10-11.
5. Выводы.

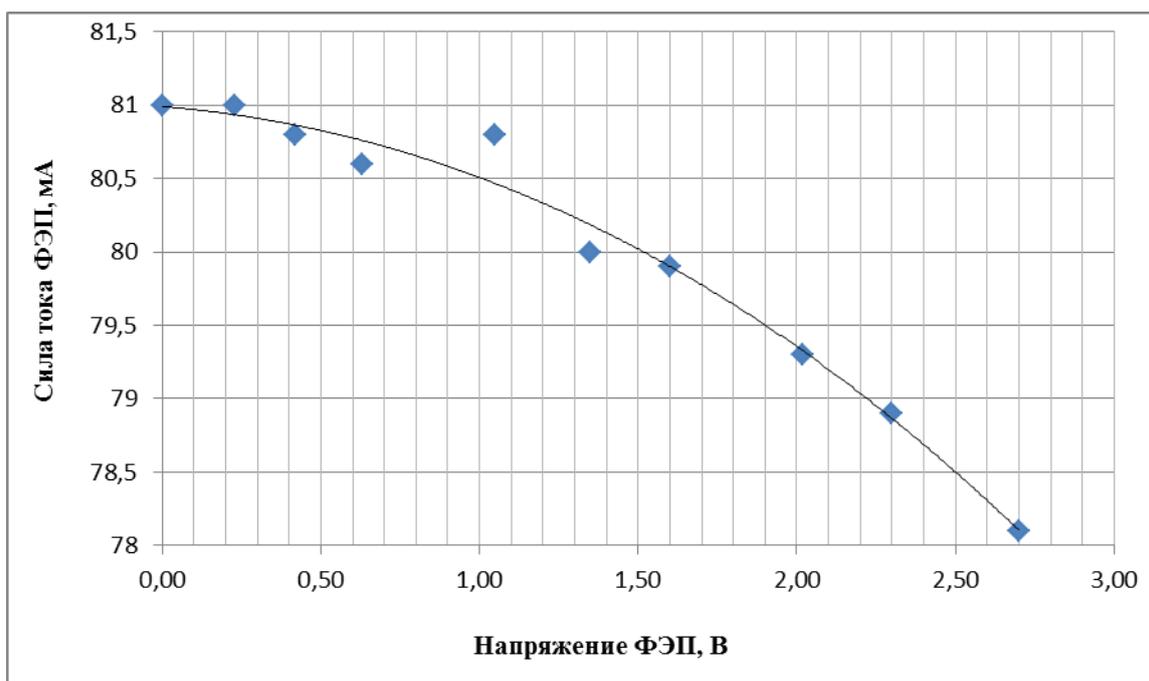


Рисунок – 10 ВАХ фотоэлектрического преобразователя

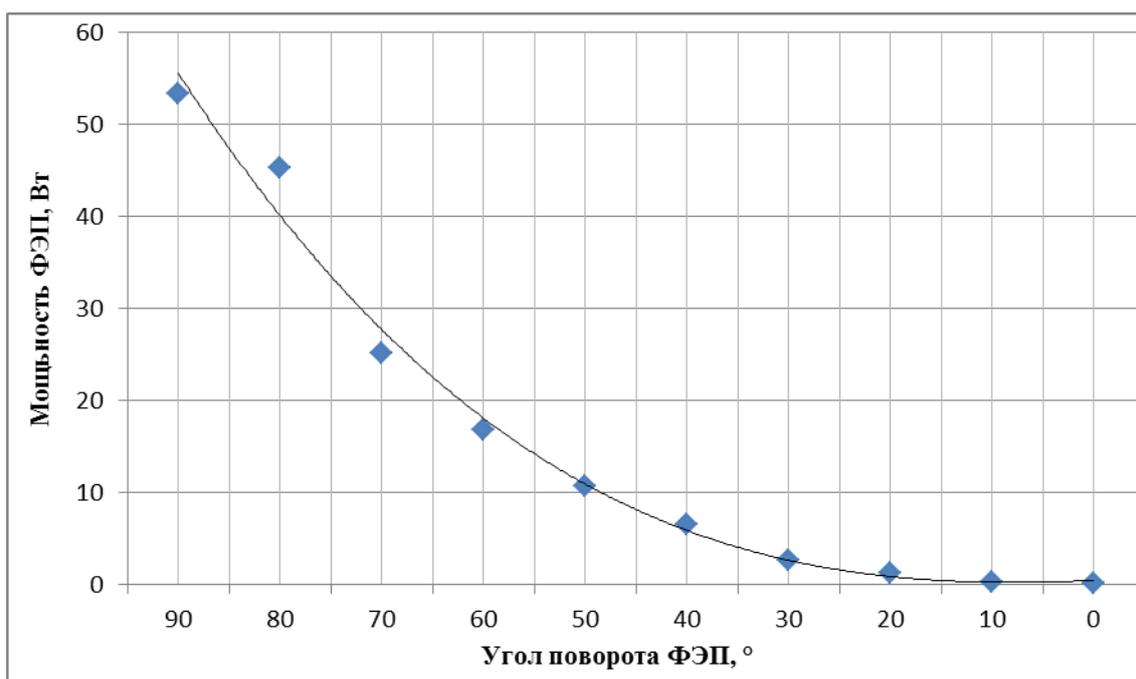


Рисунок – 11 Зависимость мощности фотоэлектрического преобразователя от угла падения светового потока

Контрольные вопросы

1. Какие источники энергии относятся к возобновляемым?
2. К каким источникам энергии относятся гелиоустановки?
3. Из каких конструктивных элементов состоит солнечно-ветроэлектрическая установка?
4. Как работает солнечный элемент?
5. Перечислите достоинства комбинированной установки.
6. Что такое внешний фотоэффект?
7. Можно ли объяснить все особенности фотоэффекта пользуясь волновой теорией света?
8. Почему при фотоэффекте ярко проявляются корпускулярные свойства света?
9. Объясните все особенности вольтамперной характеристики при фотоэффекте.
10. Что такое квантовый выход?
11. Объясните методику определения величин в данной лабораторной работе.
12. Почему чувствительность фотоэлемента называется интегральной?
13. Как влияют на величину фототока частота и интенсивность света? Объясните физическую суть этого влияния?
14. Нарисуйте график зависимости кинетической энергии фотоэлектрона от частоты падающего света. Какие величины можно вычислить, используя такой график?
15. Какие действия нужно осуществить, чтобы проверить первый закон фотоэффекта?
16. В чем состоит физическая сущность уравнения Эйнштейна для фотоэффекта?
17. Чем определяется минимальное значение фототока фотоэлемента? Какова его величина?
18. С какой целью снимают световую, вольтамперную характеристики фотоэлемента?
19. В чем состоит отличие внутреннего и внешнего фотоэффекта?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленном пособии рассмотрены особенности работы и расчета основных параметров гелеоэнергетических установок. Предложенный методический материал, позволяет рассчитать основные геометрические и энергетические характеристики солнечных электростанций.

Использование гелеоэнергетических систем только для экономии топлива оценивается как наиболее перспективное направление в настоящее время. В этом случае солнечные электростанции могут представлять собой как одиночную установку, так и мощные многоагрегатные электростанции и, следовательно, широко использоваться как большими, так и малыми энергосистемами.

Солнечные модули серии ФЭМК

Предназначены для комплектации солнечных фотоэлектрических станций автономных потребителей электричества.

Комплект модуля состоит из:

- параболоцилиндрического концентратора, выполненного из стеклянных facets;
- фотоэлектрического приемника излучения, выполненного в виде полосы скоммутированных солнечных двусторонних элементов (СЭ) в стеклопакете из термостойкого стекла, заполненном прозрачной прокачиваемой жидкостью для отвода теплоты от СЭ.

Солнечный концентратор применяется для увеличения плотности излучения на приемнике, что позволяет уменьшить количество дорогостоящих СЭ.

Использование СЭ с концентраторами увеличивает КПД преобразования солнечной энергии за счет одно-временного использования электричества и тепла, отводимого от СЭ для охлаждения.

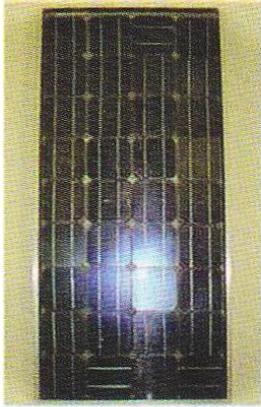
Фотоэлектрические модули с концентраторами работают круглый год без слежения за положением Солнца.

Таблица 4 Основные технические характеристики серии ФСМ

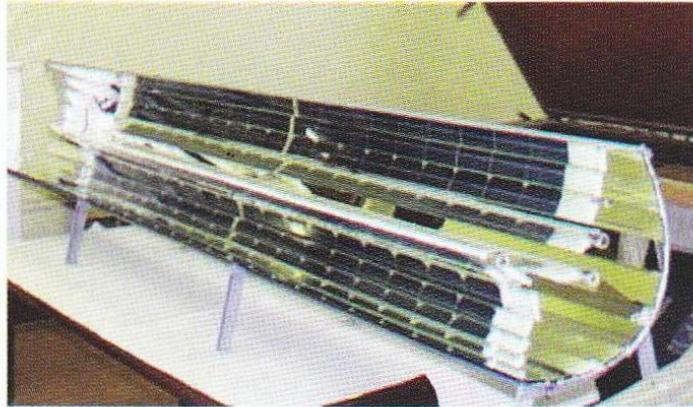
	60-17,5	150-35
Мощность, Вт	60	150
Напряжение, В	17,5	35
Ток короткого замыкания, А	3,5	
Ток нагрузки, А	3,0	
Гарантийный срок, лет	1	
Габаритные размеры, мм	1200x540x28	1200x1060x28

Таблица 5 Основные технические характеристики серии ФЭМК

Параметры	Обозначение	
	50-12	100-12
Электрическая мощность, Вт (при солнечной радиации 1000 Вт/м ²)	50	100
Напряжение (номинальное), В	12	
Площадь мишени концентратора, м ²	0,9	1,75
Концентрация излучения, крат.	3,5	
Режим работы	стационарный в течение года	-
Габаритные размеры, мм	2500x350x175	2500x700x350
Масса, кг	10	27



ФСМ с псевдо-квадратным СЭ



Солнечные фотоэлектрические модули со стационарным концентратором ФЭМК-50-12 и ФЭМК-100-12

Рисунок 12 – Фотоэлектрические модули ФЭМК

Серия — IS (Inverta-Solar)

Модули серии IS состоят из монокристаллических или мультикристаллических солнечных элементов размером 125x125 мм, заламинированных между двумя листами этиленвинилацетатной пленки (EVA).

Основные технические характеристики модулей серии IS защищены закаленным стеклом высокой прозрачности с лицевой стороны и листом Tedlar с тыльной стороны.

Фотоэлектрический модуль устойчив к механическим и климатическим воздействиям, имеет высокую влагозащищенность, высокий КПД используемых солнечных элементов (15% и выше), выполнен в корпусе из высокоанодированного алюминиевого профиля с отверстиями для быстрого монтажа и максимальной защиты в период эксплуатации

Таблица 6 - Основные технические характеристики модулей серии IS (Inverta-Solar)

Параметры\Обозначения	85-12	110-12	125-12	150-24	160-24	170-24	220-36
Мощность, Вт	85	110	125	150	160	170	210
Напряжение холостого хода, В	21			42			63
Напряжение при максимальной мощности, В	17			34			36
Ток при напряжении максимальной мощности, А	4,9	6,3	7,8	4,35	4,6	4,9	6,05
Габаритные размеры, мм	1195x536x28	1305x655x28		1490x980x35	1580x815x38	1340x990x38	1640x980x35
Масса, кг	8,9	12,5	13,5	17,5			22

Серия КСМ

Фотоэлектрические модули серии КСМ могут использоваться как в автономных системах, так и в системах, ведомых сетью.

Область применения фотоэлектрических модулей серии КСМ:

- Электростанции бытового и промышленного типа;
- Телекоммуникации;
- Насосные станции;
- Системы навигации;
- Системы сигнализации.

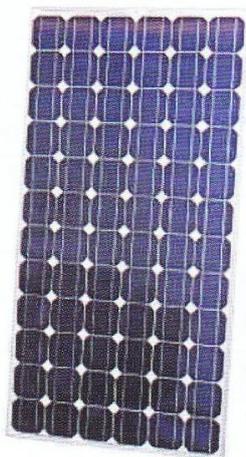
Каждый модуль состоит из 72 моно- или мультикристаллических солнечных элементов размером 125x125 мм, заламинированных между двумя листами пленки и защищенных закаленным стеклом высокой прозрачности с лицевой стороны и листом Tedlar с тыльной стороны.

Таблица 7 - Основные технические характеристики модулей серии КСМ

Параметры\Обозначения	160-1	160-2
Мощность, Вт	160±5%	
Напряжение при максимальной мощности, В	35±5%	
Напряжение холостого хода, В	43±5%	
Ток короткого замыкания, А	5+5%	
Количество солнечных элементов	72(6x12)	
Габаритные размеры, мм	1585x805x34	
Масса, кг	15	

Таблица 8 - Основные технические характеристики монокристаллических солнечных элементов

Параметры\Обозначения	103x103	125x125
Мощность, Вт	1,5	2,3
Ток, А	3,1	4,5
КПД, %	15,0	15,5
Габаритные размеры	103x103	125x125



Модули КСМ

Применение модулей КСМ

Рисунок 13 – Фотоэлектрические модули КСМ

Серия БСА

Складные аморфные солнечные батареи серии БСА выполнены раскладными, легко переносимыми, быстроразворачиваемыми.

В качестве элементов источника тока в батареях применены фотопреобразователи, изготовленные по технологии тонкопленочных раскладных солнечных элементов из сплавов аморфного кремния.

Шунтирующие диоды, включенные в конструкцию фотопреобразователей, позволяют сохранить работоспособность солнечных модулей даже при затемнении отдельных участков их поверхности. Эксплуатационные характеристики солнечных модулей серии БСА, в том числе устойчивость к внешним механическим воздействиям (удар, изгиб), позволяют эксплуатировать их практически в любых экстремальных ситуациях.

Таблица 9 - Основные технические характеристики модулей серии БСА (тип Б)

Параметры/ Обозначен ия	Максимальна я мощность, Вт	Напряжение максимальной мощности, В	Ток максимальной мощности, А	Напряжение холостого хода, В	Ток короткого замыкания, А	Габаритные размеры в сложенном состоянии, мм	Габаритные размеры в рабочем состоянии, мм	Масса, кг		
2/Б1-0,6	0,642	3,4	0,189	4,6	0,23	60x150x7	140x150x3	0,06		
3/Б1-0.9	0,963	5,1		6,9		60x150x11	200x150x3	0,09		
4/Б1-1.2	1,284	6,8		9,2		60x150x15	260x150x3	0,12		
5/Б1-1,6	1,605	8,5		11,5		60x150x19	320x150x3	0,15		
6/Б1-1,9	1,926	10,2		13,8		60x150x23	380x150x3	0,18		
7/Б1-2,2	2,247	11,9		16,1		60x150x27	440x150x3	0,21		
8/Б1-2,5	2,568	13,6		18,4		60x150x31	500x150x3	0,24		
10/Б1-2-3,2	3,210	17,0		23,0		60x150x39	320x300x3	0,3		
12/Б1 -2-3,8	3,852	20,4		27,6		60x150x47	380x300x3	0,36		
2/Б2-1,2	1,284	3,4		0,378		4,6	0,46	105x150x7	230x150x3	0,1
3/Б2-1,Э	1,926	5,1	6,9		105x150x11	330x150x3		0,15		
4/Б2-2.5	2,568	6,8	9,2		105x150x15	430x150x3		0,2		
5/Б2-3,2	3,210	8,5	11,5		105x150x19	530x150x3		0,25		
6/Б2-3,8	3,852	10,2	13,8		105x150x23	630x150x3		0,3		
8/Б2-5.1	5,136	13,6	18,4		105x150x31	830x150x3		0,4		
10/Б2-2-6.4	6,420	17,0	23,0		105x150x39	530x300x3		0,5		
12/Б2-2-7.7	7,704	20,4	27,6		105x150x47	630x300x3		0,6		
2/Б3-1.9	1,926	3,4	0,567		4,6	0,69		150x150x7	310x150x3	0,12
3/Б3-2,8	2,889	5,1			6,9			150x150x11	460x150x3	0,18
4/Б3-3.8	3,852	6,8		9,2	150x150x15		610x150x3	0,24		
5/Б3-4.8	4,815	8,5		11,5	150x150x19		760x150x3	0,3		
6/Б3-5,7	5,778	10,2		13,8	150x150x23		910x150x3	0,36		

8/Б3-7,7	7,704	13,6		18,4		150x150x31	1210x150x3	,0,48
Ю/Б3-2-9,6	9,630	17,0		23,0		150x150x39	760x300x3	0,6
12/Б3-2-11	11,556	20,4		27,6		150x150x47	910x300x3	0,72
2/Б4-2.5	2,568	3,4	0,756	4,6	0,92	105x300x7	230x300x3	0,14
3/Б4-4	2,852	5,1		6,9		105x300x11	330x300x3	0,21
4/Б4-5	5,136	6,8		9,2		105x300x15	430x300x3	0,28
5/Б4-6	6,420	8,5		11,5		105x300x19	530x300x3	0,35
6/Б4-7	7,704	10,2		13,8		105x300x23	630x300x3	0,42
8/Б4-10	10,272	13,6		18,4		105x300x31	830x300x3	0,56
10/Б4-2-12	12,840	17,0		23,0		105x300x39	530x600x3	0,7
12/Б4-2-15	15,408	20,4		27,6		105x300x47	630x600x3	0,84

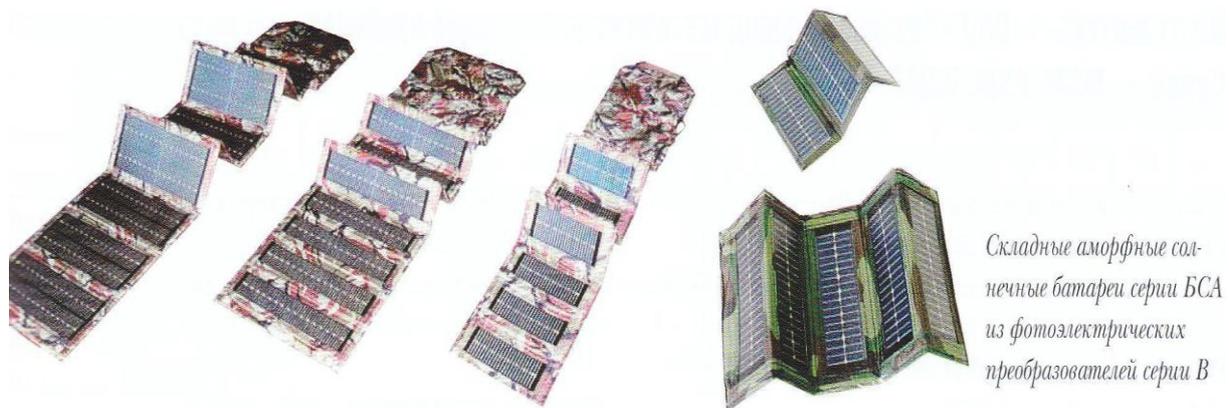


Рисунок 14 - Основные технические характеристики модулей серии БСА (тип В)

Таблица 10 – Параметры модулей серии БСА (тип В)

Параметры\ Обозначения	Максимальная мощность, Вт	Напряжение максимальной мощности, В	Ток максимальной мощности, А	Напряжение холостого хода, В	Ток короткого замыкания, А	Габаритные размеры в сложенном состоянии, мм	Габаритные размеры в рабочем состоянии, мм	Масса, кг
2 В1 -1,3	1,39	3,4	0,408	4,6	0,5	135x230x7	300x230x3	0,1
3 В1-2	2,08	5,1		6,9		135x230x11	420x230x3	0,15
4 В1-3	2,78	6,8		9,2		135x230x15	530x230x3	0,2
5 В1-3.5	3,47	8,5		11,5		135x230x19	640x230x3	0,25
6 В1-4	4,16	10,2		13,8		135x230x23	750x230x3	0,3
7 В1-5	4,86	11,9		16,1		135x230x27	860x230x3	0,35
8 В1-5,5	5,55	13,6		18,4		135x230x31	970x230x3	0,4
10 В1-2-7	6,94	17,0		23,0		135x230x39	640x460x3	0,5
11 В1-7.5	7,63	18,7		25,3		135x230x43	1300x230x3	0,55
12 В1-2-8	8,33	20,4		27,6		135x230x47	750x460x3	0,6
2 В2-2,7	2,776	3,4	0,816	4,6	1,0	200x230x7	450x230x3	0,16
3 В2-4,0	4,164	5,1		6,9		200x230x11	610x230x3	0,24
4 В2-5,5	5,552	6,8		9,2		200x230x15	800x230x3	0,32
5 В2-7	6,940	8,5		11,5		200x230x19	970x230x3	0,4
6 В2-8	8,320	10,2		13,8		200x230x23	610x460x3	0,48
1 В2-11	11,104	13,6		18,4		200x230x31	800x460x3	0,64
10 В2-2-13	13,380	17,0		23,0		200x230x39	970x460x3	0,8
12 В2-2-16	16,656	20,4		27,6		200x230x47	1140x460x3	0,96

2 B3-4	4,164	3,4	1,224	4,6	1,5	270x230x 7 3	580x230x 3	0,2
3 B3-6	6,246	5,1		6,9		270x230x 11 3	820x230x 3	0,3
4 B3-8	8,328	6,8		9,2		270x230x 15 x3	1070x230 x3	0,4
5 B3-10	10,410	8,5		11,5		270x230x 19 x3	1310x230 x3	0,5
6 B3-12	12,492	10,2		13,8		270x230x 23 3	820x460x 3	0,6
B B3-2-16	16,656	13,6		18,4		270x230x 31 x3	1070x460 x3	0,8
10 B3-2-20	20,820	17,0		23,0		270x230x 39 x3	1310x460 x3	1
12 B3-2-24	24,984	20,4		27,6		270x230x 47 x3	1560x460 x3	1,2
2 B4-5,5	5,552	3,4	1,632	4,6	2,0	200x395x 7 3	450x395x 3	0,26
3 B4-8	8,328	5,1		6,9		200x395x 11 3	610x395x 3	0,39
4 B4-11	11,104	6,8		9,2		200x395x 15 3	800x395x 3	0,52
5 B4-13	13,880	8,5		11,5		200x395x 19 3	970x395x 3	0,65
6 B4-16	16,656	10,2		13,8		200x395x 23 x3	1140x395 x3	0,78
7 B4-19	19,432	11,9		16,1		200x395x 27 x3	1310x395 x3	0,91
8B4-22	22,208	13,6		18,4		200x395x 31 x3	1490x395 x3	1,04
10/B4-2-27	27,760	17,0		23,0		200x395x 39 3	970x790x 3	1,3
12/B4-2-33	33,312	20,4	27,6	200x395x 47 x3	1140x790 x3	1,56		

Таблица 11 Варианты заданий

Вариант	Нагрузка переменного тока, питаемая через инвертор	Потребители электроэнергии										Итого	Всего с учетом КПД инвертора=90%
		Компрессор	Электродуговая сварка	Пресс	Лазерная технологическая установка	Металлообрабатывающий станок	Осветительные приборы	Сверильный станок	Электрическая печь	Токарный станок	Шлифование		
1	Потребляемая мощность, Вт	1000	-	800	1500	800	150	-	2400	600	-		
	Кол-во	1	-	1	1	1	10	-	1	1	-		
	час/нед.	40	-	10	20	16	20	-	12	5	-		
	Регион	Краснодар											
2	Потребляемая мощность, Вт	-	1200	900	3000	-	100	750	-	600	3200		
	Кол-во	-	1	1	1	-	15	2	-	1	1		
	час/нед.	-	20	15	14	-	24	16	-	8	22		
	Регион	Сочи											
3	Потребляемая мощность, Вт	1500	700	2600	1800	-	100	750	-	800	1700		
	Кол-во	1	1	1	1	-	15	2	-	1	1		
	час/нед.	30	36	16	14	-	32	16	-	19	32		
	Регион	Саратов											
4	Потребляемая мощность, Вт	1800	900	1600	5000	1800	100	-	750	1000	2000		
	Кол-во	1	1	1	1	1	25	-	2	1	1		
	час/нед.	30	36	16	14	14	24	-	16	19	36		
	Регион	Рязань											
5	Потребляемая мощность, Вт	1800	900	1600	5000	1800	100	-	750	1000	2000		
	Кол-во	1	1	1	1	1	25	-	2	1	1		
	час/нед.	30	36	16	14	14	24	-	16	19	36		
	Регион	Тула											

Вариант	Нагрузка переменного тока, питаемая через инвертор	Потребители электроэнергии										Итого	Всего с учетом КПД инвертора=90%
		Компрессор	Электродуговая сварка	Пресс	Лазерная технологическая установка	Металлообработывающий станок	Осветительные приборы	Сверильный станок	Электрическая печь	Токарный станок	Шлифование		
6	Потребляемая мощность, Вт	1400	1500	1400	3000	2200	200	-	950	1400	2000		
	Кол-во	1	2	1	1	1	15	-	1	2	1		
	час/нед.	22	24	28	14	14	28	-	40	32	26		
	Регион	Владивосток											
7	Потребляемая мощность, Вт	1800	1500	1400	2500	2200	200	-	950	1400	2000		
	Кол-во	1	1	1	1	1	15	-	1	2	1		
	час/нед.	28	30	28	40	14	28	-	40	32	26		
	Регион	Новосибирск											
8	Потребляемая мощность, Вт	2000	1700	1400	4800	-	150	2750	-	500	3000		
	Кол-во	1	1	1	1	-	15	2	-	1	1		
	час/нед.	30	36	16	14	-	32	16	-	20	32		
	Регион	Санкт-Петербург											
9	Потребляемая мощность, Вт	1300	900	1600	6000	1800	100	-	2750	1400	2600		
	Кол-во	1	1	1	1	1	25	-	2	1	1		
	час/нед.	34	32	26	44	18	28	-	16	39	34		
	Регион	Омск											
10	Потребляемая мощность, Вт	1800	2900	2300	4000	1800	200	-	950	1300	2400		
	Кол-во	1	1	1	1	1	25	-	2	1	1		
	час/нед.	30	26	26	24	24	26	-	40	39	33		
	Регион	Самара											

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Березовский, Н.И. Технология энергосбережения [Текст]/Н.И. Березовский, С.Н. Березовский, Е.К. Костюкевич - Минск: БИП-С Плюс, 2007 г. – 152с.
2. Андрижевский, А.А. Энергосбережение и энергетический менеджмент [Текст]/ А. А. Андрижевский, В.И. Володин - Мн.: Высш. шк., 2005 г. – 294с.
3. Фокин, В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита [Текст]/ В.М. Фокин - М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006 г. - 256 с.
4. Тарасов Л.В. Введение в квантовую оптику: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1987.