

Солнечные фотоэлектрические станции

На Землю от Солнца поступает ежедневно около 4,20 трлн. кВт·ч энергии, что в сотни раз превосходит энергетические потребности современного человечества. Очевидно, заманчиво использовать солнечную энергию для получения электрической, ведь это позволит не только не расходовать миллиарды тонн ископаемого топлива, но и существенно улучшить экологическое состояние среды обитания человека.

Фотоэффект и фотоэлектропроводимость. Чтобы лучше понять, каким образом солнечное излучение может быть преобразовано в электрическую энергию, рассмотрим, что такое внутренний фотоэффект, фотопроводимость и фотоэлемент.

Внутренний фотоэффект – это перераспределение электронов по энергетическим состояниям в твердых и жидких полупроводниках и диэлектриках, происходящее под действием электромагнитного излучения (видимого, ИК- и УФ-диапазонов), в том числе и солнечного. Внутренний фотоэффект обнаруживается, как правило, по изменению концентрации носителей тока в среде, т.е. по появлению *фотопроводимости* (изменению электрической проводимости веществ под действием электромагнитного излучения).

Устройство, в котором при облучении поверхности полупроводникового электрода (фотокатода) возникает фотоэффект, называется *фотоэлементом* (рис. 4.21).

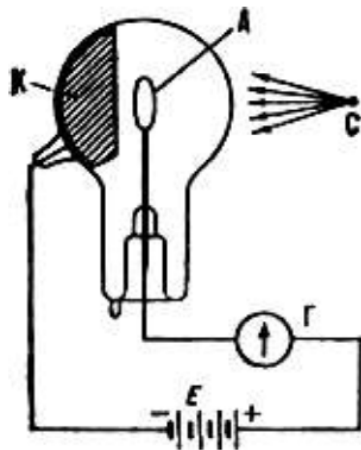


Рис. 4.21. Вакуумный фотоэлемент: К – фотокатод; А – анод; С – источник света; Г – гальванометр; Е – источник тока

Принцип работы фотоэлектрического преобразователя. Чтобы преобразовать солнечную энергию непосредственно в электрическую применяют *фотоэлектрические преобразователи* (ФЭП). Генерация ими электрического тока основана на особенностях электронной (дырочной) проводимости полупроводников, например, кремния.

Как известно, атом кремния, имеющий порядковый номер 14 в Периодической системе Д.И. Менделеева, содержит 14 электронов. Из них 4 электрона находятся на внешнем энергетическом уровне, наиболее удаленном от положительно заряженного ядра. Эти электроны, называемые валентными, наиболее слабо притягиваются к ядру. При повышении температуры кристалла кремния (благодаря солнечной энергии) тепловые колебания валентных электронов могут привести к разрыву связи «ядро - электрон», и часть электронов отщепляется и становится электронами проводимости. При наличии электрического поля, электроны перемещаются против поля, тем самым возникает направленный поток электронов, т.е. образуется электрический ток.

Простейший ФЭП состоит конкретно из двух очень тонких слоев. В состав вещества нижнего слоя входят атомы с одним электроном на внешнем уровне, который слабо притягивается ядром и легко отдается. У атомов вещества второго слоя, наоборот, на внешнем слое не хватает одного электрона; они его готовы захватить извне, например у того же атома кремния. Кинетической энергии света, падающего на такой «сэндвич», вполне хватает для выбивания из нижнего слоя электронов, которые переходят в верхний слой. В результате между слоями возникает разность потенциалов: нижний

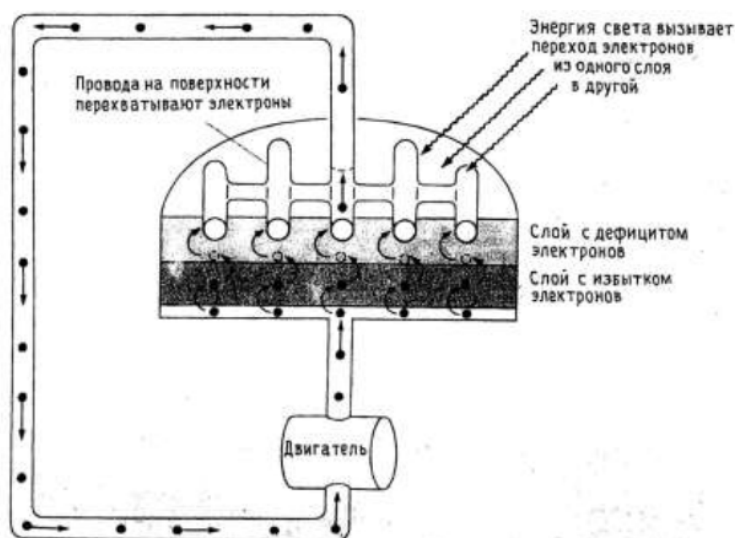


Рис. 4.22. Схема возникновения электрического тока в фотоэлектрическом преобразователе

ческую решетку которого введена примесь, например, мышьяка As, а для слоя с дефицитом электронов тот же кремний, но с примесью других атомов, например, бора В.

В первом случае получают слой полупроводника с электронной проводимостью (полупроводник *n*-типа), во втором – слой полупроводника с дырочной проводимостью (полупроводник *p*-типа). Кремний своей темной поверхностью обеспечивает хорошее поглощение энергии солнечного излучения, а, следовательно, и нагрев слоя. Кроме того, он «поставщик» свободных электронов.

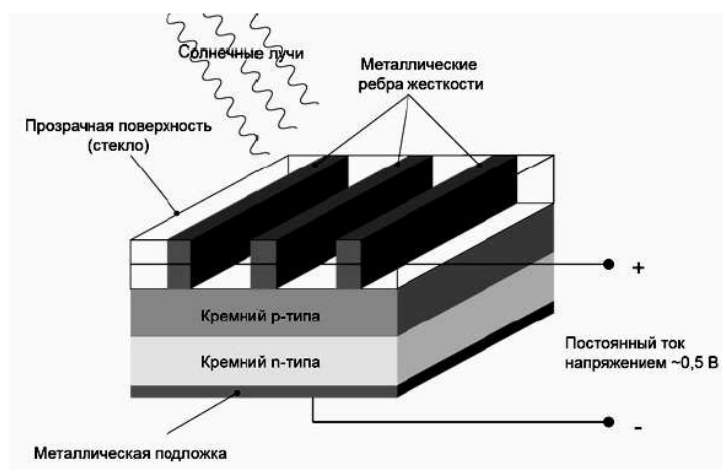


Рис. 4.23. Схема устройства кремниевого фотоэлемента

сочетания кремния *n*-типа и кремния *p*-типа. Положительный электрод сделан в виде ребер жесткости, соединенных тонкими проводами. Отрица-

слоя приобретает положительный заряд, а верхний – отрицательный. Чтобы замкнуть цепь, надо соединить слои проводом, тогда «лишние» электроны из верхнего слоя вернутся в нижний. Если на их пути находится двигатель или какое-либо устройство, будет производиться полезная работа (рис. 4.22).

Для создания слоя с избытком электронов используют кремний, в кристаллическую решетку которого введена примесь, например, мышьяка As, а для слоя с дефицитом электронов тот же кремний, но с примесью других атомов, например, бора В.

Примерная схема кремниевого фотоэлемента приведена на рис. 4.23. Он изготавливается из кремния двух типов: кремний *n*-типа (электронный) и *p*-типа (дырочный). Поверхность соприкосновения этих материалов, называемая *p-n*-переходом (электронно-дырочным переходом), является основой этого устройства. Верх элемента прозрачен, чтобы солнечный свет падал непосредственно на кремний.

тельный электрод – металлическая подложка, находящаяся в контакте с кремнием n -типа.

В том случае, когда лучистая энергия падает на p - n -переход, между материалами p -типа и n -типа возникает разница потенциалов, т.е. электрическое напряжение.

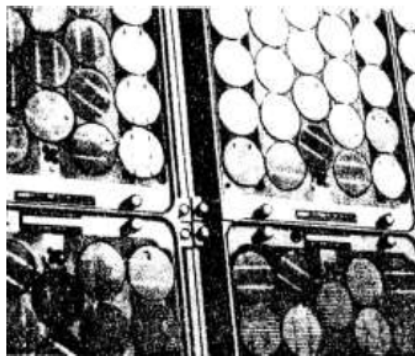
При подключении к элементу нагрузки сила тока возрастает пропорционально яркости света, падающего на p - n -переход, вплоть до определенного критического значения. При усилении интенсивности освещения сила тока в элементе достигает максимума (ток насыщения), и выравнивается на этом значении. Отношение вырабатываемой элементом электроэнергии к силе света, падающего на него, есть КПД элемента. Этот показатель составляет у солнечных батарей относительно небольшую величину – 10 – 20 %, редко больше, что связано с низкой плотностью падающей солнечной энергии.

Большинство солнечных батарей производят постоянный ток напряженностью около 0,5 В (входное напряжение $V_{\text{вых}}$). Значение максимальной силы тока зависит от размера площади p - n -перехода и от технологии, использованной при его производстве.

Максимальная мощность P_{max} кремниевого фотоэлемента в ваттах эквивалентна произведению $V_{\text{вых}}$ в вольтах на I_{max} в амперах и, следовательно, рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{max}} = 0,5 I_{\text{max}}.$$

Фотоэлектрические ячейки часто объединяют в последовательно-параллельные соединения, в результате можно повысить выходную мощность и получить любое количество энергии (рис. 4.24). Когда несколько фотоэлементов подсоединяются параллельно, максимальная сила тока I_{max} всех соединенных в цепь ячеек эквивалентна произведению I_{max} одной ячейки на количество ячеек.



При этом максимальная мощность (P_{max}) последовательно-параллельного соединения одинаковых ячеек эквивалентна произведению P_{max} каждой ячейки на количество ячеек. Иными словами, максимальная мощность (P_{max}) такого соединения эквивалентна произведению $V_{\text{вых}}$ и I_{max} всего соединения (без учета потерь из-за внутреннего сопротивления).

Рис. 4.24. Соединение фотоэлектрических ячеек

ковольтных слаботочных фото-
ских системах для достижения

выходного напряжения ($V_{\text{вых}}$) отдельные ячейки обычно подсоединяются последовательно. Для подзарядки, например, 12-вольтовой аккумуляторной батареи стандартное значение $V_{\text{вых}}$ составляет 16 В, что требует последовательного подсоединения 32 ячеек. Такое соединение называют *фотоэлектрическим модулем*. Несколько модулей, подключенных параллельно, образуют *фотоэлектрическую панель (солнечную батарею)* и позволяют получать

В низ-
электриче-
желаемого

бóльшие значения максимальной силы тока ($I_{\max}$). Для достижения еще более высоких значений $V_{\text{вых}}$ или $I_{\max}$ несколько фотоэлектрических панелей подключают, соответственно, последовательно или параллельно, создавая фотоэлектрическую батарею.

Солнечные батареи следует размещать в тех самых местах, где они получают наибольшее количество солнечного света в среднем в день. Она производит больше всего энергии тогда, когда развернута всей плоскостью к световому потоку, и лучи солнца падают на ее поверхность прямо.

Солнечные энергоцентры (фермы). За рубежом солнечная энергетика, основанная на прямом преобразовании излучения Солнца в электричество, в зависимости от мощности и предназначения включает в себя:

- крупные солнечные энергоцентры (солнечные фермы);
- малые фотоэнергетические системы.

Рассмотрим их более подробно.

Включая в свой состав тысячи (а иногда и сотни тысяч) отдельных фотоэлектрических ячеек, соединенных в сеть модулей, батарей и решеток, такие установки могут производить от нескольких сотен до многих тысяч киловатт энергии.

Современные солнечные энергоцентры имеют панели, которые способны при помощи компьютерной техники и автоматизированной системы управления «следовать» за солнцем в течение всего дня. Через инверторы (преобразователи постоянного тока в переменный) и повышающие трансформаторы панели присоединяются к электросетям (рис. 4.25).

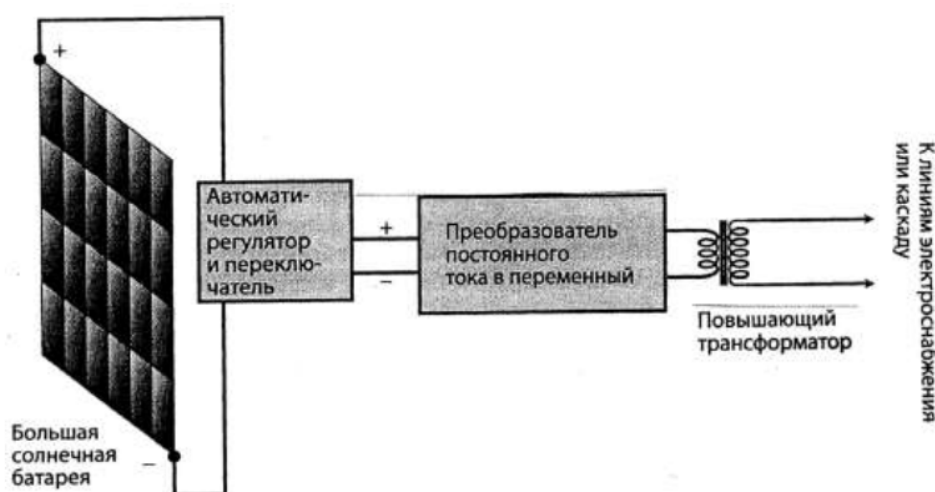


Рис. 4.25. Функциональная схема солнечного энергоцентра

Метод фотоэлектрического преобразования все в большей степени становится в мире привлекательным для выработки электроэнергии в крупных масштабах. Это вызвано тем, что СФЭС на его основе способствуют:

- достижению максимально возможной в настоящее время экологической безопасности преобразования энергии;
- получению энергии (тепловой и электрической) практически в любом

районе, где достаточная для этого солнечная радиация;

- относительно малым эксплуатационным затратам;
- наращиванию мощностей (модульный принцип строительства).

Добавим, что СФЭС не шумят, относительно малозаметны, не портят пейзаж и, что весьма важно, не производят добавляемой энергии.

Более 30 стран мира, обладающие приемлемым для развития солнечной энергетики потенциалом, используют процесс преобразования излучения Солнца в электрическую энергию. Более того, появилась целая индустрия по производству ФЭП (как, например, в не очень солнечной Германии), которые экспортируются в другие страны, более одаренные солнечной активностью.

Например, в Португалии в местечке Серпа, одном из самых солнечных в Европе, в 2007 г. заработала одна из самых мощных солнечных ФЭС в мире. Ее 52 тыс. солнечных батарей раскинулись на площади в 60 га. Мощность станции 11 МВт, она способна обеспечить энергией 8 тыс. домов и предотвратить выбросы 30 тыс. т парникового газа – диоксида углерода. Правительство страны в развитие альтернативных электростанций намерено инвестировать 10,8 млрд. долл. США с тем, чтобы обеспечить в перспективе не менее 45 % потребностей в электроэнергии.

Маленькая Дания, расположенная на той же широте, что и Москва, имеет установленную мощность солнечных панелей в 200 МВт и планирует достичь к 2020 г. 1000 МВт. Поставлена задача: удовлетворить 35 % энергетических потребностей страны за счет альтернативной энергетики, а к 2050 г. этот показатель довести до 100 %.

В США стоимость «солнечного» киловатт-часа колеблется в диапазоне от 13 до 20 центов США, тогда как при использовании традиционных источников энергии кВт·ч обходится потребителю в 4 – 6 центов. Американцы, однако, надеются, что появление новых технологий позволит сделать солнечную энергию более дешевой, и прогнозируют в ближайшие годы уменьшить стоимость киловатт-часа до 9 – 10 центов.

Естественно, что крупным солнечным энергоцентрам присущи недостатки:

- они нерентабельны для мест, не получающих достаточной солнечной радиации;
- как и энергия ветра, солнечная энергия неустойчива. Ее трудно запасти в больших количествах;
- солнечная энергия не может сама по себе удовлетворить потребности в электричестве крупного города целиком. Это, прежде всего, дополнительный источник энергии;
- под солнечные энергоцентры необходим отвод больших площадей земель, которые трудно использовать в других целях.

Есть основания считать, что солнечные ФЭС в ближайшие годы получат распространение практически во всех странах, где есть к этому надлежащие условия. В Испании уже строится первая в Европе коммерческая солнечная электростанция, об этом уже заявили США и некоторые страны Азии.

На сегодняшний день крупнейшая солнечная электростанция, выпол-

ненная из фотоэлектрических панелей, расположена в Германии, пиковая мощность ее составляет 80,7 МВт.



Рис. 4.26. ФЭП на кровле здания

Малые фотоэлектрические станции. В настоящее время солнечные ФЭС используются для электрификации ряда изолированных объектов: жилых и общественных зданий (рис. 4.26), теплиц, ферм, горных пастбищ и т.д. Например, на кровле Центра международных культурных связей Джорджтаунского университета в Вашингтоне установлена система из 4400 ФЭП общей мощностью 300 кВт при полном солнечном освещении.

Считается, что такие кровли могут получить широкое распространение в будущем по мере снижения себестоимости солнечных батарей.

Стены всех 7 этажей и крыша Токийского института технологий сделаны из солнечных батарей (всего их 4,5 тыс.), которые вырабатывают 750 кВт электроэнергии. Здание полностью обеспечивает себя электроэнергией, что крайне важно в случае чрезвычайных ситуаций. Японцы извлекли уроки из крупномасштабной аварии на АЭС «Фукусима-1», вызванной подводным землетрясением и последовавшей за ним гигантской волной цунами.



Рис. 4.27. Современный сельский пейзаж в Дании – передовой стране по развитию солнечной энергетики

Солнечные установки небольшой мощности в десятки киловатт дают часто практически единственную возможность приблизить сельское население различных стран, особенно развивающихся, к современной цивилизации и при том обеспечить сохранение качества среды обитания (рис. 4.27).

Суммарная мощность всех установленных в мире превысила 1000 МВт; в ряде стран приняты национальные программы по широкому их внедрению ("100 тысяч солнечных крыш" в Германии и в Японии, "1 млн. солнечных крыш" в США).

Крытый стадион в пригороде Берна (Швейцария) превращен в солнечную электростанцию (СЭС). На его крыше смонтированы солнечные панели общей мощностью 850 кВт. Они занимают всю крышу (ее площадь 12 тыс. м²), мощность СЭС достигает 1 300 кВт, что позволяет снабжать энергией

около 300 односемейных коттеджей или квартир.

В Японии насчитывается 140 тыс. семей, пожелавших установить на крышах своих домов солнечные батареи. Они полностью обеспечивают потребности жителей, а избыток при необходимости обязан покупать муниципалитет. В префектуре Нара есть завод, где общая площадь солнечных батарей составляет 6 300 м². Они ежегодно производят около миллиона киловатт-часов, или 7 % нужной предприятию энергии.

Власти Нью-Йорка спонсируют программу перевода всех объектов городской собственности на солнечные генераторы. Владелец крупнейшего производителя солнечных панелей в США Evergreen Solar полагают, что этот вид энергетики будет преобладать над всеми другими уже через пять лет при условии ожидаемого падения мировых цен на кремний, который является одним из основных элементов нынешних солнечных панелей.

В странах Европейского Союза активно реализуется программа «Солнечная энергия», имеющая своей задачей массовое внедрение солнечных мини ФЭС. Так, в Германии будет построено 2250 ФЭС мощностью по 1 – 5 кВт; в Швейцарии действуют ФЭС – 3 кВт и 110 кВт; предполагается до 2011 г. одну из равнинных областей перевести полностью на энергообеспечение за счет гидроэнергии и ФЭС мощностью до 2 МВт, разработать ФЭС с батареей площадью 25 м² для индивидуальных зданий; в Италии было намечено довести в 2012 г. общие мощности ФЭС до 25 МВт за счет малых ФЭС мощностью 100, 200, 300 кВт.

Многие зарубежные фирмы, занимающиеся солнечной энергетикой, стремятся как можно быстрее внедрить ее достижения в семейный быт. Так, компания Kiwi предлагает на продажу микроэлектростанции трех модификаций: 3; 4 и 5 кВт по цене от 12000 до 24000 долл. Ее специалисты подчеркивают, что первоначально озадачивающая цена покупки не будет в долгосрочной перспективе таковой: выгода от приобретения таких микроСЭС может составить более 80 000 долл. (при сроке эксплуатации в 25 лет – продолжительности эксплуатации типичной солнечной панели).

«Домашние» фотоэлектрические системы (ДФЭС). К ним относят устройства, которые в оптимальных для функционирования условиях могут обеспечить электроэнергией жилой дом. Поскольку ДФЭС не способна производить энергию на постоянной основе (из-за особенностей солнечного освещения), для обеспечения бесперебойного электроснабжения ее необходимо снабдить накопительными аккумуляторами (это будет автономная система) или подключить ее к внешней линии электроснабжения (это будет интерактивная система), или сделать и то и другое.

Подзаряженные от солнечной батареи аккумуляторы позволяют ДФЭС снабжать электричеством потребителя даже в том случае, когда солнечной энергии недостаточно для работы батареи. В результате ДФЭС не зависит от коммунальных служб. Если же солнечная батарея не может функционировать долгое время, то заряд в аккумуляторах закончится, а с ним – электроснабжение. Следовательно, должен быть в наличии резервный источник тока. На рис. 4.28, а представлена функциональная блок-схема автономной ДФЭС.

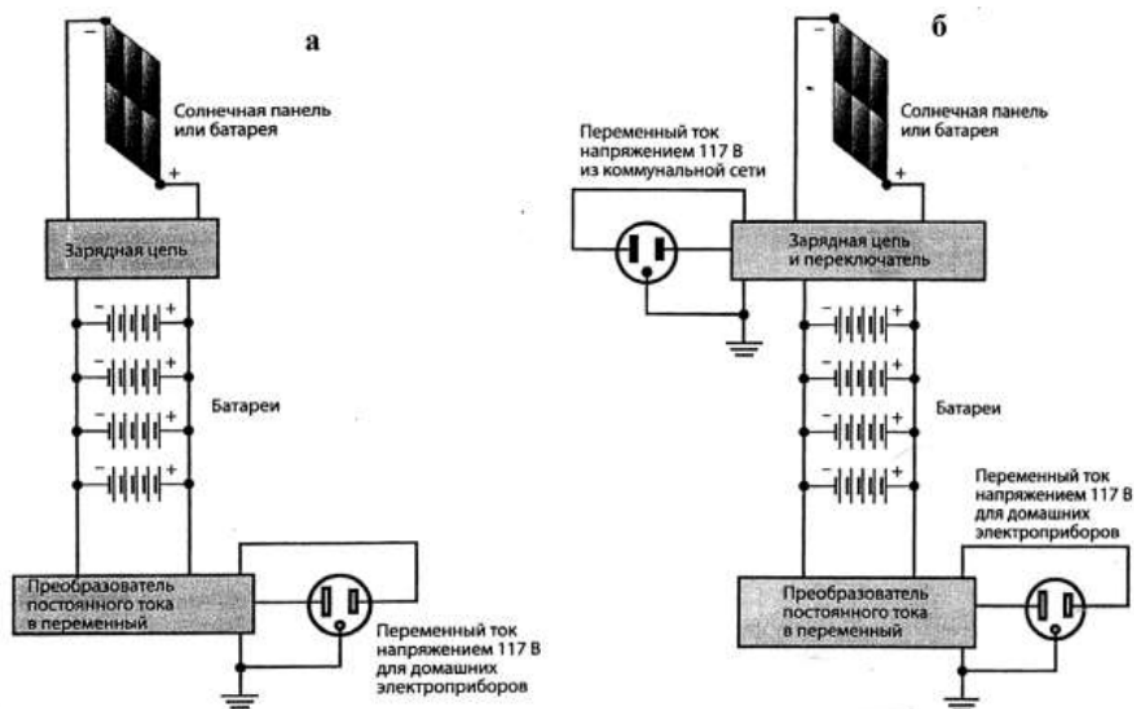


Рис. 4.28. Блок-схемы автономной фотоэлектрической системы (а) и малой аккумулирующей интерактивной фотоэлектрической системы (б) (по С. Гибилиско, 2010)

Малая аккумулирующая интерактивная фотоэлектрическая система (рис. 4.28, б) отличается от предыдущей ДФЭС тем, что аккумуляторы ее подпитываются (заряжаются) от местной (например, городской) сети. Это позволяет избежать отключения. Аккумуляторы подсоединяются к сети через зарядное устройство, оснащенное переключателем заряда в аккумуляторах. Если батарея не работает и заряд не поступает в аккумуляторы, переключатель подключает их к сети. Когда погодные условия позволяют солнечной батарее начать работу, переключатель отключает аккумуляторы от сети, вновь подсоединяя их к фотоэлектрической системе.

Подчеркнем еще одно обстоятельство: рассмотренная интерактивная система только подпитывается от внешней сети, но своих излишков электроэнергии она туда не передает.

Малая межсетевая интерактивная фотоэлектрическая система такой возможностью обладает. Когда у владельца системы возникают излишки электроэнергии, он продает их коммунальной службе, а когда появляется потребность в дополнительной электроэнергии, он выкупает эти излишки обратно. Одно из преимуществ такой системы заключается в том, что необязательно устанавливать накопительные аккумуляторы.

Обладея теми же достоинствами, что и крупные фотоэлектрические системы, малые просты в установке и эксплуатации и практически безотказны, если они были установлены в соответствии с инструкцией.

К ранее изложенным недостаткам крупных станций, которые относятся и к малым, следует добавить, что последние, при необходимости полностью обеспечить электричеством жилой дом, могут окупаться слишком долгое

время. Кроме того, появится необходимость тщательного ухода и контроля за аккумуляторами, особенно в процессе из зарядки (выделение вредных газов).

Солнечные батареи на транспорте. В мире солнечная энергетика применима и к транспортным средствам, прежде всего автомобилям (рис. 4.29). Обычно в них сочетают солнечные батареи с аккумуляторами.

Канадские инженеры фирмы Solar Ship разработали дирижабль на солнечной энергии и уже испытали прообраз аппарата (рис. 4.30).

По сути, машина является гибридом, у которой более 50 % подъемной

силы обеспечивает аэродинамика корпуса, а остальное – гелий. Энергию дирижабль получает от солнечных батарей, размещенных «на спине» воздушного судна, а движение обеспечивают электромоторы. На случай непогоды на борту предусмотрены аккумуляторы, которые заряжаются от Солнца.

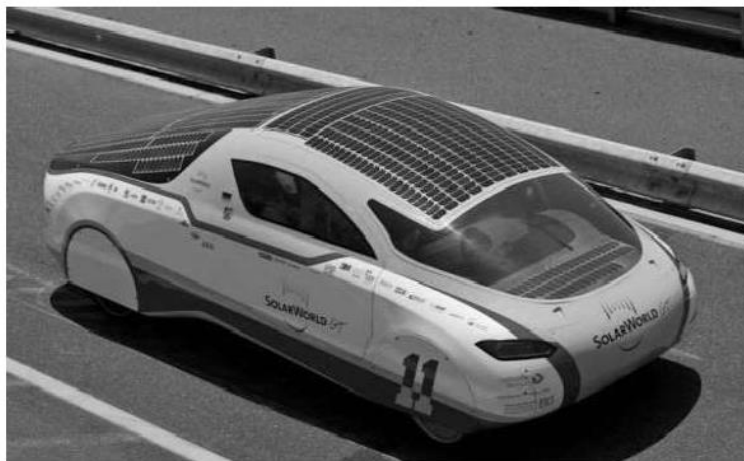


Рис. 4.29. *Электромобиль, работающий на солнечной энергии*

Как и любой дирижабль, Solar Ship наполняется гелием, хотя, как утверждают инженеры, он летает и при заполнении обычным воздухом. Это означает, что даже если дирижабль получил

повреждения оболочки с утечкой гелия, то он по-прежнему сможет лететь и, самое главное, достаточно безопасно приземлиться. И вообще с точки зрения безопасности гибрид предпочтительнее, нежели дирижабль или самолет по отдельности (Росс. газета, 14.12.11, № 281).



Рис. 4.30. *Солнечный дирижабль с гибридным двигателем*

У таких машин множество сфер применения. Это доставка грузов в труднодоступные районы и в зоны стихийных бедствий, экологический мониторинг, контроль и обслуживание трубопроводов и линий электро-

передачи и т.д. Причем всю эту работу гибрид будет выполнять, не расходуя ни грамма топлива, либо используя его очень экономно.

Малые СФЭС в России. В СССР использование малых СФЭС было

начато еще в конце 50-х годов прошлого века в космической отрасли. Практически сразу же развернулись работы и по наземной фотоэнергетике.

В 1969 г. в пустыне Кара-Кум была установлена первая в СССР водоподъемная установка на базе СФЭС мощностью 0,5 кВт. Впоследствии она была оснащена концентраторами солнечной энергии, позволяющими существенно сократить площадь ФЭП (и соответственно их стоимость), а также солнечным опреснителем сильно минерализованной воды, поднимаемой из колодцев. Это был первый в мире достаточно крупный энерготехнологический комплекс, работавший полностью за счет солнечной энергии, обеспечивавший содержание отары овец численностью до 800 голов (ТАСИС, 2008).

В 80-е годы в Краснодарском крае была начата реализация проекта «Солнечная деревня», который включал пять коттеджей, оснащенных СФЭС по 2,5 кВт, связанных с электрической сетью. Проект, к сожалению, не был реализован полностью из-за нехватки средств.

Начиная с 80-х годов и по настоящее время, в России рядом предприятий было освоено мелкосерийное (по современным масштабам) производство фотоэлементов и фотоэлектрических модулей с КПД 14 – 15 %.

В современной России достигнутые результаты в теоретическом плане не уступают зарубежным, а по некоторым направлениям могут быть отнесены к передовым. Так, например, в Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук (РАН) создан новый фотоэлемент, светочувствительная поверхность которого под действием солнечных лучей производит электрический ток с рекордным КПД – 25 – 27 %, что сравнимо с показателями тепловых станций. Авторам удалось создать особый вид «слоеных» полупроводников на основе арсенидов галлия и алюминия. С этой целью были разработаны необычайно тонкие технологии, позволяющие вносить необходимые примеси в слои толщиной около полумикрона.

Россия продолжает сохранять лидирующие позиции в космической солнечной энергетике, но допустила отставание по производству фотопреобразователей на аморфном кремнии и по тонкопленочным структурам.

В целях более широкого внедрения солнечной энергетики в России были определены наиболее перспективные для этого регионы. Например, Краснодарский край, имея территорию в 0,25 % от территории России, обладает производственным солнечным потенциалом, составляющим около 3,8 % от общероссийского. Анализ территориального распределения солнечного энергопотенциала, выполненный в рамках проекта ТАСИС, показал, что его мощность растет по мере удаления от побережья Черного моря. В северных регионах среднегодовая удельная инсоляция составляет до 1700 кВт·ч/м² в год, что является перспективным для развития крупномасштабной солнечной энергетики по всем международным критериям. В силу этого Краснодарский край стал пилотным полигоном развития солнечной энергетики в России. В Краснодарском крае получило развитие и производство оборудования для выработки фотоэлектричества. Компания «Солнечный ветер» является здесь лидером начиная с 1996 г. и экспортирует фотоэлектрические модули в Австрию, Германию, Великобританию, Испанию, США и другие страны.

К настоящему времени в России освоено мелкосерийное производство фотоэлементов и фотоэлектрических модулей с КПД – 14 – 15 %. Среди предприятий-производителей находятся заводы металлокерамических приборов и «Красное знамя» (г. Рязань), московские предприятия – НПО «Машиностроение», НПП «Квант», Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства, ОАО «Позит», ЗАО «Телеком СТВ», ОАО «Совлакс», ОАО «Сатурн» и ОАО «Солнечный ветер» (г. Краснодар). Закачивается строительство завода по производству солнечного кремния и фотоэлементов в Красноярском крае (г. Усолье Сибирское) мощностью до 5 млн. м²/год.

К сожалению, в отсутствие серьезной государственной поддержки (как это имеет место в ряде зарубежных стран), надлежащего информирования населения в сочетании со слабой его покупательной способностью, использование малых фотоэлектрических станций в настоящее время не имеет значительного распространения в стране. Добавим к этому, что стоимость фотоэлектрических модулей в России, как и во всем мире, еще слишком высока.

Тем не менее, малые ФЭС пробивают себе дорогу. Так, например, в марте 2013 г. в таежном поселке на Алтае была введена в эксплуатацию гибридная электростанция, включающая солнечные батареи мощностью около 10 кВт в сочетании с дизельным генератором. Днем дает электроэнергию СФЭС, ночью работает дизель. Достаточно широко используются фотоэлектрические преобразователи на маяках, навигационных знаках Баренцева и Черного морей, Рыбинского водохранилища, Ладожского озера, озера Байкал, на радиорелейной линии УКВ-связи газопровода Средняя Азия – Центр и др. Все они выполнены на основе унифицированных модулей с пиковой электрической нагрузкой менее киловатта.

В целях развития возобновляемой энергетики в России была недавно принята программа «Экологически чистая энергетика». В ней, в частности, предусмотрено (по Ю.Д. Сибикину и др., 2010):

- освоение автоматизированного серийного производства высокоэффективных, надежных и относительно дешевых элементов, модулей и батарей аморфного, кристаллического и поликристаллического кремния;
- освоение производства ФЭС малой мощности для электроснабжения маломощных потребителей;
- освоение производства ФЭС мегаваттной мощности для параллельной работы с существующей электрической сетью.

В Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе в Петербурге открылся научно-технический центр тонкопленочных технологий. Он является исследовательским полигоном для строящегося сейчас в Новочебоксарске самого крупного в Европе завода, где будет ежегодно выпускаться до миллиона солнечных модулей. Его пуск намечен на начало 2013 г., стоимость почти 21 млрд. руб. Речь идет о фотопреобразователях, в которых солнечный свет сразу превращается в электрическую энергию. Сегодня в мире преобладают ФЭП на основе кристаллического кремния, у которых высокий КПД (18 %). Но и цена высока – примерно 1,5 – 2,0 долл. США за 1 Вт. А в российских модулях будет использоваться аморфный кремний, который мини-

мум в 3 – 4 раза дешевле, правда, и КПД его ниже, около 9 %. Но его можно еще поднять до 15 %, в то время как у кристаллического кремния предел уже достигнут. Это совместный проект госкорпорации «Роснано» и компании «Ренова» на основе разработки швейцарской компании «Solar».

Солнечный модуль включает тонкую пленку толщиной до нескольких микрон, которая состоит из 8 слоев. Ученые сделали два каскада, каждый из которых захватывает свою часть солнечного спектра, работают над третьим каскадом. В случае удачи аморфный кремний догонит по КПД кристаллический. Важно уйти от импортных комплектующих, наладить их выпуск в России. В 2013 г. предполагается установить солнечные модули на Олимпийских объектах в Сочи, на железнодорожном вокзале Анапы и др.

Практическое задание

Произвести расчет экономической эффективности солнечного коллектора для условий города Читы с целью покрытия нагрузки ГВС для корпуса Энергетического факультета.