

УДК 621.311.1:621.472:621.499

О.С. Коробова

СОЗДАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ОТРАСЛИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Представлены динамика потребления совокупной установленной мощности электрогенераторов на солнечной энергии с 1990-х годов и прогноз до 2030 г. Показано, что фотоэлектрические элементы обладают рядом существенных преимуществ, которые позволят им стать конкурентноспособными на электроэнергетическом рынке в ближайшем будущем. Представлены основные производители «солнечного» кремния и возможности отечественной промышленности по производству поликремния на основе особо чистых кварцитов

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, фотоэлектрические преобразователи, инновационная отрасль, производители «солнечного» кремния

Семинар № 9

O.S. Korobova CREATION OF INNOVATIVE BRANCH SOLAR POWER

The solar power is one of the most developing branches. Mid-annual growth of the market of solar power installations has made more than 35 % over the last ten years. In article are presented dynamics of consumption of the cumulative established capacity of electrogenerators on a solar energy since 1990th years and the forecast till 2030 It is shown that photo-electric elements possess a number of essential advantages which will allow them to become competitive in the electropower market in the near future. The basic manufacturers of "solar" silicon and possibility of the domestic industry on manufacture of polysilicon on the basis of especially pure quartzites are presented.

Key words: renewed energy sources, solar power, photo-electric converters, innovative branch, manufacturers of "solar" silicon

Истощение не возобновляемых источников энергии, напряженная экологическая обстановка в зоне добычи ископаемых видов топлива, производство на его основе энергии, приводящее не только к локальным, но глобальным экологическим последствиям, являются объек-

тивными предпосылками стремительно возрастающего интереса к использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которые неизбежно будут замещать уголь, нефть, газ и, возможно, ядерное топливо. В начале тысячелетия страны "Большой восьмерки" создали международную специальную группу советников для подготовки решений по достижению существенных изменений в развитии мировой возобновляемой энергетики. К 2011 году планируется обеспечения энергией, полученной на основе ВИЭ, 1.8 млрд. населения Планеты.

Одним из видов ВИЭ является «солнечная» энергетика. Не смотря на то, что в настоящее время этот способ выработки энергии занимает около 1 % в общемировом балансе произведенной электроэнергии, к 2040 г. его доля может возрасти до 30 %, поскольку темпы роста и планы развития «солнечной» энергетики в промышленно развитых странах достаточно внушительны (рис. 1, [1]). Среднегодовой рост рынка солнечных энергетических установок составил более 35% за период с 1999 по 2005 гг.

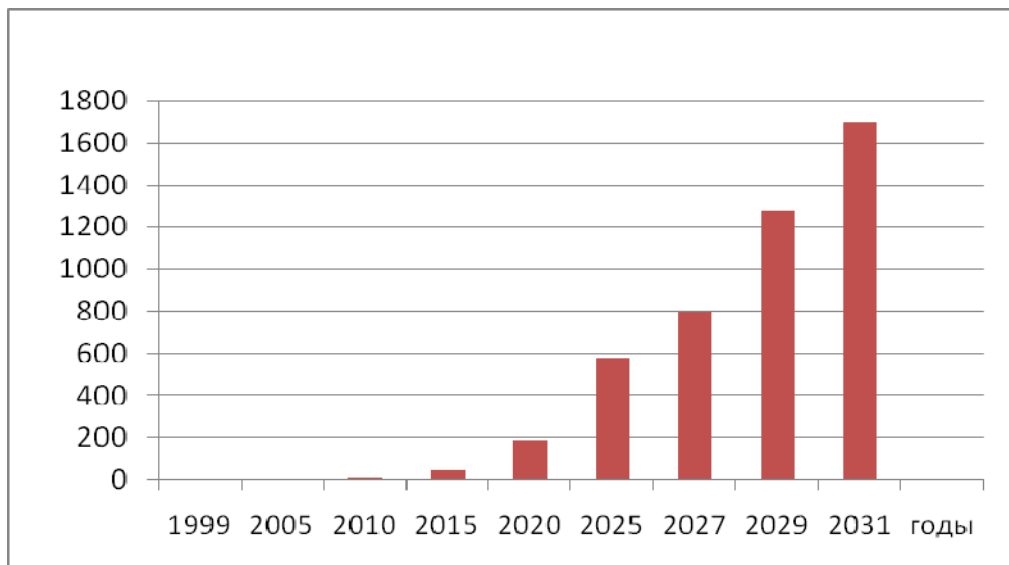


Рис. 1. Совокупная установленная мощность солнечных элементов в мире, ГВт (существующее положение и прогноз)

Такие темпы роста обеспечат прогнозируемую совокупную установленную мощность электрогенераторов на солнечной энергии на уровне 1700 ГВт к 2031 г. (в 2004 г этот показатель составлял немногим более 1200 МВт).

Солнечная энергия может использоваться как для получения тепловой энергии (солнечные коллекторы), так и для выработки электроэнергии (фотоэлектрические преобразователи).

Фотоэлектрические системы обладают рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с другими способами получения электроэнергии:

- ❖ практически безграничными запасами исходного сырья – солнечной энергией,
- ❖ эксплуатационной простотой и минимальным обслуживанием, заключающимся в периодической очистке поверхности солнечных панелей,
- ❖ возможностью увеличить срок службы солнечных модулей до 100

лет (в настоящее время срок службы ограничен герметизирующими материалами),

- ❖ возможностью создания установок неограниченной мощности,
- ❖ высокой экологичностью процесса выработки электрической энергии (фотоэлектрический процесс считается наиболее экологичным способом получения электроэнергии, за исключением вредного производства кремния солнечного качества по «хлорной» технологии и проблемой утилизации отработанных солнечных элементов).

Кроме того, фотоэлектрические солнечные панели незаменимы в труднодоступных и удаленных районах, что особенно актуально для нашей страны.

Все эти преимущества фотоэлектрических систем позволяют им стать конкурентноспособными на электроэнергетическом рынке в ближайшем будущем. Конкурентноспособность солнечной энергии определяется ря-

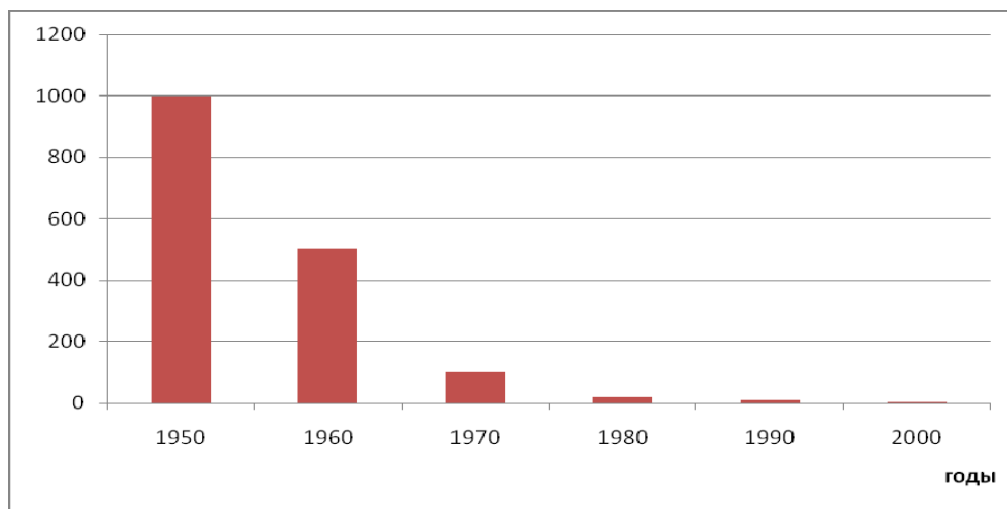


Рис. 2. Стоимость фотоэлектрических модулей, долл. США/Вт

дом факторов, основные из которых следующие:

- срок службы, который необходимо продлить с 25 лет в два раза за счет надежной герметизации солнечных модулей новыми полимерными материалами;
- цена солнечных элементов, один из резервов снижения которой заключается в сокращении стоимости «чистого» кремния, составляющего около 60% себестоимости фотоэлементов;
- повышение коэффициента полезного действия кремневого элемента до 35%.

Стоимость 1 кВт • ч электрической энергии, полученной с помощью фотоэлектрических преобразователей, пока остается довольно высокой по сравнению с традиционными видами электроэнергии (табл. 1, [2]). Однако, наблюдается устойчивая тенденция к понижению стоимости «солнечной» энергии (как, впрочем, всей электроэнергии, вырабатываемой на основе ВИЭ), на фоне неуклонного повышения стоимости энергии, вырабатываемой на базе ископаемых видов то-

плива. К примеру, стоимость фотоэлектрических модулей снизилась с 1000 долл. США/Вт в 1950 г до 3-4 долл.США/Вт в 2000 г. (см. рис 2, табл. 2 [3]).

**Таблица 1
Стоимость выработки электроэнергии (усредненные данные по Европе и США)**

Источник энергии	Стоимость выработки электроэнергии, центов США/кВт.ч
уголь	2 - 4
ядерное топливо	2 - 5
газ	2 - 7
ветер	4 - 6
нефть	6 - 8
приливы	8 - 15
солнце	15 - 60

Ниже приведены исторические этапы изучения и развития солнечной энергии:

1839 г. - Александр Эдмон Беккерель открыл фотогальванический эффект.

1883 г. - Чарльз Фриттс создает всемирный первый солнечный электрический модуль - селен, покрытый очень тонким слоем золота. Такое со-

четание элементов преобразовывает меньше чем один процент солнечного света в электричество.

1953 г. - Джеральд Персон установил, что кремний, покрытый определенными примесями, намного более чувствителен к солнечному свету, чем селен. Таким образом стартовали исследования по использованию солнечной энергии – была создана первая солнечная ячейка, что явилось по словам корреспондентов “Нью-Йорк Таймс” «началом эры, которая приведет в конечном счете к реализации одной главной мечты человечества - использование почти безграничной энергии Солнца для развития цивилизации”.

1957 г. - СССР на орбиту Земли вывел первый искусственный спутник на солнечных батареях. В 1958 году это достижение повторили и США. Стоимость одного киловатт-часа энергии была \$500.

1970 г. - стоимость солнечной энергии была снижена до \$100 за киловатт- час. К этому времени все спутники были оснащены солнечными батареями, изготовленными на основе кремния. КПД преобразования энергии достиг 10%. И примерно два десятилетия держался на этой отметке.

1973 г. - стоимость за один киловатт-час была снижена до \$50 благодаря использованию более дешевых кремниевых плат.

1978 г. - для поддержки телекоммуникационных сетей в Австралии были построены наземные солнечные станции.

1985 г. - на солнечной энергии работало порядка 30 000 телефонно-автоматов по всему Калифорнийскому шоссе. Были установлены уличные солнечные фонари – днем они аккумулялировали энергию, а ночью освещали улицы. Также освещались с помощью солнечной энергии автобусные остановки.

1995 г. - стоимость за один кВтч солнечной электроэнергии снизилась до \$15. Во всех развитых странах начались усиленные разработки в этой области. Правительства старались как можно быстрее снизить стоимость солнечной энергии до уровня обычного электричества. К этому моменту КПД солнечных элементов удалось поднять до 15%.

2004 г. - добывается более 1 миллион киловатт электроэнергии. Доходы от солнечной энергии близки к 6,5 миллиардам долларов. Первые места в «солнечной гонке» занимают Япония, Германия и Соединенные Штаты Америки. Присоединяются такие страны, как Южная Корея, Испания и Китай. В Германии действует государственная программа «Сто тысяч солнечных крыш», а в США — аналогичная программа «Миллион солнечных крыш». В Германии, по условиям программы, владелец дома первоначально одновременно платит достаточно большую сумму за установку солнечных батарей, после чего излишки вырабатываемой ими энергии переправляются в единую энергосистему по гарантированному повышенному тарифу. В результате, установка солнечных батарей окупается буквально за несколько лет.

2008 г. - в целях экономии энергоресурсов в Москве началась установка солнечных батарей для освещения дворов и подъездов жилых домов. Днем энергия накапливается в аккумуляторах, а ночью включается автоматический режим освещения. Экономия электроэнергии заключается в том, что свет не горит постоянно, а включается за счет специальных датчиков движения, когда жилец выходит из квартиры. Эксперимент признан удачным. Количество солнечных батарей в городе решено увеличивать.

Основным компонентом для построения фотоэлектрических систем являются солнечные панели, собираемые из отдельных солнечных элементов, принцип работы которых построен на основе явления внутреннего фотоэффекта в полупроводниках. В фотоэлектрических преобразователях солнечной энергии используется кремний с добавками других элементов, образующих структуру с p-n-переходом. Причём толщина полупроводника не превышает 0,2–0,3 мм. Кроме того, можно выделить 2 типа фотоэлектрических систем: автономные и соединенные с электрической сетью. Станции второго типа отдают излишки электрической энергии в сеть, которая служит резервом в случае возникновения внутреннего дефицита электрической энергии.

Кремний, из которого изготавливаются солнечные элементы, по праву считается "Нефтью 21-го столетия": расчеты показывают, что 1 кг кремния эквивалентен 75 т нефти.¹ В зависимости от того, каким образом организованы атомы кремния в кристалле, солнечные элементы делятся на следующие виды:

- Солнечные элементы из монокристаллического кремния
- Солнечные элементы из поликристаллического кремния
- Солнечные элементы из аморфного кремния

¹ Учитывая, что 1 кг кремния в солнечном элементе вырабатывает за 30 лет 300 МВт*ч электроэнергии, легко подсчитать нефтяной эквивалент кремния. Прямой пересчет электроэнергии 300 МВт*ч с учетом теплоты сгорания нефти 43,7 МДж/кг дает 25 т нефти на 1 кг кремния. Если принять КПД ТЭС, работающей на мазуте, 33%, то 1 кг кремния по вырабатываемой электроэнергии эквивалентен примерно 75 тоннам нефти.

Монокристаллические элементы имеют наивысшую эффективность преобразования энергии. Основным материалом - крайне чистый кремний, из которого изготовлены монокристаллические солнечные панели, хорошо освоены в области производства полупроводников. Кремниевый монокристалл растет на семенном, которое медленно вытягивается из кремниевого расплава. Стержни, полученные таким путем, режутся на части толщиной от 0,2 до 0,4 мм. Затем эти диски подвергаются ряду производственных операций, таких как обтачивание, шлифовка, очистка и пр. КПД солнечной панели на основе монокристаллического кремния составляет 14-19%.

Поликристаллический кремний развивается, когда кремниевый расплав медленно охлаждается. При производстве поликристаллических панелей операция вытягивания опускается, оно менее энергоёмкое и значительно дешевле. Однако внутри кристалла поликристаллического кремния имеются области, отделенные зернистыми границами, вызывающие меньшую эффективность элементов. КПД солнечной панели на основе поликристаллического кремния составляет 12-17%.

Аморфный кремний получается при помощи «техники испарительной фазы», когда тонкая пленка кремния осаждается на несущий материал и защищается покрытием. Эта технология имеет ряд недостатков и преимуществ. Процесс производства солнечных панелей на основе аморфного кремния относительно простой и недорогой, характеризующийся низким энергопотреблением; имеется возможность производства элементов большой площади. Однако, эффективность преобразования солнечной энергии значительно ниже, чем в кри-

сталлических элементах (КПД составляет 7-10%), элементы подвержены процессу деградации.

Таблица 2

Динамика показателей фотоэлектрических систем

Показатель	1990	2000	2010
КПД модулей, %			
Монокристаллический кремний	14	19	24
Поликристаллический кремний	12	17	22
Аморфный кремний	7	10	12
Удельная стоимость фотоэлектрических систем, долл. США/кВт			
Автономная до 1 кВт	10100	5060	3850
Подключенная к сети, 5-20 кВт	8300	4360	2950
Большие станции, 2-10 МВт	7100	3080	2000

В настоящее время наблюдается дефицит² исходного сырья³ для производства фотоэлектрических элементов. Первоначально (до 2000—2001 гг.) сырьевой базой солнечной энергетики являлись отходы «электронной» индустрии: некондиционный поликремний, получаемый в цикле производства поликремния электронного качества. Теперь источники сырья изменились - свыше 60 % общей потребности обеспечивает поликремний, специально произведенный для солнечной энергетики двумя путями: либо по традиционной технологии, либо по технологиям, специально разработанным для производства «солнечного» поликремния.

Хлорсилановая технология производства «солнечного» кремния, разра-

ботанная около 35 лет назад, до настоящего времени практически не изменилась, сохранив все отрицательные черты химических технологий 50-х годов: высокая энергоемкость, низкий выход кремния, экологическая опасность. Основным материалом для производства кремния - кремнезем в виде кварцита или кварцевого песка, составляет 12% от массы литосферы. Большая энергия связи Si-O - 464 кДж/моль обуславливает большие затраты энергии на реакцию восстановления кремния и последующую его очистку химическими методами - 250 кВт.ч/кг, а выход кремния составляет 6-10%. С 1970 года в СССР, Германии, Норвегии и США проводились исследования по созданию технологий получения кремния, исключая хлорсилановый цикл. В 1974 году фирма "Симменс" (Германия) и в 1985 году фирма "Элкем" (Норвегия), совместно с компаниями США "Дау Корнинг" и "Эксон" завершили разработки технологии получения «солнечного» кремния карботермическим восстановлением особо чистых кварцитов. Технология характеризуется низкими энергозатратами и увеличением выхода продукта в 10-15 раз по сравнению с традиционной, снижением стоимости получаемого кремния. Особая выгода для России заключается в том, что самые крупные залежи требуемых для данной технологии особо чистых кварцитов находятся в нашей стране.

В настоящее время более 90% мирового рынка производителей поликремния контролируют 7 крупнейших компаний из США, Японии, Германии и Италии (Wacker Chemie, Hemlock, Tokuyama, Mitsubishi, REC Silicon, Elkem Solar, MCL Louyang, MEMC и др.). Компании используют в качестве сырья трихлорсилан собственного производства. Лидерство на

² ожидаемый «дефицит» к 2010 году составит по разным оценкам до 8—10 тыс. т

³ на основе поликремния делается 90% всех солнечных батарей в мире

рынке поликремния принадлежит американской компании Hemlock Semiconductors (24-27%). На втором месте находится немецкая Wacker Chemie, третье и четвертое места поделили между собой норвежская REC и японская Токуама. Перспектива занять достойное место на этом рынке имеется и у нашей страны.

По мнению специалистов в России имеются, как климатические так и технические, предпосылки для существенного развития и использования солнечной энергии. Климатические предпосылки состоят в достаточно высоких удельных характеристиках солнечных установок при производстве электроэнергии и тепла. Учитывая показатели инсоляции различных регионов России, фотоэнергетика может стать реальной альтернативой традиционным источникам энергии в Южном Федеральном округе, на юге Сибири и Дальнего Востока. К примеру, Краснодарский край и большая часть Сибири по инсоляции (4,0–4,5 кВт ч/м² день) сравнимы с югом Франции и центральной частью Италии, где солнечная энергетика сейчас развивается бурными темпами.

Технические предпосылки состоят в наличии в России производства фотоэлектрических преобразователей, модулей на их основе и плоских солнечных коллекторов, а также в сохранившемся научно-техническом потенциале в данной области. Так, в Иркутской области создается масштабный комплекс по производству поликремния, в Чувашии планируется построить производство, ежегодная проектная мощностью которого составит миллион солнечных модулей, что эквивалентно 120 мегаваттам в год.⁴

Формирование в России новой современной перспективной инновационной отрасли - солнечной энергетики позволит нашей стране обеспечить вхождение в число ведущих мировых производителей поликремния и фотогенерирующих систем, привлечь инвестиции в экономику страны, стимулировать создание новых рабочих мест, снизить негативное воздействие на природу при сжигании органического топлива.

⁴Старт проекта запланирован на III квартал 2009 года, выход на проектную мощность — на IV квартал 2011 года

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наумов А.В. Сырье для солнечной энергии// Энергия: экономика, техника, экология, №6, 2007, с.29-34.

2. Наумов А.В., Заддэ В.В. Солнечные электростанции сегодня и завтра//

Энергия: экономика, техника, экология, №6, 2006, с.25-33.

3. Безруких П.П. Зачем России возобновляемые источники энергии? // Энергия: экономика, техника, экология. - 2002. - N 10. - С.2-8; N 11. - С.2-8. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Коробова О.С. – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Прикладная экология», Российский университет дружбы народов, aspirant@office.rudn.ru