

РОЛЬ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ БУДУЩЕГО

Д. С. Стребков, П. Ракин

АННОТАЦИЯ:

Рассмотрены важнейшие факторы, материалы и технологии, определяющие роль солнечной энергии в будущем производстве энергии. Ключевые факторы включают эффективность преобразования солнечной энергии не менее 20%, возможность производства электроэнергии 24 часа в сутки, 50 лет срок службы энергетической системы, цену 1000 американских долларов за киловатт пиковой мощности, доступность и низкая цена материалов для солнечной электростанции и экологическая безопасность производства и работы солнечной электростанции.

Новые принципы преобразования солнечной энергии, новые технологии солнечного кремния, производства солнечных элементов, герметизации солнечных модулей, использование стационарных солнечных концентраторов и новых методов передачи электрической энергии для глобальной солнечной энергосистемы обеспечат к концу столетия 60-90% долю солнечной энергии в мировом производстве энергии.

ВВЕДЕНИЕ

Ресурсы солнечной энергии огромны и доступны каждой стране. Количество солнечной энергии, поступающей на территорию России за неделю, превышает энергию всех российских запасов нефти, газа, угля и урана. В России доля солнечной энергии в виде биомассы и гидроэнергии составляет 6% в общем производстве энергии, в развивающихся странах 80% [1]. Доля ВИЭ¹ в потреблении энергии в странах ЕЭС должна возрасти с 6% в 2000

¹ По терминологии, принятой в ООН, все виды энергии, в основе которых лежит солнечная энергия, называются возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ).

г. до 12% до 2010 г., а установленная мощность солнечных энергетических систем (СЭС) должна увеличиться с 32 МВт пик. до 3000 МВт пик. в 2010 г. Доля ВИЭ, включая гидроэнергетику, должна составлять 22, 1% в потреблении электроэнергии в странах ЕЭС до 2010 г. В 2003 г. потребление энергии в ЕЭС составляло 2880,8 ТВт·ч. В 2030 г. прогнозируемая установленная мощность СЭС, использующих фотоэлектрический метод преобразования солнечной энергии в мире составит 300 ГВт при стоимости 1000 евро/кВт и стоимости электроэнергии 0,05-0,12 евро/кВт·ч [2]. Возобновляемые источники энергии будут замещать уголь, нефть, газ и уран в производстве электроэнергии, теплоты и жидкого топлива.

На Саммите на Окинаве, Япония в июле 2000 года лидеры “большой восьмерки” создали международную специальную группу и группу советников для определения барьеров и подготовки решений для достижения существенных изменений в развитии мировой возобновляемой энергетики, от России в неё вошли начальник управления научно-технического прогресса Минэнерго РФ Безруких П. П. и академик РАСХН Стребков Д. С. В докладе [3], подготовленной специальной группой и утвержденном лидерами большой восьмерки на Саммите в Генуе в июле 2001 года, поставлена задача за десять лет обеспечить 1,8 млрд. человек² в мире энергией с помощью ВИЭ и предложена концепция электрификации сельского хозяйства развивающихся стран.

Общая стоимость этого проекта оценивается в 200-250 млрд. долларов. Для сравнения затраты этих 1,8 млрд. человек в собственную неэффективную и невозобновляемую энергетику: свечи, керосиновые лампы, печи на твердом и жидком топливе, бензиновые и дизельные электростанции составляют около 400-500 млрд. долларов за 10 лет [4]. Лидеры большой восьмерки заявили на Саммите в Генуе в июле 2001 года: «Мы будем предусматривать развитие ВИЭ в наших национальных планах и поддерживать исследования и инвестиции в новые технологии».

Целью работы является определение существенных факторов и технологий, определяющих направления и перспективы развития мировой солнечной энергетики и её роль в энергетике будущего. Роль солнечной энергии в

☞

К нетрадиционным возобновляемым источникам энергии (НВЭИ) относятся гидроэнергия, солнечная, геотермальная, энергия ветра, энергия приливов и отливов, энергия волн, термальный градиент моря, энергия преобразования биомассы, энергия, получаемая в результате сжигания топливной древесины, древесного угля, торфа, энергия использования тяглового скота, энергия, получаемая при сжигании горючих сланцев и битуминозных песчаников.

² По данным МИРЭС в 1993 г. около 1,8 миллиарда людей в мире не имели доступа к коммерческому использованию энергоресурсов.

энергетике будущего определяется возможностями разработки и использования новых физических принципов, технологий, материалов и конструкций для создания конкурентоспособных СЭС.

Для того чтобы конкурировать с топливной энергетикой, солнечной энергетике необходимо выйти на следующие критерии:

- КПД солнечных электростанций не менее 20 %
- Годовое число часов использования мощности солнечной энергосистемы должно быть равно 8 760 часов. Это означает, что Солнечная энергетическая система должна генерировать электроэнергию 24 часа в сутки 12 месяцев в году.
- Срок службы солнечной электростанции должен составлять 50 лет.
- Стоимость установленного киловатта пиковой мощности солнечной электростанции не должна превышать 1000 долл. США
- Производство полупроводникового материала для СЭС должно превышать один млн. тонн в год при цене не более 15 долл. США/кг.
- Материалы и технологии производства солнечных элементов и модулей должны быть экологически чистыми и безопасными.

Рассмотрим, в какой степени современные цели и направления развития солнечной фотоэлектрической энергетике отвечают вышеуказанным критериям.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Максимальный достигнутый в лаборатории КПД солнечных элементов (СЭ) на основе каскадных гетероструктур составляет 36,9 % (фирма Спектролаб, США), для СЭ из кремния 24%. Практически все заводы в России и за рубежом выпускают солнечные элементы с КПД 14 -17%. Sun Power Corp. США начала в 2003 г. производство солнечных элементов из кремния размером 125 x 125 мм с КПД 20%.

В России и за рубежом разрабатывается новое поколение СЭ с предельным КПД до 93%, использующее новые физические принципы, материалы и структуры. Основные усилия направлены на более полное использование всего спектра солнечного излучения и полной энергии фотонов по принципу: каждый фотон должен поглощаться в варизонном или каскадном полупроводнике с запрещенной зоной,³ ширина которой соответствует энергии

³ Запрещенная энергетическая зона в полупроводнике находится между валентной зоной и зоной проводимости. Она определяет длинноволновую границу фотоэффекта.

этого фотона. Это позволит на 47% снизить потери в СЭ. Для этого разрабатываются:

– каскадные СЭ из полупроводников с различной шириной запрещенной зоны

– солнечные элементы с переменной шириной запрещенной зоны
– солнечные элементы с примесными энергетическими уровнями⁴ в запрещенной зоне.

Другие подходы к повышению КПД СЭ связаны с использованием концентрированного солнечного излучения, созданием полимерных СЭ, а также наноструктур на основе кремния и фуллеренов [2].

Новые технологии и материалы позволят в ближайшие пять лет увеличить КПД СЭ на основе каскадных гетероструктур в лаборатории до 40%, в производстве до 26-30%, КПД СЭ из кремния в лаборатории до 28%, в промышленности до 22%.

ПОВЫШЕНИЕ ЧИСЛА ЧАСОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ СЭС

Число часов использования установленной мощности в год составляет для тепловых электростанций в среднем 5200 ч, для ГЭС 1000-4800 ч, для ВЭС 2000 - 3000 ч., для СЭС 1000-2500 ч. [5].

Стационарная солнечная электростанция с КПД 20 % пиковой мощностью 1 кВт вырабатывает за год в центральной России и в Германии 2000 кВт·ч, в пустыне Сахара до 3500 кВт·ч. При слежении за Солнцем производство электроэнергии при тех же условиях возрастет в России до 2800 кВт·ч/кВт, в Сахаре до 5000 кВт·ч/кВт. Зависимость вырабатываемой энергии СЭС от времени суток и погодных условий является ахиллесовой пятой СЭС в конкуренции с электростанциями на ископаемом топливе. Поэтому до настоящего времени в крупномасштабных проектах и прогнозах развития солнечной энергетики предусматривалось аккумулирование солнечной энергии путем электролиза воды и накопления водорода.

В нашем институте проведено компьютерное моделирование параметров глобальной солнечной энергетической системы, состоящей из трех СЭС, установленных в Австралии, Африке и Латинской Америке, соединенных линиями электропередач с малыми потерями (рис. 1). При моделировании использовались данные по солнечной радиации за весь период наблюдений. КПД СЭС принимался равным 20%. На рис. 2 представлен график производства элект-

⁴ Примесные энергетические уровни в запрещенной зоне позволяют увеличивать длинноволновую границу фотоэффекта за счет многофотонного поглощения.

роэнергии в глобальной солнечной энергосистеме. СЭС генерирует электроэнергию круглосуточно и равномерно в течении года. Размеры каждой из трех СЭС составляют 210 x 210 км, электрическая мощность 2,5 ТВт [6].



Рис. 1 Глобальная солнечная энергетическая система из трех солнечных электростанций

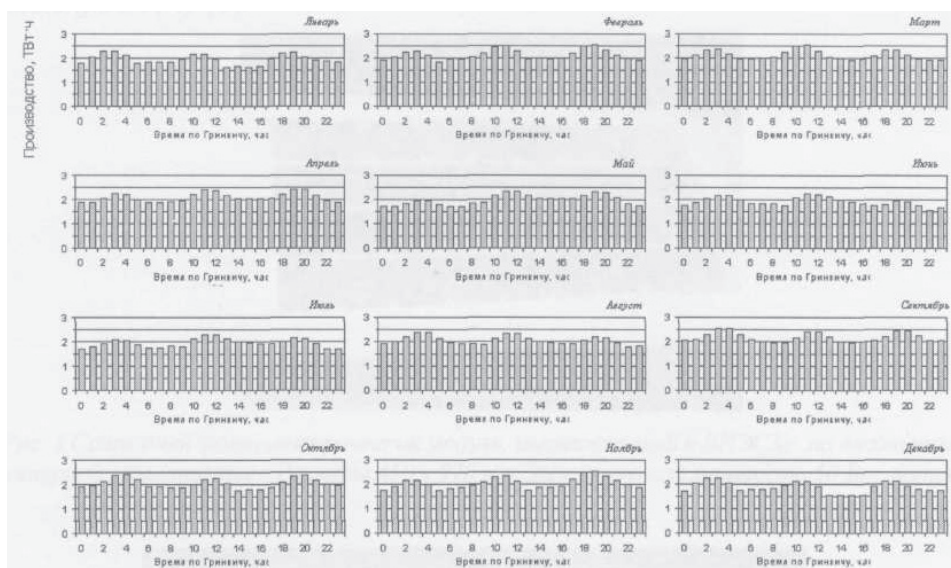


Рис. 2 Производство электроэнергии глобальной солнечной энергосистемой

В связи с развитием объединенных энергосистем в Европе, Северной и Южной Америке и предложениями по созданию глобальной солнечной энергосистемы появились задачи по созданию устройств для передачи тераваттных трансконтинентальных потоков электрической энергии. В конкуренцию между системами передачи на переменном и постоянном токе может вступить третий метод: резонансный волноводный метод передачи электрической энергии на повышенной частоте, впервые предложенной Н.Тесла в 1897 г [7].

УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Срок службы ТЭС и АЭС составляет 30-40 лет. Срок службы полупроводниковых СЭ превышает 50 лет, так как взаимодействие фотонов с атомами и электронами не приводит к деградации кристаллической структуры и изменению скорости поверхностной и объемной рекомбинации не основных носителей заряда. Однако солнечные модули (СМ) имеют сроки службы 20 лет в тропическом климате и 25 лет в умеренном климате из-за старения полимерных материалов - этиленвинилацета и тедлара, которые используются для герметизации СЭ в модуле. Для увеличения срока службы модулей необходимо исключить из конструкции модуля полимерные материалы. В новой конструкции солнечного модуля СЭ помещены в стеклопакет их двух листов стекла, соединенных по торцам пайкой или сваркой. Технология герметизации торцов гарантирует герметичность модуля в течении 50 лет. Для снижения температуры СЭ и оптических потерь внутренняя полость модуля заполнена кремнийорганической жидкостью (рис. 3, 4) [9].

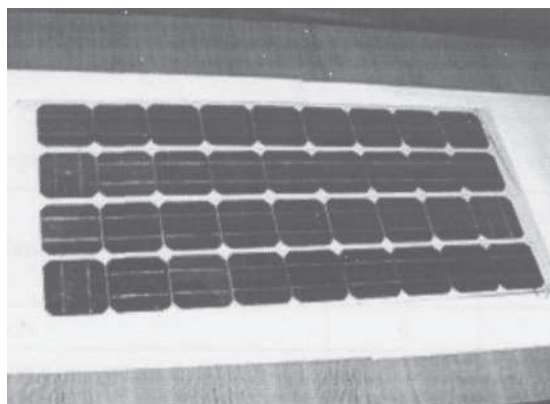


Рис. 3 Солнечный фотоэлектрический модуль, изготовленный в ВИЭСХе по технологии бесполимерной герметизации. Размеры 450 x 970 мм Электрическая мощность 50 Вт, напряжение 12 В.

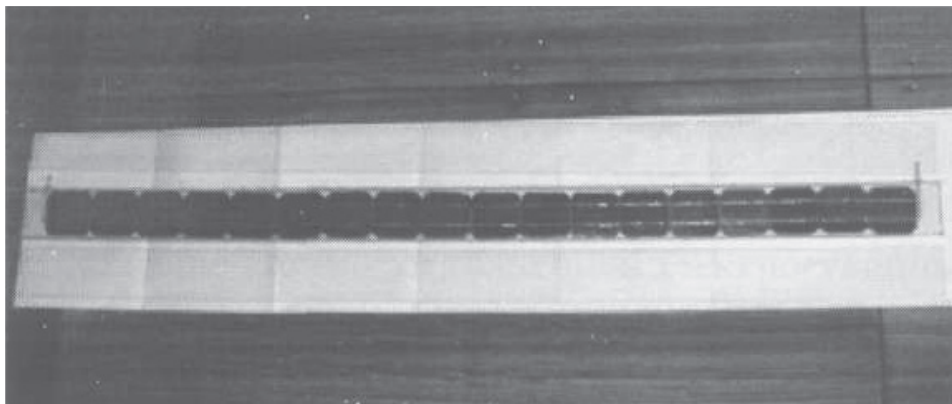


Рис. 4. Солнечный двусторонний фотоэлектрический приемник для стационарного концентратора. Размеры 2 м. х 0,12 м. Ожидаемый срок службы 40 лет. Разработано в ВИЭСХ

Новая бесполимерная технология сборки солнечного модуля была использована для создания эффективной вакуумной прозрачной теплоизоляции (ВПТИ). ВПТИ состоит из двух сваренных по торцам пластин стекла с вакуумным зазором 50 мкм. [10]. В таблице 1 представлены теплоизолирующие характеристики ВПТИ. При наличии инфракрасного (ИК) покрытия на внутренней поверхности стекол сопротивление теплопередачи может быть увеличено в 10 раз по сравнению с одинарным остеклением зданий. Солнечные коллекторы с вакуумным остеклением будут нагревать воду не до 60°, а до 90°C, т.е. из установок для горячего водоснабжения переходят в новый тип установок для отопления зданий. В теплицах и зимних садах потери энергии уменьшаются на 50 %. Облицовка южных фасадов зданий плитами вакуумной прозрачной теплоизоляцией с селективным покрытием превращает здание в гигантский солнечный коллектор и эквивалентно увеличению толщины стен на 1 метр кирпичной кладки при толщине ВПТИ 12 мм.

Особенно эффективно использование ВПТИ в южных районах РФ и в республиках Бурятия, Якутия, где в условиях зимнего антициклона при температуре воздуха – 30°C температура селективного покрытия при толщине ВПТИ 10 мм составляет + 30° С. Использование ВПТИ в летние месяцы позволит на 50% снизить затраты на кондиционирование зданий.

Таблица 1. Сопротивление теплопередачи прозрачных ограждений зданий теплиц и солнечных установок

Наименование	Толщина, мм	Сопротивление теплопередачи, $\text{м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$
Один лист стекла	6	0,17
Два листа стекла с зазором 16 мм	30	0,37
Вакуумный стеклопакет	6	0,44
Вакуумный стеклопакет с ИК-покрытием на одном стекле	6	0,85
Вакуумный стеклопакет с ИК-покрытием на двух стеклах	6	1,2
Двойной вакуумный стеклопакет с ИК-покрытием на двух стеклах	12	2,0
Кирпичная стена 2,5 кирпича	300	1,2

СНИЖЕНИЕ СТОИМОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Стоимость установленного киловатта мощности составляет, долл. США/кВт:

ГЭС 1000 - 2500, ТЭС 800 - 1400, ВЭС 800 - 3000, АЭС 2000 - 3000 [7].

Основными компонентами современных СЭС, определяющем их стоимость является солнечный модуль изготавливаемый из СЭ на основе кремния. Стоимость СМ составляет сейчас 3500-4000 долл. США/кВт при объеме производства 1 ГВт/год, стоимость СЭС 6000 - 8000 долл. США/кВт, стоимость СЭС 1000 долл. США/кВт прогнозируется достигнуть в 2020 г [2].

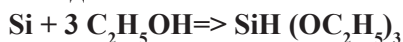
Основные пути снижения стоимости СЭС: повышение КПД СЭС, увеличение размеров СМ и объема производства, снижение стоимости солнечного кремния, снижение расхода солнечного кремния на единицу мощности СЭС, комбинированное производство электроэнергии и теплоты на СЭС.

Максимальный размер солнечного модуля ограничен размерами стекла и составляет сейчас 2,5 x 3 м. при электрической мощности 1 кВт. Объем производства СМ растет на 30% в год, а их стоимость снизилась с 1976 года в 10 раз.

В России разработана бесхлорная технология производства солнечного поликремния со стоимостью 15 долл. США/кВт, что в два раза ниже, чем стоимость поликремния на европейском рынке (табл. 2) [11]. Сроки создания производства солнечного поликремния объемом 1000 - 5000 т в год под новой технологии 2008 - 2010 гг.

Таблица 2 Бесхлорная технология производства поликристаллического кремния

Исходные компоненты: этанол и металлургический кремний



В результате реализации технологии:

- Стоимость поликристаллического кремния снижается в 2 раза до 15 долл. США/кг.
- Чистота и качество кремния увеличивается в 10 раз до 99,999%
- Производство становится экологически безопасным

В новой технологии в качестве исходных материалов используются вместо соляной кислоты этиловый спирт и металлургический кремний, а в качестве промежуточных компонентов процесса - триэтоксисилан и моносилан. Снижение стоимости происходит благодаря снижению температуры процесса и затрат энергии. При этом значительно улучшаются экологические характеристики производства, и повышается качество кремния в такой степени, что его можно использовать в электронной промышленности.

Наиболее быстрый путь снижения стоимости и достижения гегаваттного урона производства СЭС заключается в использовании концентраторов солнечного излучения. Стоимость 1 м² площади стеклянного зеркального кон-

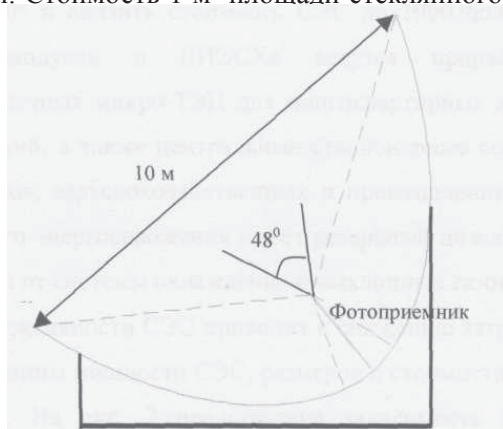


Рис. 5. Оптическая схема симметричного стационарного солнечного концентратора с концентрацией 3.

центратора в 10 раз меньше стоимости 1 м² площади СМ. В России разработаны стационарные концентраторы с коэффициентом концентрации 3.5 - 10 с угловой апертурой 48°, позволяющие в пределах апертурного угла концен-

трировать прямую и рассеянную компоненту солнечной радиации (рис. 5 - 7) [12]. Использование солнечного поликремния низкой стоимости и стационарных концентраторов позволяет сократить сроки достижения стоимости 1000 долл. США/кВт с 2020 до 2015 гг.

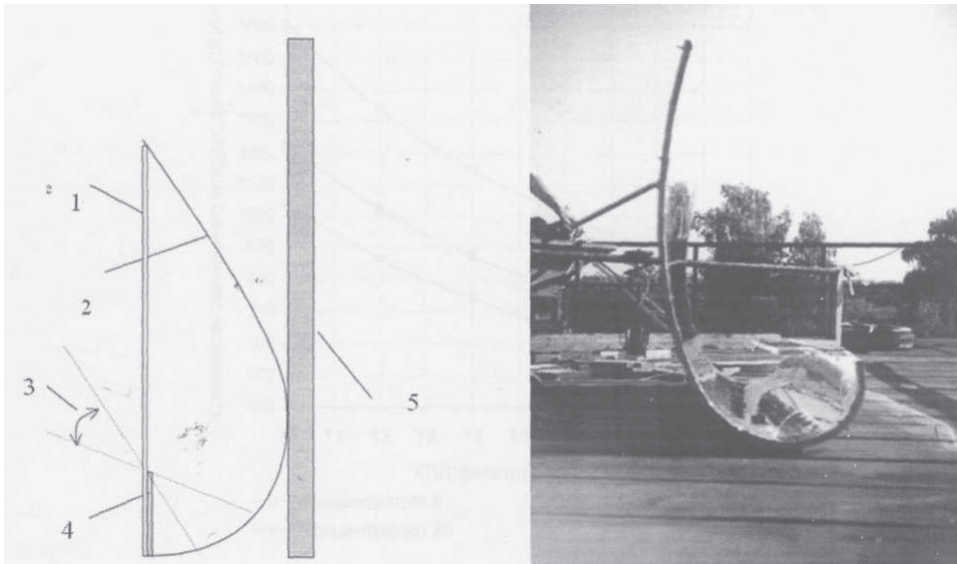


Рис. 6. Солнечный фасад с вертикальным асимметричным солнечным модулем с углом раскрытия 36°

(1 - стеклянное покрытие; 2 - отражатель; 3 - апертурный угол; 4 - двухсторонний приемник; 5 - южный фасад здания), а также фотография экспериментального модуля

Комбинированные солнечные электростанции могут обеспечить производственные и жилые объекты электрической энергией, горячей водой и теплом. Коэффициент использования энергии Солнца составляет 50-60% при электрическом КПД 10-15%. Использование стационарных концентраторов позволяет увеличить температуру теплоносителя до 90° и снизить стоимость СЭС до 1000 долл. США/кВт. На основе концентраторных модулей в ВИЭС-Хе ведутся проработки соединенных с энергосистемой солнечных микро-ТЭЦ для многоквартирных и односемейных домов и промышленных зданий, а также центральные стационарные солнечные электростанции для городов, поселков, сельскохозяйственных и промышленных предприятий. Микро-ТЭЦ для автономного энергоснабжения имеет резервный дизельный электрогенератор с утилизацией теплоты от системы охлаждения и выхлопных газов.

Повышение эффективности СЭС приводит к снижению затрат энергии и материалов на производство единицы мощности СЭС, размеров и стоимости земельного участка под строительство СЭС. На рис. 7 представлена зависимость стоимости изготовления киловатта установленной мощности солнечных модулей со стационарными концентраторами от КПД. При КПД 20% стоимость производства становится значительно меньше 1000 долл. США/кВт.

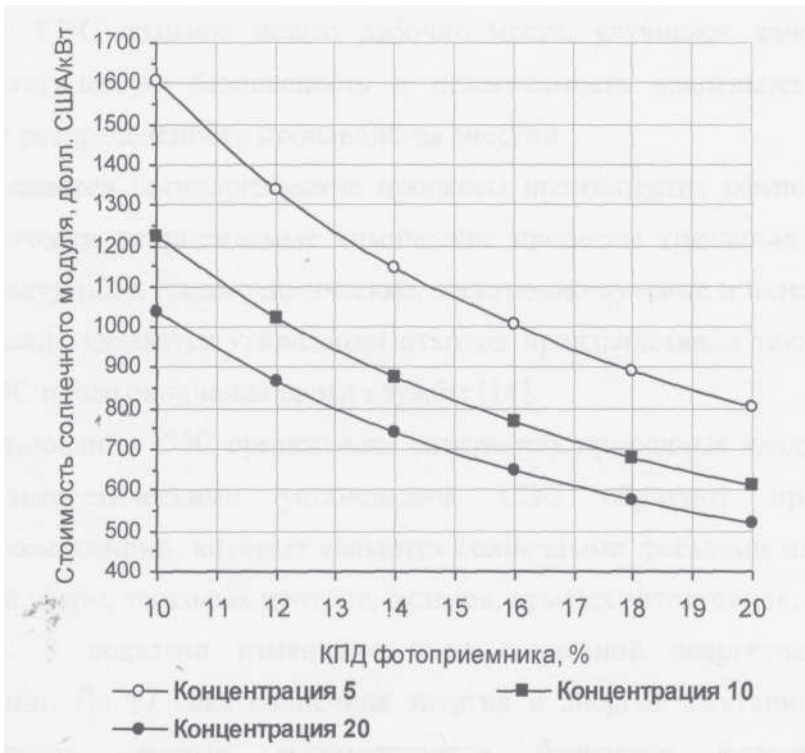


Рис. 7. Стоимость стационарного параболоцилиндрического концентрирующего модуля мощностью 1 кВт, с апертурным углом 36° для северных широт.

УВЕЛИЧЕНИЕ ОБЪЕМА ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЭС

При современном объеме производства СЭС 1ГВт/год солнечные модули из кремния составляют более 85% объема производства. По нашим прогнозам, солнечный кремний и в дальнейшем будет доминировать в фотоэлектрической промышленности, исходя из принципа: структура потребления ресурсов в долговременной перспективе стремится к структуре их име-

ющихся запасов на Земле [13]. Земная кора состоит на 29,5 % из кремния, который занимает второе место по запасам после кислорода.

При объеме производства 100 ГВт в год и расходе солнечного кремния 10.000 т/ГВт мировое потребление кремния составит 1 млн. тонн в год. Кроме рассмотренной ранее бесхлорной химической технологии получения кремния разрабатываются электрофизические методы восстановления солнечного кремния из особо чистых кварцитов с помощью плазматронов. Развиваются новые технологии получения кремния в виде тонких листов, лент, пленок с лазерным раскроем и автоматизацией процесса изготовления СЭС.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОИЗВОДСТВА СЭС

Человечеству не грозит энергетический кризис, связанный с истощением запасов нефти, газа, угля, если оно освоит технологии использования солнечной энергии. В этом случае будут также решены проблемы загрязнения среды обитания выбросами электростанций и транспорта, обеспечения качественными продуктами питания, получения образования, медицинской помощи, увеличения продолжительности и качества жизни. СЭС создают новые рабочие места, улучшают качество жизни и повышают энергетическую безопасность и независимость владельцев СЭС за счет бестопливного и распределенного производства энергии.

Разрабатываются технологические процессы производства компонентов СЭС, в которых экологически неприемлемые химические процессы травления и переработки заменяются на вакуумные, плазмохимические, электронно-лучевые и лазерные процессы. Серьезное внимание уделяется утилизации отходов производства, а также переработки компонентов СЭС после окончания срока службы [14].

При использовании СЭС органически сочетаются природные ландшафты и среда обитания с энергетическими установками. СЭС образуют пространственно-архитектурные композиции, которые являются солнечными фасадами или солнечными крышами зданий, ферм, торговых центров, складов, крытых автостоянок.

На рис. 8 показано изменение доли солнечной энергетики в мировом энергопотреблении. До 17 века солнечная энергия и энергия сжигания древесины, в которой солнечная энергия аккумулируется благодаря фотосинтезу, были единственными источниками энергии для человека. И сейчас 20% мирового производства энергии основывается на сжигании древесины, энергии рек и ветровой энергии, основой которых является солнечная энер-

гия. Новые принципы преобразования солнечной энергии, новые технологии солнечного кремния, производства солнечных элементов, герметизации солнечных модулей, использование стационарных солнечных концентраторов и новых методов передачи электрической энергии для глобальной солнечной энергосистемы обеспечат к концу столетия 60 -90% долю солнечной энергии в мировом производстве энергии (Рис. 8).

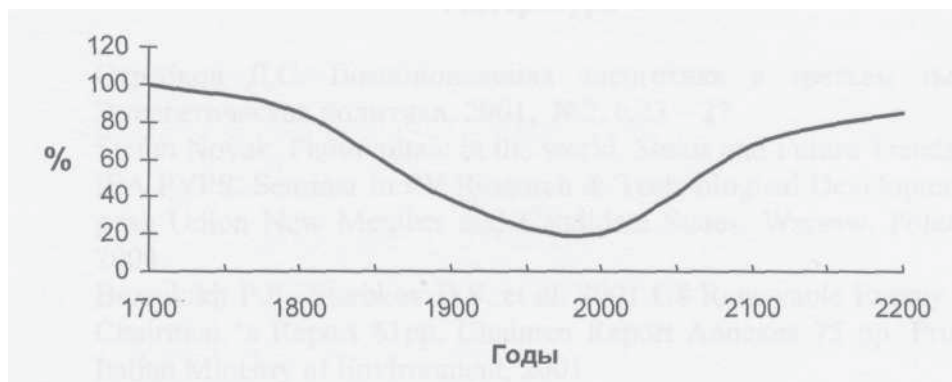


Рис. 8 Доля солнечной энергии в мировом производстве энергии

ВЫВОДЫ

1. Существенными факторами, определяющими направления и перспективы развития солнечной энергетики являются:

1. КПД СЭС не менее 20%;
2. Увеличение срока службы СЭС до 50 лет;
3. Снижение стоимости пиковой мощности СЭС до величины, не превышающей 1000 долл. США/кВт;
4. В случае использования солнечного поликристаллического кремния в качестве исходного полупроводникового материала СЭС его стоимость не должна превышать 15 долл. США/кг, при объеме производства не менее 1 млн. тонн в год на 100 ГВт СЭС;
5. Материалы и технологии СЭС должны быть экологически чистыми и безопасными;
6. Обеспечение возможности круглосуточного и круглогодичного преобразования и использования солнечной энергии.

2. Новые технологии позволяют достигнуть показателей развития солнечной энергетики указанных в п. 1. 1 - 1. 5 в 2015 г., по п. 1.6 в 2100 г.

3. Реализация факторов развития и новых технологий приведет к увеличению роли солнечной энергии в конце 21 века до 60 - 90%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стребков Д. С. Возобновляемая энергетика в третьем тысячелетии. Энергетическая политика, 2001, №2, с. 23-27
2. Stefan Novak. Photovoltaic in the world. Status and Future Trends. Chairman IEA PVPS. Seminar in PV Research & Technological Development in European Union New Member and Candidate States. Warsaw, Poland 15 Nov. 2004.
3. Bezrukikh P. P., Strebkov D. S. et al. 2001 G8 Renewable Energy Task Force Chairmen's Report 61pp. Chairmen Report Annexes 75 pp. Printed by the Italian Ministry of Environment, 2001.
4. Стребков Д. С. Возобновляемая энергетика: для развивающихся стран или для России. Энергия: экономика, техника, экология, Изд. РАН, 2002 г., № 9, с. 11-14.
5. Кашфразиев Ю. А. Ветроэнергетические установки в России – роскошь или источник энергии? Энергия: экономика, техника, экология. Изд. РАН., 2004 г., № 10, с. 34-39.
6. Strebkov D.S., Irodionov A. E. Global solar power system. Eurosun - 2004, Freiburg, Germany. 14 Intern. Sonnenforum 2004, Vol. 2 p. 336 - 343
7. N. Tesla, Electrical Transformer. US Pat. # 593138, 02. 11. 1897.
8. Стребков Д. С, Некрасов А. И., Резонансные методы передачи электрической энергии Изд. РАСХН, М., 2004 г., 185 стр.
9. Стребков Д.С, Безруких П.П. Новые экологически чистые энергетические технологии. Всероссийский энергетический форум «ТЭК России в 21 веке. Актуальные вопросы» Стратегические ориентиры. 18-19 декабря 2002 г. Сборник докладов М., 2002 г., с. 95 -98
10. Стребков Д. С., Заддэ В. В., Шеповалова О. В., Вакуумные стеклопакеты для окон и солнечных коллекторов. Возобновляемая энергетика, март 2004 Г., с. 12.
11. Strebkov D. S., Zадde V. V., Pinov A. B., Touyryan K., Murphy L., Crystalline Silicon Technology in CIS countries. 11-th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cell Materials and Process. Colorado, August 19-22, 2001, Extended abstracts and papers, NREL, 2001, p. 199-207.
12. Strebkov D. S., Litvinov P. P., Tverianovich E. V. Research of functioning of a class of V-shaped stationary concentrators. Eurosun - 2004. Freiburg, Germany 14 Intern. Sonnenforum, Vol. 2 p. 3-072-3-07.8
13. Strebkov D.S., Koshkin N.L. On development of Photovoltaic Power Engineering in Russia Thermal Engineering, 1996, vol. 43, # 5, p. 381-384
14. Tsuo Y.S. Touyryan K., Gee J.M., Strebkov D.S, Pinov A.B., Zадde V.V. Environmentally Benign Silicon Solar Cell Manufacturing. 2-nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion. 6-10 July 1998, Hofburg Kongresszentrum, Vienna, Austria, p. 1199-1204

THE ROLE OF SOLAR ENERGY IN THE POWER OF THE FUTURE

ABSTRACT:

Essential factors, new materials and technologies determining the direction of development and the role of solar energy in future energy generation are considered. The key factors include 20% solar energy conversion efficiency, 50 years operation time of solar power system, 1000 US \$/kWp cost of installed capacity, availability of low-cost materials and ecological safety of production and operation, the possibility of 24 hours a day solar electricity generation. New physical principles of solar energy conversion, new technologies of solar grade silicon, solar cells manufacturing and solar modules encapsulation, use of stationary solar concentrators and new method of electric power transmission for solar - based global power system provide by the end of this century 60-90% share of solar energy in future global energy production.

