

*В. А. Дзензерский*

Институт транспортных систем и технологий НАН Украины "Трансмаг", Днепропетровск

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В УКРАИНЕ

**Аннотация:** Представлена концепция создания фотоэнергетической отрасли в Украине, базирующаяся на использовании тонкопленочной ("рулонной") технологии.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика, тонкопленочные фотоэлектрические преобразователи, аморфный кремний, кристаллический кремний.

В течение ряда последних лет на страницах научной печати нами уже рассматривались различные аспекты вопроса о путях улучшения энергообеспеченности Украины за счет использования солнечной электроэнергетики [1, 2]. Вновь обратиться к этой теме нас вынуждают новые обстоятельства, связанные как с тем, что в последнее время вопрос энергетической безопасности страны резко обострился, так и с тем, что появились мотивы, свидетельствующие о недооценке возможностей новых технологий получения значительного количества недорогой электроэнергии, первичным источником которой является солнечное излучение.

Институтом возобновляемой энергии НАН Украины создан атлас энергетического потенциала возобновленных источников энергии, согласно которому общий потенциал энергии солнечного излучения для Украины эквивалентен  $89,4 \cdot 10^9$  т условного топлива (у. т.) в год, при этом технически достижимый потенциал составляет  $42,6 \cdot 10^7$  т у. т., а целесообразно-экономический потенциал эквивалентен  $5,99 \cdot 10^5$  т у. т. [3].

Как видим, есть огромная разница между общим потенциалом солнечного излучения и целесообразно-экономическим. В понятие

"целесообразно-экономический потенциал" входят, естественно, цена единицы выработанной электроэнергии, технологичность изготовления соответствующих преобразующих и согласующих элементов и устройств, степень обеспеченности страны сырьем и соответствующими технологиями его переработки, а также квалифицированным персоналом как по части разработки и серийного изготовления соответствующих энергокомплексов, так и их эксплуатации.

Мы полагаем, что в Украине имеются хорошие предпосылки для того, чтобы, по меньшей мере, технически достижимый потенциал перевести в целесообразно-экономический.

Укажем сразу, что соответствующая научная и промышленная база для решения такой задачи имеется. Кроме упомянутых в [4] учреждений Национальной академии наук (Института возобновляемой энергетики и Института физики полупроводников, занятых проблемами солнечной энергетики) следует указать Институт транспортных систем и технологий НАН Украины и Международную научно-промышленную корпорацию "ВЕСТА", которые совместно провели следующие работы:



Рис. 1. Установки, введенные в опытную эксплуатацию в Луганской области и в порту Усть-Дунайск



Рис. 2. Солнечная энергоустановка для электропитания уличных фонарей

- разработали концепцию построения интегрированных ветро-солнечных энергокомплексов;
- разработали и изготовили опытные образцы автономных вертикально-осевых ветроэнергетических установок (см. рис. 1) мощностью до 20 кВт с аккумуляторами-энергонакопителями;
- разработали концепцию построения протяженной фотоэлектрической системы электрообеспечения тягово-левитационной системы высокоскоростных магнитолевитирующих транспортных средств на электродинамическом подвесе [5];
- провели многолетние испытания на ре-

- сурс ряда малогабаритных фотоэнергетических установок различного бытового назначения, в том числе и снабженных устройствами автоматического слежения за Солнцем (рис. 2);
- разработали техническое задание на изготовление передвижной ветро-солнечной энергоустановки мощностью 1 кВт (см. рис. 3);
- осуществили конструкторский синтез автономных солнечных электроэнергетических установок больших габаритов со стационарным оптимально сориентированным пространственным размещением фотоэнергетических модулей на несущей

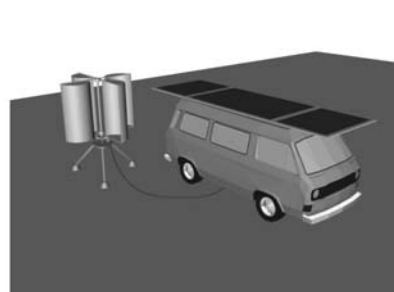
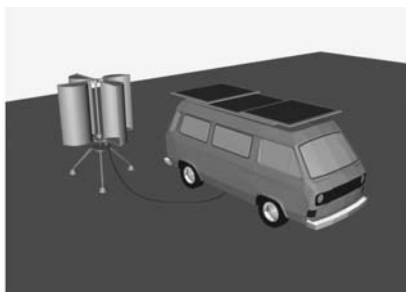
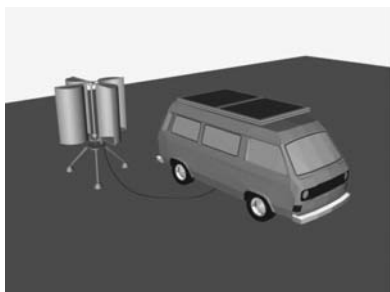


Рис. 3. Передвижная ветро-солнечная гибридная электростанция мощностью 1 кВт

опоре с учетом географических координат местности, где эти установки размещаются [6].

Было осуществлено также проектирование промышленного производства (завода) электрохимических накопителей электроэнергии (аккумуляторов), являющихся непременным компонентом солнечных и ветро-солнечных энергоустановок; получена первая продукция; осуществлена разработка электромеханических накопителей энергии нового типа (аргументных), являющихся буферными накопителями в ветро-солнечных установках [7].

Примечательной особенностью указанных разработок является то, что они ориентируются на использование принципиально новой (по отношению к традиционным для Украины аналогам) технологии производства и использование фотоэлектрических модулей, получаемых посредством осаждения на подложку (металлическую или полимерную) фоточувствительных слоев из газовой фазы.

### **Кризис "кристаллической" технологии.**

Исторически сложилось так, что отечественная фотоэнергетика базируется на использовании монокристаллического кремния марки "солнечный", который получают в процессе, включающем основные стадии:

- восстановление диоксида кремния по общеизвестным технологиям [8] с последующей его очисткой хлорированием, ректификацией;
- восстановление водородом хлоридов кремния; выращивание монокристаллов по методу Чохральского.

Указанные технологии очистки являются крайне дорогостоящими и экологически вредными. Предложенные в последнее время методики очистки металлургического кремния из раствора – расплава легкоплавких металлов, в качестве которых используются галлий, ин-

дий, свинец и др. [9], практически не решают ни вопросов стоимости, ни вопросов экологии. Кроме того, выращивание монокристаллического слитка является достаточно энергоемким процессом, материал кремния неоднородный по электрофизическим свойствам как в продольном, так и в радиальном направлениях, что затрудняет в последующем соединение в батарею отдельных фотомодулей с различающимися выходными параметрами, а последующая порезка слитка на пластины сопровождается значительными потерями материала. Естественно, что указанный способ получения кремния был приемлем в случае использования его в микроскопических количествах для производства транзисторов и микросхем и совершенно неприемлем при использовании кремния в фотоэнергетике в условиях общемировой нехватки исходного сырья.

Поэтому мировые лидеры в области производства фотоэлектрических модулей установили, что производство последних указанным выше способом получения монокристаллического кремния является тупиковым, если речь идет о большой фотоэнергетике.

Альтернативное решение было найдено и состоит оно в том, что значительные по площади, легкие, недорогие, не боящиеся механических и тепловых нагрузок, долговечные фотоэлектрические материалы стали получать посредством осаждения на гибкие подложки слоев соответствующих фоточувствительных материалов, в том числе и кремния, который в силу применяемых методов нанесения является аморфным. Это снимает многие ограничения, характерные для монокристаллического кремния в части деградации, образования дефектов при изготовлении, установке и эксплуатации фотомодулей.

На первом этапе развития технологии тонкопленочной фотоэнергетики одним из лидеров была американская корпорация United Solar System Corp., продукция которой к на-



Рис. 4. Посещение фирмы Овоникс (дочернее предприятие United Solar System Corp) президентом США Дж. Бушем 20 февраля 2006 г.

стоящему времени сертифицирована во многих странах. С этой корпорацией многие организации (в частности, и представляемая автором настоящей статьи) имеют ряд официальных соглашений о сотрудничестве. По имеющимся данным указанные технологии всемерно поощряются руководством США (бюджетное финансирование, льготное налогообложение), что позволяет корпорации постоянно совершенствовать технологии. Корпорацию неоднократно посещал президент США (рис. 4).

В 1998 г. "солнечная" продукция указанной корпорации на одном из престижных международных форумов по новейшим технологиям была признана как "самое замечательное технологическое достижение 1998 года". С тех пор United Solar System Corp. существенно продвинулась в совершенствовании своих технологий как в части повышения коэффициента преобразования солнечного излучения в электрический ток, так и в части снижения цены единицы продукции. Электроэнергия, производимая солнечными батареями с использованием указанных пленочных фото-

томодулей при объемах производства 100 МВт и выше сопоставима по цене с электроэнергией на базе ископаемых топлив. Разумеется, аналогичное сопоставление немыслимо при использовании фотоэлектрических модулей на основе кристаллического кремния.

Заявленные и подтвержденные характеристики тонкопленочной фотоэнергетики такие:

- независимость от источников кремниевого сырья (заметим, что на первых этапах фотоэнергетика с использованием монокристаллического кремния базировалась на отходах полупроводниковой промышленности как источнике сырья. В настоящее время этот источник повсеместно исчерпан);
- прочность: при производстве фотомодулей используется подложка из 125-мкм закапсулированной нержавеющей стали или из погодоустойчивых полимеров высокой прочности и нетоксичных по своему воздействию на окружающую среду; получаемые фотомодули – легкие и прочные, практически не подвержены ломке при доставке, установке и использовании, монтаж их прост (см. рис. 5) и не требует чрезмерно высокой квалификации операторов-монтажников (при использовании кристаллических материалов и



Рис. 5. Монтаж гибких фотоэлектрических модулей



- стеклянных оснований последнее существенно ограничивает ареал использования фотоэлектрических модулей);
- легкость и гибкость: фотомодулям может придаваться различная форма в соответствии с формой поверхности (в том числе сильно искривленной), на которой указанные фотомодули будут устанавливаться; такие фотомодули по существу идеальны при размещении их в портативных электронных устройствах, где требуется разнообразие форм и размеров, на крышах зданий без необходимости привлечения промежуточных (поддерживающих) структур, модули могут быть использованы в морской среде;
  - устойчивость функционирования при колебаниях температуры окружающей среды: в то время как для фотоэлектрических модулей из кристаллического кремния повышение температуры против номинальной (комнатной) резко снижает коэффициент преобразования, для пленочных материалов это снижение существенно меньше. Так, сравнительные испытания показали, что эффективность пленочных материалов в реальных условиях на 30 % выше эффективности кристаллических материалов, даже если их заявленная (при комнатной температуре) мощность одинакова. Это означает, что суммарно за определенный период времени от пленочных фотомодулей можно получить энергию на установленный Вт больше, чем от кристаллических такой же площади;
  - пленочные фотомодули гораздо эффективнее при работе в рассеянном свете и менее чувствительны к затенению, чем кристаллические;
  - поскольку суммарная толщина активных слоев тонкопленочных материалов в 100 раз меньше толщины активного слоя кристаллического кремния, то расход ма-

териалов при тонкопленочной технологии существенно меньше;

- гарантийные сроки эксплуатации фотомодулей – 30 лет, что значительно больше, чем в случае кристаллических.

Так как при производстве пленочных фотоэлектрических материалов отсутствуют ограничения на темпы и объемы производства с точки зрения наличия (отсутствия) исходного сырья – кристаллического кремния, темпы производства достаточно высоки: начиная с 1996 года ежегодный прирост объемов производства составил 25–45 % (в частности, объемы производства от 127 МВт в 1997 г. возросли до более 600 МВт в 2005 г.).

Согласно инновационному проекту МНПК "ВЕСТА" [10], выполняемому в соответствии с Постановлением Кабинета Министров Украины № 352 от 17.03.2003 г. "Про пілотний інноваційний проект «Розроблення і виробництво новітніх автономних інтегрованих систем електропостачання з використанням сонячних енергетичних систем, вітроенергоустановок та енергонакопичувачів»", завод по производству пленочных фотоэлектрических модулей с объемами производства 100 МВт в условиях экономики Украины станет прибыльным в первый год своей производственной деятельности.

Представляется также вероятным прогноз, согласно которому к 2015 г. фотоэлектричество станет полностью конкурентоспособным с электричеством, вырабатываемым традиционными способами, а солнечная энергия к 2050 г. будет доминировать в производстве электроэнергии в мире.

Примечательно, что к 2005–06 гг. в гонку по разработке пленочных материалов включилась Европа [11]. Так, компания Ersol Solar Energy AG (Германия) вложила в строительство завода в Тюрингии около 100 млн евро с тем, чтобы при начальной производительности 40 МВт ежегодно наращивать объемы

производства и к 2008 г. довести производство до 100 МВт. К производству тонкопленочных фотоэлектрических модулей подключились крупные компании Schott Solar, Shell Solar и др., причем к настоящему времени разработаны уникальные технологии, которые не требуют использования кремния в качестве сырья.

В качестве исходных материалов могут быть медь, диселенид меди и индия, галлий, селен, теллурид кадмия, осаждение которых на подложку осуществляется при гораздо более низких температурах (~350 °С), чем осаждение кремния (~1500 °С), что приводит к уменьшению затрат энергии, материальных затрат и дает возможность автоматизированного высокоскоростного производства – процесс можно осуществить в непрерывном режиме. При этом достигается и принципиальное преимущество (по сравнению с монокристаллическим производством): гибкость размеров. Модули могут быть изготовлены не из ячеек фиксированного (и в общем случае – малого) размера, что характерно для монокристаллического производства, а возможен широкий диапазон размеров.

Это особенно важно при конструировании фотомодулей, интегрируемых в крыши зданий. Уже запущенные мощности заводов позволяют осуществлять производство фотоэлектрических материалов от миниатюрных размеров до полос шириной 60–320 см. Важно отметить, что многие заводы в Европе по производству пленочных фотоэлектрических материалов базируются на мощностях по производству архитектурного стекла. Аналогичные заводы имеются и в Украине.

Таким образом, в мировой практике по фотоэнергетике сложилась достаточно отчетливая тенденция – отказ от использования монокристаллического кремния в качестве сырья по производству перспективных фотоэлектрических модулей и переход на тонкопленочные материалы, получаемые осажде-

нием или напылением различных фоточувствительных материалов, причем поиск подходящих материалов продолжается [12–14]. Оптимизм в этом поиске оправдан, поскольку несомненно будут найдены материалы, которые обеспечат гигантские по нынешним меркам даже для монокристаллического кремния коэффициенты преобразования солнечного излучения в электрический ток.

Соответствующие государственные органы Украины не могут быть не озабочены сложившейся ситуацией в области энергетики и поэтому просто обязаны объективно взглянуть на тенденции развития возобновляемых видов энергии, в том числе и в области фотоэнергетики, и поддержать те направления в отечественной науке и промышленности, которые указанную задачу могут решить оптимальным образом. В данном случае – пленочная фотоэнергетика – это "*сегодня и завтра*", монокристаллическая – это "*вчера*".

Выбор есть.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дзензерський В. О., Юрко В., Плаксін С. В. Фотоенергетика: вибір оптимальної технології. // Вісник НАН України. – 2004. – № 4. – С. 28–38.
2. Патент України на винахід № 67015 А. Система генерування, накопичування і розподілу електроенергії. / В. О. Дзензерський, І. І. Соколовський, С. В. Плаксін, Ю. В. Шкіль, В. В. Юрко. – Бюл. № 6, 15.06.2004.
3. Атлас енергетичного потенціалу відновлених та нетрадиційних джерел енергії. – К.: Изд. Інститута возобновляемой энергетики НАН Украины. – 2005. – 44 с.
4. Мхитарян Н. М., Мачулин В. Ф. Проблемы развития энергетики Украины. Возобновляемая и нетрадиционная энергетика. // Наука та інновації. – 2006. – Т. 2, № 2. – С. 63–75
5. Дзензерский В. А., Плаксин С. В., Шкиль Ю. В. Фотоэлектрическая система энергообеспечения линейного двигателя магнитолевитирующего высокоскоростного наземного транспорта. // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – 2005. – № 44. – С. 121–136.
6. Патент на винахід по з-ці № а 2006 00074 МПК

- Е04 Д 13/00; F 2473100, Н05В37102, Н012 31/18, Н011 31/042. Автономна фотоелектрична установка. / В. О. Дзензерський, С. В. Плаксін, Л. М. Погоріла, І. І. Соколовський, С. В. Тарасов, Ю. В. Шкіль.
7. **Житник М. Я., Ліпський Ю. Й., Плаксін С. В., Погоріла Л. М., Соколовський І. І.** Буферний накопичувач кінетичної енергії. Патент на винахід по з-ці № а 2006 06729 МПК H02K1/12.
  8. **Фалькович Э. С., Пульнер Э. О., Червонный И. Ф. и др.** Технология полупроводникового кремния. – М.: Металлургия, 1992. – 408 с.
  9. **Марончук И., Соловьев О. В., Хлопенова И. А.** Получение кремния марки "солнечный" из раствора металлургического кремния в расплаве легкоплавкого металла. // Труды седьмой научно-практической конференции "Современные информационные и электронные технологии", Одесса: "СИЭТ-2006". – Т. 2. – С. 104.
  10. **Дзензерский В. А., Задонцев В. А., Бурьлов С. В., Плаксин С. В., Тарасов С. В.** Инновационный проект МНПК "ВЕСТА" по разработке автономных энергетических систем и аккумуляторов-энергонакопителей. // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. Спеціальний випуск. – 2005. – С. 95–98.
  11. **J. Jones.** Time to roll out thin film? // Renewable energy world. – May–June 2006. – С. 102–110.
  12. **Шмырева А. Н.** Сенсорные системы с применением нанопористого кремния. // Труды XXVI Международной научно-технической конференции "Проблемы электроники". – Киев, 2006. – К.: Изд. НТУУ "КПИ".
  13. **Билевич Е. О., Апатская М. В., Сизов Ф. Ф.** Формирование гибридных структур фотоприемных устройств на основе HgCdTe. // Труды XVIII международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. – Москва, 25–28 мая 2004.
  14. **Родіонов В. Є.** Перспективи "рулонної" технології при створенні дешевих фотоелектричних перетворювачів. // Матеріали 6-ї Міжнародної конференції "Відновлювана енергетика XXI століття". – Крим, 2005.

**В. О. Дзензерський. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ.**

**Анотація:** Представлена концепція створення фотоенергетичної галузі в Україні, що базується на використанні тонкоплівкової ("рулонної") технології.

**Ключові слова:** відновлювана енергетика, тонкоплівкові фотоелектричні перетворювачі, аморфний кремній, кристалічний кремній.

**V. A. Dzenzerskiy. THE PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF SUN ELECTROENERGY IN UKRAINE.**

**Abstract:** The conception of formation of photoenergy industry in Ukraine based on using of thin-film ("roll") technology is represented.

**Keywords:** renewable energy, thin-film photoelectricity transformers, amorphous silicon, crystalline silicon.

*Надійшла до редакції 11.07.06*

**ВІТАЄМО!**

В квітні цього року у рамках заходів, приурочених до Міжнародного Дня інтелектуальної власності, вже втретє відбулося урочисте відзначення переможців Всеукраїнського конкурсу "Винахід–2006". Церемонія проходила під час проведення виставки "Винаходи та інновації". На участь у конкурсі було подано 448 робіт. Переможцями конкурсу "ВИНАХІД–2006" в Абсолютній номінації "Кращий винахід–2006" (II місце) стали **Дзензерський Віктор Олександрович, Лісничий Віктор Миколайович, Сіренко Максим Вікторович, Скосар В'ячеслав Юрійович, Бурилов Сергій Володимирович** (галузь: енергетика, Дніпропетровськ).