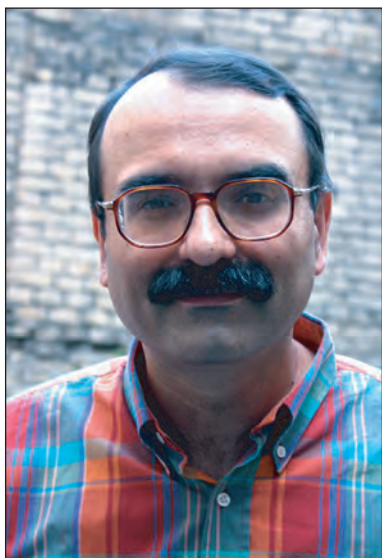




Володимир Литовченко
доктор фіз.-мат. наук,
професор,
член-кореспондент НАН України,
керівник відділення
фізики поверхні
та мікроелектроніки
Інституту фізики напівпровідників
ім. В.Є. Лашкарьова
НАН України,
м. Київ



Максим Стріха
доктор фіз.-мат. наук,
заступник
Міністра освіти і науки України,
м. Київ

Сонячна енергетика: фотовольтаїка

1. Межі традиційної енергетики — де вихід?

Прискорення використання відновлюваних джерел енергії зумовлено швидким виснаженням запасів та подорожчанням видобування традиційного викопного палива, — насамперед, нафти, газу й вугілля, які є основою сучасної енергетики (рис.1). За оцінками експертів, розвіданих і перспективних запасів нафти людству вистачить ще на 50—70 років, газу — на 100—120 років, вугілля — на 250—300 років.

Водночас не менш гострою є проблема екологічного забруднення (насамперед, через спалювання вугілля й бензину — продукту переробки нафти), і, як наслідок, — глобальне потепління клімату, яке відбувається впродовж останніх десятиліть.

Механізми загрозливих глобальних кліматичних змін і досі є предметом дискусії фахівців. Достовірним фактом однак вважають те, що упродовж минулих 100 років (відколи проводяться повсюдні надійні метеорологічні спостереження) середня температура земної поверхні зросла приблизно на градус Цельсія, причому половина цього підвищення припала на півтора останні десятиліття [1].

Наслідком потепління і викликаного ним танення льодовиків стане підвищення рівня Світового океану. Експертні оцінки ІРСС (Міжурядової ради з кліматичних змін) щодо абсолютних показників цього підвищення до 2100 року коливаються від 18—59 см (“помірний” сценарій) до 80—200 см (“катастрофічний” сценарій, що призведе до затоплення значних площ суходолу і навіть зникнення цілих острівних держав, таких як Мальдіви чи Тувалу, і до радикальних змін клімату майже скрізь) [1]. Подальше підвищення температури може мати характер “ланцюгової реакції”: нагрівання океанічних вод призводитиме до викидання в атмосферу величезних мас розчиненого в них вуглекислого газу, а це, в свою чергу, викликати нове підвищення температури.

Зачепили ці негативні кліматичні зміни й Україну. Українськими реаліями вже стають зміни традиційних технологій землеробства, необхідність переходу до поливного рільництва у віднедавна посушливих зонах (які ще кілька років тому мали достатню кількість вологи), зміна районування багатьох сільськогосподарських культур, що саме по собі потребує великих і скоординованих зусиль на державному рівні. Ще одним тривожним “дзвіночком” є поява видів живих організмів, характерних раніше лише для Причорномор’я (у тому числі й небезпечних каракуртів), на широті півночі лісостепу (Черкащина й південна Київщина).

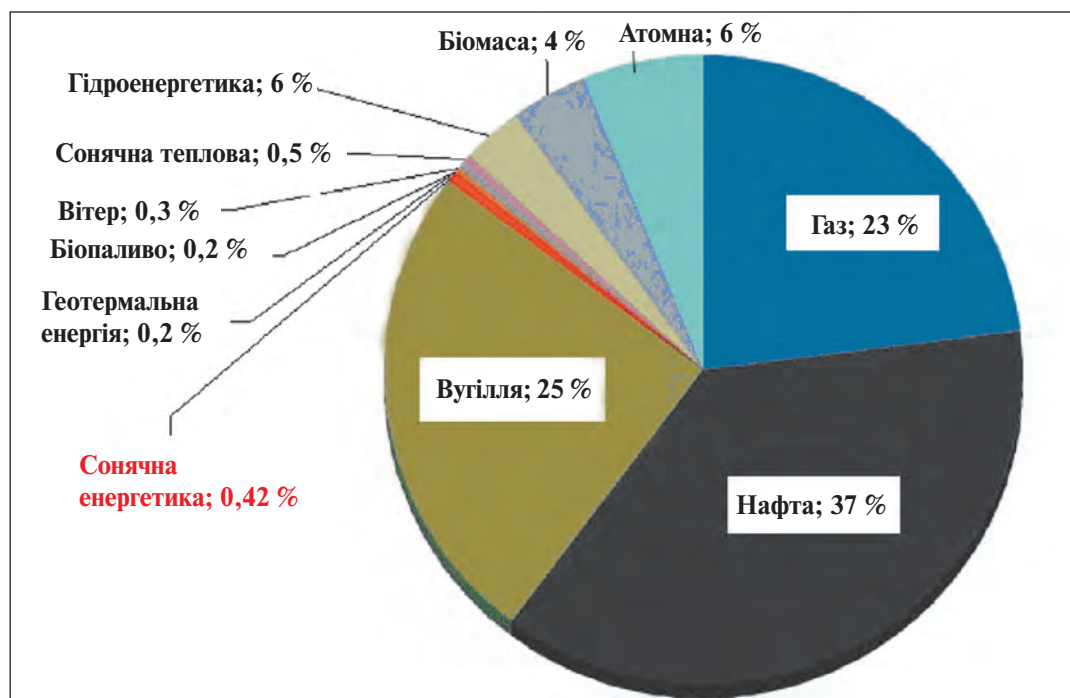


Рис. 1. Структура глобального енергоспоживання у світі сьогодні

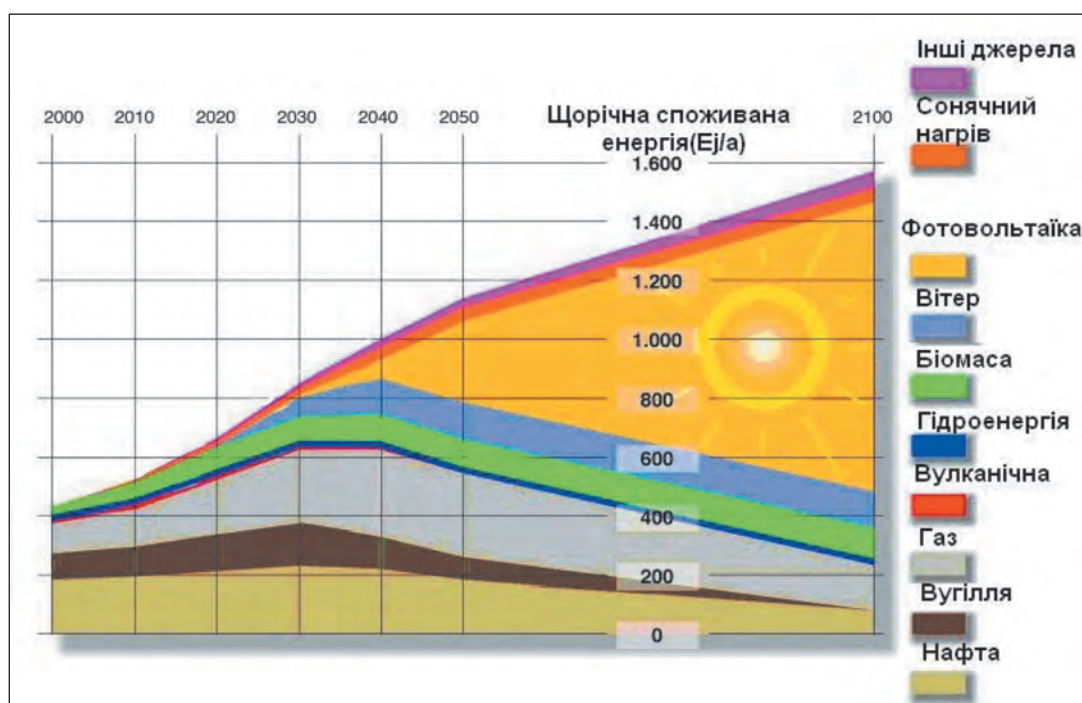
Яка ж імовірна причина цих екологічних змін? На думку експертів, одна з головних — це енергетичні “перевитрати” людства. Причому головну провину несе теплова енергетика, базована на спалюванні запасів органічних речовин (вугілля, нафта, газ, сланці), які природа накопичила за мільйони років існування на Земній кулі органічного життя. Саме вона насичує атмосферу вуглекислотою, сірководнем та іншими шкідливими викидами, які спричиняють парниковий ефект.

Протидії глобальним кліматичним змінам було присвячено вже декілька самітів світових лідерів. При цьому пошуки глобального вирішення традиційно наражаються на спротив країн з потужною тепловою енергетикою і металургією (США, Китай, Індія, Росія), для яких заходи щодо обмеження викидів

можуть стати найбільш витратними і суттєво обмежать їхню економічну конкурентоспроможність. Однак, попри перешкоди, механізм Кіотського протоколу набув чинності. Низка держав (не лише розвинутих, а дедалі частіше й так званого “третього світу”) здійснюють найсерйозніші кроки для заміни традиційної теплової енергетики альтернативною, зокрема й базованою на безпосередньому використанні сонячної енергії при її перетворенні в електричну (*фотовольтаїка*).

Паралельно домагаються повнішого використання тепла, створюваного людиною (зокрема з допомогою тих таки теплових насосів), впровадження альтернативного палива (біогаз, солом, сміття, дизельне паливо з олійних культур тощо, — хоч це має лише економічне значення для бідних викопним паливом

Рис. 2. Перспектива використання різних видів енергії до 2100 р.



країн і не відсуває загрози глобального потепління). Повсюдними стали суворі заходи з метою енергозаощадження, здійснювані від гігантських виробництв і до окремих домогосподарств, а також запровадження нових технологій очищування. В низці випадків це вже призвело до радикальної зміни структури енергоспоживання, в інших — такі зміни прогножуються (рис. 2).

За прогнозами експертів, упродовж ближчих десятиліть достатньо інтенсивно розвиватиметься також атомна енергетика, найреальніший сьогодні конкурент для електрогенерації, базованої на спалюванні традиційного палива. Але з атомною енергетикою пов'язані очевидні ризики: небезпека масштабних аварій (ми, українці, переживши наслідки катастрофи на Чорнобильській АЕС, відчуваємо її особливо гостро, а нещодавня трагедія на японській станції Фукусіма-1 лишень посилила тривогу в усьому світі), а також невирішеність питання довгострокового зберігання радіоактивних відходів. Крім того, атомна енергетика також є невідтворюваною, а запасів атомного палива вистачить на обмежений проміжок часу. Вже сьогодні світ відчуває помітний дефіцит паливного урану. До того ж, не продукуючи шкідливого вуглекислого газу, атомні електростанції, однак, є джерелами “теплого” забруднення довкілля,



Рис. 3. Фараон Ехнатон (XIV ст. до н. е.) вклоняється божеству-Сонцю (стела з Каїрського музею)

а подальший розвиток атомної енергетики в Україні стримується зокрема й браком водних ресурсів, необхідних для ставків-охолоджувачів.

Очевидно, що розв'язання енергетичної проблеми майбутнього базуватиметься на комбінації всіх перелічених вище підходів, причому конкретні сценарії в кожній країні варіюватимуться залежно від кліматичної зони, наявності тих або інших місцевих ресурсів та стану економіки. Проте енергетиці, базованій на прямому перетворенні сонячного випромінювання на електроенергію, належить унікальне й універсальне місце. Адже найпотужнішим джерелом енергії, доступним для Земної кулі, є випромінювання Сонця (це розуміли ще в давньому Єгипті, де Сонце мало статус головного божества (рис. 3).

За природою своєю ця енергія є термоядерною, але реактор-Сонце завбачливо розташоване самою природою за 150 мільйонів кілометрів від Землі і накопиченої в ньому енергії вистачить принаймні на 4 мільярди років. Причому, використовуючи цю енергію, людина не продукує не лише хімічного, але й теплового забруднення планети: відбувається лише перерозподіл тієї енергії, що й так падає на земну поверхню з космосу.

Розвинені країни ідуть сьогодні шляхом форсованого розвитку різних форм використання сонячної енергії. Зокрема, реалізуються масштабні програми побудови великої кількості вітроелектростанцій різної потужності. Найбільш перспективним у стратегічній перспективі є, однак, використання напівпровідникових фотоелементів, які напряду перетворюють сонячну енергію на зручну для використання електричну.

Упродовж останніх десятиліть технологія сонячних перетворювачів інтенсивно розвивалася. Панелі сонячних батарей було встановлено вже на третьому радянському супутнику, виведеному на орбіту 15 травня 1958 року, відтоді вони стали обов'язковим атрибутом усіх космічних апаратів. Сьогодні ці батареї, образно кажучи, спустилися з космосу на землю і в багатьох країнах надійно ввійшли у побут, служачи ідеальними джерелами енергопостачання для окремих домогосподарств, а також надійно працюючи в найрізноманітніших автономних пристроях побутової електроніки. Достатньо добре вирішено питання накопичення виробленої упродовж світлового часу “сонячної” електрики. Сонячні батареї “рухають” різноманітні транспортні агрегати, — причому вже не лишень автомобілі й човни, але й експериментальні зразки літаків. Так, 2010 року літак на сонячних батареях зумів протриматися в повітрі добу. Швейцарські спеціалісти **Б. Пікар** та **А. Боршверг** створили літак “Сонячний імпульс” з розмахом крил 80 метрів, на яких змонтовано понад 10 тисяч кремнієвих сонячних елементів, що забезпечують швидкість польоту 100 км/год. Наявність 4-х 100-кілограмових літєвих акумуляторів, закріплених під кожним із 4-х пропелерів, які накопичують генеровану вдень електроенергію, дала можливість здійснити перший навколоземний політ, не перериваючи його навіть уночі (рис. 4).



Рис. 4. Літак
“Сонячний імпульс”

Рис. 5. Сучасна мегаватна
сонячна електростанція
на напівпровідникових
перетворювачах (США)



На черзі — “велика” сонячна енергетика, що працюватиме для промисловості й забезпечення життєдіяльності міст. Готуючись до цієї перспективи, в США вже сьогодні планують будівництво нової системи електростанцій зі встановленою потужністю в понад 100 мегават (встановлена потужність “Сонячного проекту Аква Калієнте” в штаті Арізона досягла в червні 2012 року 247 МВт, у 2014 р. її планувалось довести до 397 МВт, вартість проекту становить 1,8 млрд доларів (рис. 5), та потужних енергомереж — від пустельних штатів Південного Заходу з жарким сонячним кліматом, де спорудження великих фото вольтаїчних станцій найбільш виправдане, до місць традиційного споживання цієї енергії [2].

Європейський союз (ЄС) також приділяє значну увагу розвитку альтернативних джерел енергії, зокрема фотоелектричному перетворенню енергії. У доповіді “Енергетична (р)еволуція: на шляху до постачання повністю відновлюваної енергії в ЄС” [3], підкреслено, що комплекс наявних технологій, а також широке впровадження електромобілів та ініціатив зі скорочення споживання уможливить різкі зміни традиційних енергетичних витрат.

ЄС міг би отримати 92 % своєї енергії з поновлюваних джерел (таких, як вітрова та сонячна енергія) вже до 2050 року, водночас скоротивши викиди вуг-

лекислого газу на 95 % в порівнянні з 1990 роком. Про це йдеться в доповіді організації “Грінпіс інтернешнл” та Європейської ради з відновлюваної енергетики під назвою “Сценарій енергетичної (р)еволуції ЄС від Грінпіс на 2050 рік” [4]. Для цього будуть потрібні додаткові 2 трильйони євро інвестицій, але ці витрати будуть перекриті 2,65 трильйонами євро економії витрат на паливо, стверджують автори доповіді.

Прикметно, що розвиток сонячної енергетики вже став у розвинених країнах предметом справжнього стратегічного змагання в науці і технологіях.

Університети США щороку змагаються за найвищий досягнутий ККД фотоперетворювачів, а ралі на “сонячних” автомобілях через Австралію щороку приносить новий рекорд швидкості (1982 року шлях у 4 тис. км вперше подолали зі середньою швидкістю на трасі в 30 км/год, нині ця швидкість перевищила 90 км/год).

Про сьогоденну актуальність досліджень та інноваційних проектів у галузі фотовольтаїки свідчать останні дані про створення сонячних автомобілів стотисячним тиражем фірмою NISHAN (з пробігом у 300 — 400 тис. км без дозаправки), про створення двомісного літака для навколосемного польоту (європейський проект 2014—2015 рр.), про демонстративне 50% однодобове живлення від мережі сонячних батарей по всій Німеччині та інші рекордні результати.

2. Потенційні ресурси сонячної енергії

Земля отримує протягом року від Сонця енергію приблизно $3 \cdot 10^{24}$ Дж, що приблизно в 10^4 разів перевищує енергію, яка виробляється на рік усією економікою ($\sim 3 \cdot 10^{20}$ Дж), і майже в 100 разів перевищує енергію всіх відомих викопних запасів енергії ($\sim 5 \cdot 10^{22}$ Дж). У середній кліматичній зоні на 1 м^2 земної поверхні надходить від 2 до 5 кВт/день енергії

Сонця. Отже, якщо використати перетворювачі з далеко не рекордним сьогодні коефіцієнтом корисної дії (ККД) у 15–20 %, то для вироблення всієї комерційно споживаної енергії в США ($\sim 10^{11}$ кВт/день) потрібен прямокутник у 100 на 50 км, площа якого менша ніж 1 % від площі Техасу (чи Сахари, де умови інсоляції так само сприятливі).

Додаткова перевага сонячної енергії над тепловими джерелами полягає в тому, що в останніх різниця температур нагрівача і робочого тіла становить лише декілька сотень °C (в парових станціях — не більше 100 °C), тоді як для сонячних елементів нагрівачем є Сонце, поверхня якого має ефективну температуру $T_c = 6000$ К і, таким чином, $\text{ККД} = \Delta T / T_c$ перетворювача, який працює при кімнатній температурі, має теоретичну верхню межу в 95 %. Недоліком водночас є порівняно невисокою густина енергії, що доходить до землі $\sim (0,5 - 1)$ кВт/м² та невелика енергія квантів світла (0,1 – 3) еВ.

Необхідність покриття фотовольтаїчними елементами значних площ передбачає виробництво достатньої кількості кремнію та інших напівпровідникових матеріалів для цих фотоелементів. Це, в свою чергу, зумовлює необхідність розвитку потужної індустрії з виробництва чистого кремнію, понад половина світового виробництва якого в 2010 році (54 тисячі з понад 100 тисяч тонн) скеровується саме на потреби сонячної енергетики. Для виробництва сонячних фотоперетворювачів використовують також інші напівпровідники (GaAs, CdTe, CuS тощо), проте в масовому виробництві відносно дешевий кремній, який з його практично невичерпними запасами сировини не має й в найближчій перспективі не матиме конкурентів. Потужності з виробництва чистого кремнію у провідних країнах світу постійно нарощуються. Однак на сьогодні утворився дефіцит чистого кремнію, внаслідок чого істотно підвищилася ринкова ціна на нього. Світовий від'ємний баланс виробництва кремнію якості, необхідної для виробництва сонячних елементів, що склався після 2003 року, за прогнозованими даними, зростатиме протягом найближчих 10–15 років саме через різке зростання попиту в зв'язку зі стрімким розвитком сонячної енергетики.

Високою все ще залишається вартість напівпровідникових фотоперетворювачів — генераторів енергії. Хоча впродовж минулих чотирьох десятиліть внаслідок інтенсивного розвитку технологій їх вдалося значно здешевити (зараз ціна СЕ становить 0,3–0,5\$/Вт, тобто 45–75\$ за квадратний метр СЕ, і приблизно 180–200\$ за квадратний метр фотоелектричного модуля), на аморфному — 80 €, причому, починаючи від 1990 р. вартість цього квадратного метра постійно знижувалася щороку на приблизно 4–6 %), вартість генерованої ними енергії з урахуванням ціни інсталяції потужностей становить 1–3 €/кВт год. (для енергії, отриманої шляхом спалення вугілля, газу чи нафти, цей показник становить 0,1–0,2 €/кВт год.). І, хоча за спалюване органічне паливо треба платити весь час, а “сонячні” потужності потребують у подальшому лишень порівняно невеликих експлуата-

ційних витрат, висока стартова ціна залишається суттєвою економічною й психологічною проблемою для традиційних споживачів.

Нарешті, принциповою проблемою є недостатньо високий коефіцієнт перетворення енергії випромінювання Сонця в електричну (15 – 25% залежно від типу й матеріалу перетворювачів). Тут існує верхня теоретична межа, пов'язана з кількістю електрон-діркових пар, народжених в межах p - n —переходу (чи в межах просторового заряду гетеропереходу, контакту метал—напівпровідник, або структури метал — діелектрик — напівпровідник), які можуть бути “розведені” внутрішнім електричним полем і які беруть участь у створенні корисної напруги.

Проте, попри всі ускладнення, реальним шляхом уникнення глобальної енергетичної катастрофи для людства є використання практично необмеженої енергії природного термоядерного реактора — Сонця. Причому, найбільш раціональним, повторимось, є безпосереднє перетворення сонячних променів на електрику, коли світло безпосередньо генерує рухливі електричні заряди — електрони та дірки. Такий процес можливий при опроміненні напівпровідників.

3. Україна: потенціал і здобутки

Як свідчить аналіз, Україна за рівнем реального надходження сонячної енергії на одиницю площі (враховуючи відносно сухий і малохмарний клімат) є достатньо перспективною країною. Величина інсоляції в нас у середньому відповідає рівню півдня Німеччини чи півночі Франції і перевищує рівень Англії чи Скандинавських країн, де виробництво й використання “сонячної” електроенергії сьогодні в сотні разів вище, ніж в Україні. В цілому ж на рік один квадратний метр поверхні на широті півдня України отримує 1900 кВт енергії сонячного випромінювання, на екваторі — 2300 кВт (рис. 6).

Великі традиції має й наша напівпровідникова наука (саме ця галузь скрізь у світі перейнята конструюванням нових ефективніших перетворювачів).

Нагадаємо, що сам p - n —перехід—бар'єр між двома областями одного напівпровідника з різним типом провідності, а також явище вентильного фотоефекту на цьому переході (що лежить в основі роботи всіх фотоелементів) було відкрито 1941 року в Києві українським ученим **В.Є. Лашкар'овим**, на честь якого названо Інститут фізики напівпровідників НАН України [5]. На жаль, це “нобелівського” рівня відкриття пройшло тоді майже непоміченим — йшла Друга світова війна, а технологія основних напівпровідників — германію і кремнію — була ще зовсім нерозвинена.

Від кінця 1970-х років над створенням ефективних фотовольтаїчних елементів на основі контакту металу і дешевого аморфного кремнію активно працювала група дослідників на радіофізичному факультеті Київського університету ім. Т.Г. Шевченка, очолювана учнем академіка **В.Є. Лашкар'ова**, профе-

Україна

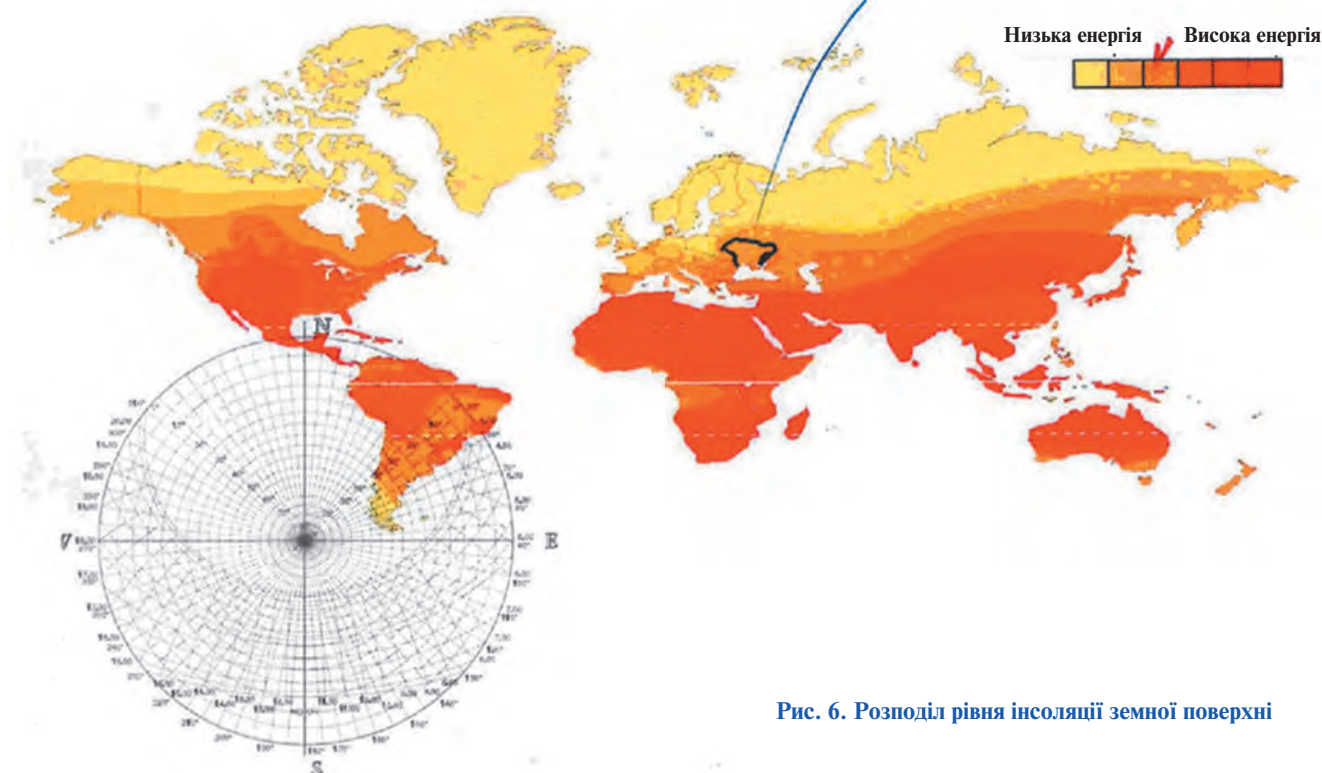


Рис. 6. Розподіл рівня інсоляції земної поверхні

сором *В.І. Стріхою* [6–8]. Свого часу під керівництвом В.І. Стріхи було створено вельми ефективні кремнієві перетворювачі з ККД близько 20 %. Професор *В.І. Стріха* став і одним із перших популяризаторів фотовольтаїки в Україні [8, 9]. Ще до катастрофи на ЧАЕС він наголошував на небезпеках офіційно затвердженій тоді в СРСР орієнтації виключно на масштабний розвиток сонячної енергетики, і через це його перша в історії україномовна попу-

лярна брошура [8], присвячена перспективам розвитку сонячної енергетики (рис. 7), мала великі проблеми з проходженням через тодішню цензуру.

Приблизно в той же час в Академії наук УРСР та в Київському політехнічному інституті (КПІ) були розпочаті роботи із сонячними елементами на основі кристалічного кремнію з виготовленням *p-n* переходів. Роботи виконувалися групами дослідників, очолюваних професором *В.Г. Литовченком*, *А.П. Горбанем* та *О.М. Шмирьовою* і були зорієнтовані на виготовлення відповідно космічних та наземних сонячних батарей [11–14]. Також були отримані сонячні перетворювачі з параметрами, близькими до світових. Зокрема, в рамках Національної космічної програми України, колективом, очолюваним *А.П. Горбанем* (*А.А. Серба*, *В.П. Костильов*, *А.В. Макаров* та інші) були розроблені, виготовлені та поставлені комплекти космічних сонячних батарей (СБ) з високим ККД (близько 19 %), призначені для використання в системі енергопостачання космічних апаратів (КА) нового покоління. Зазначені батареї пройшли повний цикл автономних і комплексних випробувань та були встановлені на льотному зразку українського космічного апарата КС5МФ2 “Мікрон”, запуск якого відбувся в грудні 2004 р. (рис. 8).

На замовлення Міністерства надзвичайних ситуацій України були розроблені кремнієві СБ підвищеної ефективності, призначені для використання в складі сонячно-акумуляторних блоків електроживлення професійної дозиметричної та радіометричної апаратури, яка експлуатується в польових умовах, й освоєно малосерійне виробництво.

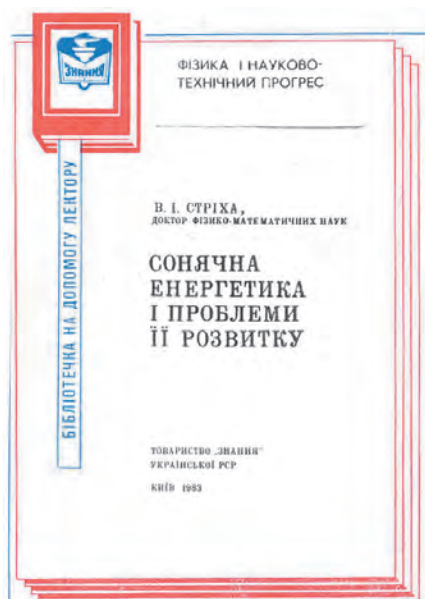


Рис. 7. Брошура В.І. Стріхи, у якій уперше комплексно обґрунтовано необхідність розвитку фотовольтаїки як стратегічної перспективи виживання людства

На рис. 9 зображена оригінальна спільна розробка Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України та Інституту електрозварювання ім. О.Є. Патона НАН України — мобільний геліозварювальний апарат широкого призначення (він може застосовуватися в тому числі як автономний технологічний центр) [15].

Важливою розробкою також є перший і єдиний в Україні атестований Держспоживстандартом Центр випробувань фотоперетворювачів і фотоелектричних батарей (ЦВФФБ), виготовлений в Інституті фізики напівпровідників НАН України, яким користуються також зарубіжні організації (рис. 10).

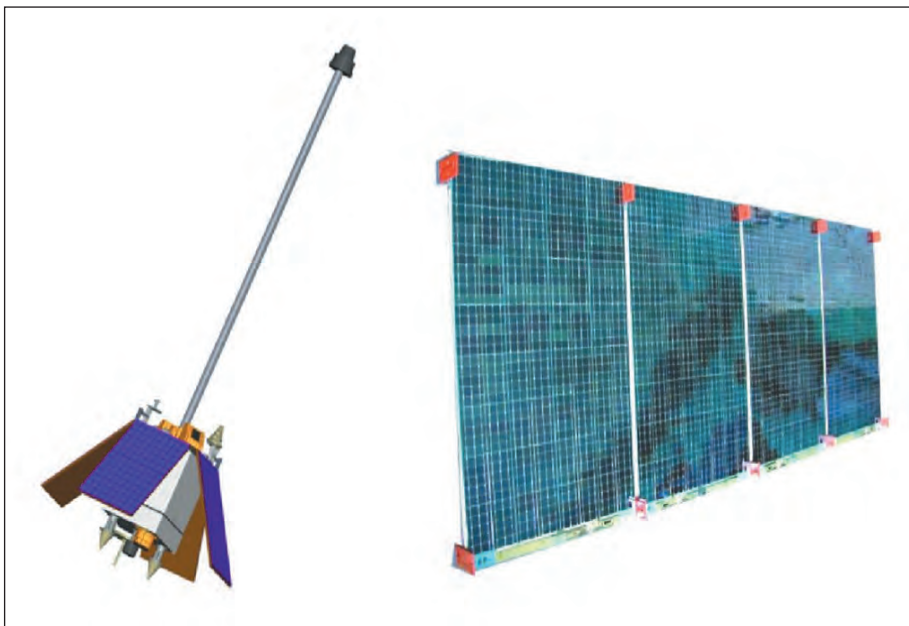


Рис. 8. Схематичне зображення космічного апарата КС5МФ2 — "Мікрон" і комплексу сонячних батарей до нього



Рис. 9. Мобільна сонячна електростанція для електрозварювальних робіт (розробка Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України)

4. Яке майбутнє в української фотовольтаїки?

Як уже зазначалося, основою сонячної енергетики є (і в осяжній перспективі залишиться) промисловість з виробництва чистого кремнію [16, 17]. В колишньому СРСР основні виробники полі- та монокристалічного кремнію для потреб електроніки знаходилися саме на території України. На жаль, на початку 1990-х років цей потенціал було втрачено і зараз ідеться про його відновлення. Цьому завданню було підпорядковано Державну цільову науково-технічну програму "Створення хіміко-металургійної галузі

виробництва чистого кремнію протягом 2009—2012 років", ухвалену Постановою Кабінету Міністрів України № 1173 від 28 жовтня 2009 року. Програма ставила завданням створення сучасної хіміко-металургійної галузі виробництва чистого кремнію для потреб вітчизняних підприємств — виробників високотехнологічних виробів, забезпечення розвитку наноелектроніки та нанофотоніки, випуску сонячних елементів, сонячних модулів і виробів електронної техніки, звільнення від імпортової залежності та одночасного створення потужного експортного потенціалу. Передбачалося, що програма стимулює подальший розвиток сучасної сонячної енергетики, наноелектроніки, нанофотоніки і мікроелектроніки в Україні. Важливим мав бути і соціальний результат: від залучення додаткових трудових ресурсів та створення нових робочих місць.

Але 2010 р. уряд *М. Азарова* скасував цю програму і фінансування вітчизняних наукових досліджень, які вона передбачала, було згорнуто. Натомість у 2010—2012 рр. в Україні ударними темпами було споруджено дві великі СЕС в Криму: Перово (інстальована потужність 100 МВт) і Охотніково (80 МВт), які у липні 2012 р. за цим показником посідали 4-те і 12-те місце у світі відповідно.

На жаль, австрійська компанія "Activ Solar" (її фактичним власником ЗМІ називали керівника президентської адміністрації *А. Кірюка*) виконала

інсталяцію цих СЕС, закуплених у Китаї, фактично без використання жодних напрацювань українських науковців та інженерів. Як наслідок, у пресі розпочалася кампанія звинувачень у тому, що люди, які стоять за українськими СЕС, отримують надприбутки за рахунок штучно завищеного “зеленого тарифу” (держава закуповує енергію ГЕС за ціною 15 коп. за кВт год., АЕС — 22 коп., ТЕС — 68 коп., вітрових ЕС —

1,2 грн і СЕС — 5 грн; вся ця електроенергія перемищується в єдиній мережі й доходить до споживача за середньозваженою ціною в 48 коп., див. [18]). На жаль, це значною мірою погіршило ставлення широкої громадськості до перспектив розвитку фотовольтаїки в Україні. А російська анексія Криму в березні 2014 року призвела до фактичної втрати для України згаданих вище об’єктів.



Рис. 10. Стендова база Центру випробувань фотоперетворювачів та фотоелектричних батарей Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. Випробування фотоенергетичних параметрів дослідного зразка фотоелектричної батареї для космічного апарата КСМФ2 “Мікрон”

Тому основу сонячної енергетики України становлять сьогодні СЕС з порівняно невисокою інсталюваною потужністю, розташовані в південних регіонах держави, переважно на Одещині й Миколаївщині. Серед них найпотужніші:

1. “Старокозаче”, проектна пікова потужність 49,85 МВт, кількість модулів 183 964.
2. “Дунайськ”, проектна потужність 43,14 МВт, кількість модулів 182 380.
3. “Вознесенськ”, проектна потужність 29,3 МВт, кількість модулів 121 176.
4. “Приозерна”, проектна потужність 54,8 МВт, кількість модулів 227 744.
5. “Лиманська”, проектна потужність 43,4 МВт, кількість модулів 181 192.
6. “Болград”, проектна потужність 34,14 МВт, кількість модулів 141 812.

У перших п’яти перелічених вище станціях використано мультикристалічні модулі, а в “Болграді” — полікристалічні.

В Україні до 2012 року існувало значне за обсягом промислове виробництво сонячних елементів (СЕ) та фотоелектричних модулів на основі кремнію з ефективністю фотоперетворення близько 17 % для СЕ та 14—15 % для модулів на ПАТ “Квазар” (м. Київ). Однак світова фінансова криза і, як наслідок, брак замовлень привели до тимчасового закриття виробництва потужних фотоелектричних модулів.

5. Висновки

Очевидно, що, претендуючи на роль великої європейської держави, Україна не може стояти осторонь пошуку відповідей на глобальні виклики, які постали сьогодні перед людством (і які стосуються не лише подальшої якості життя людини, але і його прямого фізичного виживання, що може бути поставлене під загрозу неконтрольованими кліматичними змінами).

Україна з її науковим та промисловим потенціалом має посісти гідне місце в розвитку сонячної енергетики, базованої на безпосередньому перетворенні сонячної енергії в електричну за допомогою фотоелектричних перетворювачів (що є однією з найреальніших альтернатив сьогоднішній енергетиці).

Але при цьому необхідна постійна увага держави до цього, без перебільшення, доленосного з погляду майбутнього напрямку. Потрібна послідовність у виконанні раніше ухвалених рішень, оскільки не фінансовані належним чином державні програми не мають шансів досягнути мети; а програми, згорнуті на півдорозі, деморалізують виконавців і позбавляють їх віри в те, що на вищому державному рівні є розуміння стратегічних напрямків розвитку держави. ■

Література

1. Making Sense of Trends // Scientific American. — 2010. — v. 303. — No. 5, November. — P. 61.
2. Wald Matthew L. How to Build the Supergrid // Scientific American., 2010. — v. 303. — No. 5, November. — P. 36—41.
3. Ел. ресурс. Режим доступу: <http://ua-energy.org/post/1525>
4. Ел. ресурс. Режим доступу: <http://www.erec.org/newssingleview/article/greenpeace-eu-energy-revolution-scenario-2050.html>
5. Лашкарев В.Е. Исследование запорного слоя методом термозонда // Известия АН СССР, серия “Физика”. — 1941. — т. 5, № 4—5. — С. 442—456.
6. Кильчицкая С.С., Стриха В.И. Свойства солнечных элементов с барьером Шоттки (обзор) // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. — 1986. — вып. 10. — С. 3—10.
7. Стриха В.И., Кильчицкая С.С. Солнечные элементы на основе контакта металл-полупроводник. — Санкт-Петербург: “Энергоатомиздат”, 1992. — 136 с.
8. Стриха В.И. Сонячна енергетика і проблеми її розвитку. — Київ: Товариство “Знання” УРСР, 1983. — 16 с.
9. Стриха В.И. СЕС чи АЕС? // Прапор. — 1988. — № 1. — С. 148—153.
10. Литовченко В.Г., Попов В.Г., Зуев Р.А. Солнечные фотоэлементы на основе аморфного кремния. — Київ: Товариство “Знання” УРСР, 1982.
11. Саченко А.В., Горбань А.П., Костылев В.П., Серба А.А., Соколовский И.О. Сравнительный анализ эффективности фотопреобразования в кремниевых солнечных элементах при концентрированном освещении для стандартной и тыловой геометрий расположения контактов // ФТП. — 2007. — т. 41, вып. 10. — С. 1231—1240.
12. Gorban’ A.P., Kostylev V.P., Sachenko A.V., Chernenko V.V. Generalized Analytical Model for Calculation of Conversion Efficiency in Silicon Solar Cells // Proceedings of 17 European Photovoltaic Solar Energy Conf. and Exhibition. — Munich, 2001. — P. 234—237.
13. Горбань А.П., Костылев В.П., Саченко А.В. и др. Разработка физико-технических основ создания высокоэффективных кремниевых фотопреобразователей и солнечных батарей космического и наземного применения // Авиационно-космическая техника и технология. — 1999. — Вып. 8. — С. 83—87.
14. Gorban’ A.P., Kostylev V.P., Borschev V.N., Listratenko A.M. State and prospects of a development of silicon photoconverters and batteries for the space use // Telecommunications and Radio Engineering. — 2001. — V. 55, No 9. — P. 94—100.
15. Litovchenko V.G., Makarov A.V., Paton B.E., Korotynsky A.E. Mobile Photovoltaic Electro-welding System // Proc. 19-th European PV-solar energy Conference, 2—11 June 2004, Paris. — 2004. — P. 2364—2366.
16. Мачулін В., Литовченко В., Стриха М. Сонячна енергетика: порядок денний для світу й України // Вісник НАН України. — 2011. — № 5. — С.30—39.
17. Оксанич А.П., Тербан В.А., Волохов С.О., Ключ М.І., Скришевський В.А., Костылев В.П., Макаров А.В. Сучасні технології виробництва кремнію та кремнієвих фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії. — Кривий Ріг: Мінерал, 2010. — 266 с.
18. Дем’янчук І. Погріти руки на Сонці // Україна молода. — 2013, 16 січня. — С. 6.

Стаття підготовлена авторами за матеріалами їхньої публікації “Сонячна енергетика: порядок денний для світу й України” (Київ, 2014) та представлена Українським фізичним товариством і Науковою радою “Фізика напівпровідників та діелектриків” НАН України.