

А. С. Опанасюк, О. А. Доброжан

КУРС ЛЕКЦІЙ «Електронні системи в геліоенергетиці»

для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»
спеціальності 171 «Електроніка»
освітньої програми «Електронні системи»
усіх форм навчання

Курс лекцій з дисципліни «Електронні системи в геліоенергетиці» / укладачі А. С. Опанасюк, О. А. Доброжан. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 223 с.

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ЛІТЕРАТУРА

1. Поновлювальні та альтернативні джерела енергії. Для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка: навч. посібник / О.В. Немикіна – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 188 с.
2. Форкун Я. Б. Сонячна теплоенергетика : конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньої програми – «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії») / Я. Б. Форкун, О. О. Шкурпела ; Харків нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 88 с.
3. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії. Частина І: навчальний посібник для здобувачів освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад.: О.П. Голик, Р.В. Жесан, І.В. Волков [та ін.]. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2020 – 192 с.
4. Фотоенергетика : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 160 с.
5. Енергозбереження і енергоефективність. Конспект лекцій для студентів напрямку підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи». - К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 106 с.

ШКАЛА ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

Сумма балів	Оцінка ESTS	Оцінка за національною шкалою	
		ДСК або ПСК	залік
90-100	A	відмінно	зараховано
82-89	B	добре	
74-81	C		
64-73	D	задовільно	
60-63	E		
35-59	FX	незадовільно	не зараховано
1-34	F		

ТИПИ ЦИВІЛІЗАЦІЙ

У своєму розвитку людська цивілізація пройшла ряд стадій представлених нижче. Зараз будується так зване *інформаційне суспільство*.

Полювання і збирання можуть забезпечити існування 1-2 людини на квадратний кілометр, сільське господарство - 40, а сучасне промислове суспільство - 400.



ЧИСЕЛЬНІСТЬ ЛЮДСТВА

• **Первісна ера** - 2 млн. років тому - 4 тисячоліття до н.е.
тривала 2 млн. років (20 тис. століть)

• **Стародавній світ** - 4 тисячоліття до н.е. - 476 р. н.е.
тривав 4 тис. років (40 століть)

• **Середньовіччя** - 476 г. н.е. - середина 17 століття.
тривало 1200 років (12 століть)

• **Новий час** - середина 17 століття - початок 20 століття.
тривав 300 років (3 століття)

Сучасна історія - 1918 - 21 сторіччя
триває 96 років (менше століття).

*Чисельність людей, що живе сьогодні,
дорівнює 6,5% від числа усіх що
народилися за 52 тис. років.
(107 млрд. 603 млн.)*

1800 р. - чисельність населення міст - 3%

2009 р. - чисельність населення міст - 50%

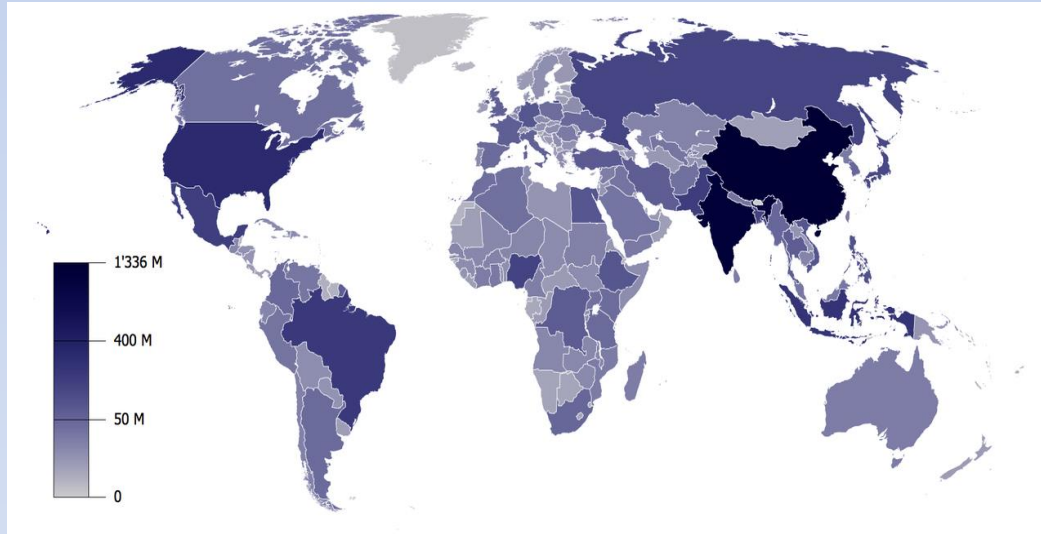
Кількість населення Землі млрд.	Рік	Кількість років між контрольними точками
0,23	1	-
0,5	1650	1649
1	1850	200
2	1930	80
3	1960	30
4	1976	16
5	1987	11
6	2000	13
7	2011	12

ЗРОСТАННЯ НАСЕЛЕННЯ ЗЕМЛІ

• **Населення Землі** - сукупність людей, що живуть на Землі в цілому, яка безперервно відновлюється, в процесі відтворення. **На 1 лютого 2020 року, чисельність населення Землі складала близько 7,77 мільярда чоловік.** Аж до 1970-х років **чисельність населення світу зростала за гіперболічним законом**, в даний час спостерігається прогресуюче уповільнення темпів зростання населення Землі. Згідно з демографічними дослідженнями, чисельність населення продовжує швидко збільшуватися, хоча **приріст скоротився майже вдвічі** в порівнянні з показником 1963 року народження, коли він досяг пікового значення. Таким чином відбувся **демографічний перехід (революція)**. **Населення Землі стрімко старішає.** За даними ООН, в 1994-2014 рр. кількість людей старше 60 років подвоїлася, в даний час (2014 р.) літніх людей у світі більше, ніж дітей у віці до п'яти років. У 2009 році, **вперше за всю історію людства, чисельність міського населення зрівнялася з чисельністю сільського**, склавши 3,4 мільярда чоловік. І далі очікується, що все більша частина світового населення буде представлена городянами (тобто міське населення продовжить зростати швидше, ніж населення світу в цілому), що підтверджується і останніми даними. **У 2050 році, за середнім варіантом прогнозу ООН, понад половину населення світу проживатиме в Азії, чверть - в Африці, 8,2% - в Латинській Америці, 7,4% у Європі, 4,7% у Північній Америці.** Вчені з ООН і Вашингтонського університету стверджують, що **населення Землі до 2100 року складе 11 млрд. чоловік.**

<http://countrysimeters.info/ru/World>

ЗРОСТАННЯ НАСЕЛЕННЯ ЗЕМЛІ



*Найбільша в світі держава за чисельністю населення - Китай, після 2025 р., можливо, його наздожене Індія, до 1991 року третім за чисельністю населення був Союз Радянських Соціалістичних Республік, після його розпаду **третіми стали США**, які після 2006 р. мали 300 млн. чол. (більше ніж країни СНД), Індонезія, Бразилія займають четверте і п'яте місце за чисельністю населення, Пакистан, Бангладеш, Нігерія, Росія посідають шосте, сьоме, восьме і дев'яте місця.*

НАСЕЛЕННЯ ЗЕМЛІ

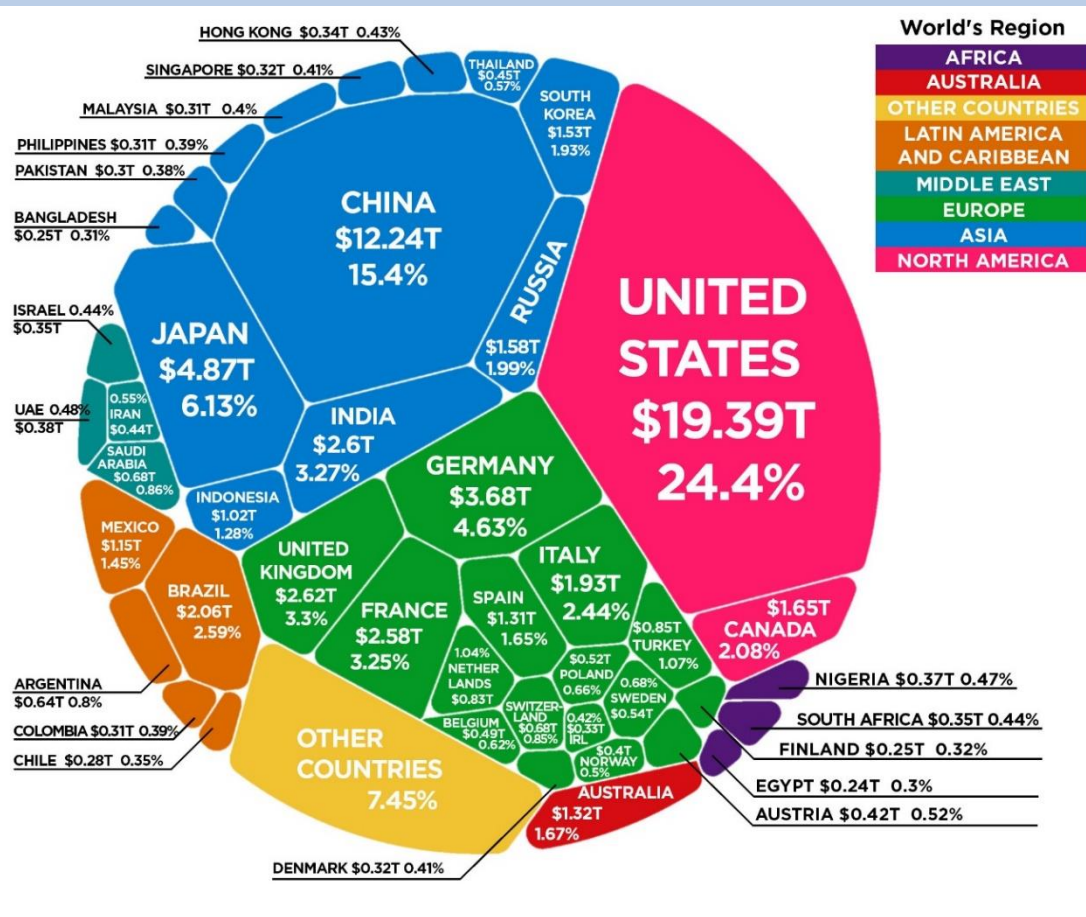
Rank	Region	Share of Global Population (%)	Population
#1	Asia	60%	4.5 billion
#2	Africa	16%	1.2 billion
#3	Europe	10%	729 million
#4	North America	7%	534 million
#5	South America	6%	424 million
#6	Central America	1%	47 million
#7	Oceania	1%	42 million

У світі існує близько 200 країн, населення яких становить від 1,42 (Китай), 1,38 мільярда (Індія) до країн де проживає лише 0,001% від цієї кількості. Близько 75% людей проживають в Азії та Африці. Тим часом регіони Європи, Північної Америки, Південної Америки та Океанії загалом займають 25% всієї суміші Землі.



Rank	Country	Population	% of global total
Top 10 Total		4,358,978,629	58.0%
#1	China	1,388,232,693	18.5%
#2	India	1,342,512,706	17.9%
#3	United States	326,474,013	4.3%
#4	Indonesia	263,510,146	3.5%
#5	Brazil	211,243,220	2.8%
#6	Pakistan	196,744,376	2.6%
#7	Nigeria	191,835,936	2.6%
#8	Bangladesh	164,827,718	2.2%
#9	Russia	143,375,006	1.9%
#10	Mexico	130,222,815	1.7%

МІСЦЕ РІЗНИХ КРАЇН У СВІТІ ЗА ВВП



• На графіку зображено номінальний ВВП різних країн світу (2017 р.) у вигляді фігур. Їх розмір залежить від частки ВВП країни в світовому ВВП. **США — найпотужніша країна, її ВВП становить 24,4% від світового.** Америка орієнтується на надання послуг, промисловий та сільськогосподарський сектори в Штатах досить малі (але все одно займають друге і третє місце в світі відповідно завдяки величезному ВВП). **Китай — на другому місці (15,5%).** Сфера послуг і промисловість в Піднебесній майже рівні, але останніми роками темпи приросту сфери послуг зростають. **На третьому місці знаходиться Японія з 6,13%.** При цьому **частка Росії у світовому ВВП - лише 1,99%.** Частка нашої сусідки Польщі у світовій економіці — 0,66%. Її номінальний ВВП у 2014 році — \$520 млрд. **Українська економіка настільки мала, що на графіку її навіть не зобразили.** ВВП України — \$124 млрд (2018 р.) (\$183 в 2013 р.). Виходить, що **частка України у світовому ВВП — 0,16%.** Промисловість дає нам лише 29% ВВП. <http://index.minfin.com.ua/index/gdp/?2016>

МІСЦЕ РІЗНИХ КРАЇН У СВІТІ ЗА ВВП



Червоним кольором вказано країни у яких ВВП *менше ніж у штату Каліфорнія* США (2016 рік). Не червоні лише Китай, Великобританія, Німеччина, Японія.

ВВП КРАЇН СВІТУ У 2013-18 р.

№	КРАЇНА	РОЗМІР ВВП (\$ МЛН.)	
	Весь світ	72 440 449	82 146 560
1	США	16 244 600	19 391 000
2	Китай	8 227 103	12 015 000
3	Японія	5 959 718	4 872 000
4	Німеччина	3 428 131	3 685 000
5	Франція	2 612 878	2 584 000
6	Великобританія	2 471 784	2 625 000
7	Бразилія	2 252 664	2 055 000
8	Росія	2 014 775 (60% дає нафта та газ, ВВП у 8 разів менше ніж у США)	1 578 000 (12,3 рази менше ніж США та у 7,6 ніж КНР!!!)
9	Італія	2 014 670	1 938 000
11	Канада	1 821 424	1 652 000
13	Іспанія	1 322 965	1 314 000
15	Южна Корея	1 129 598	1 538 000
17	Турція	789 257	Росія за ВВП на душу населення
18	Нідерланди	772 227	перемістилася з 55 на 62 місце
19	Швейцарія	632 194	в світі
22	Іран	514 060	377 000
23	Норвегія	499 667	370 000
24	Польща	489 795	468 000
51	Чехія	195 657	193 000
52	Кувейт	176 590	110 000
53	Україна	176 309 (ВВП у 11,4 рази менше російського)	119 000 (у 13,3 рази менше російського)
55	Румунія	169 396	187 000

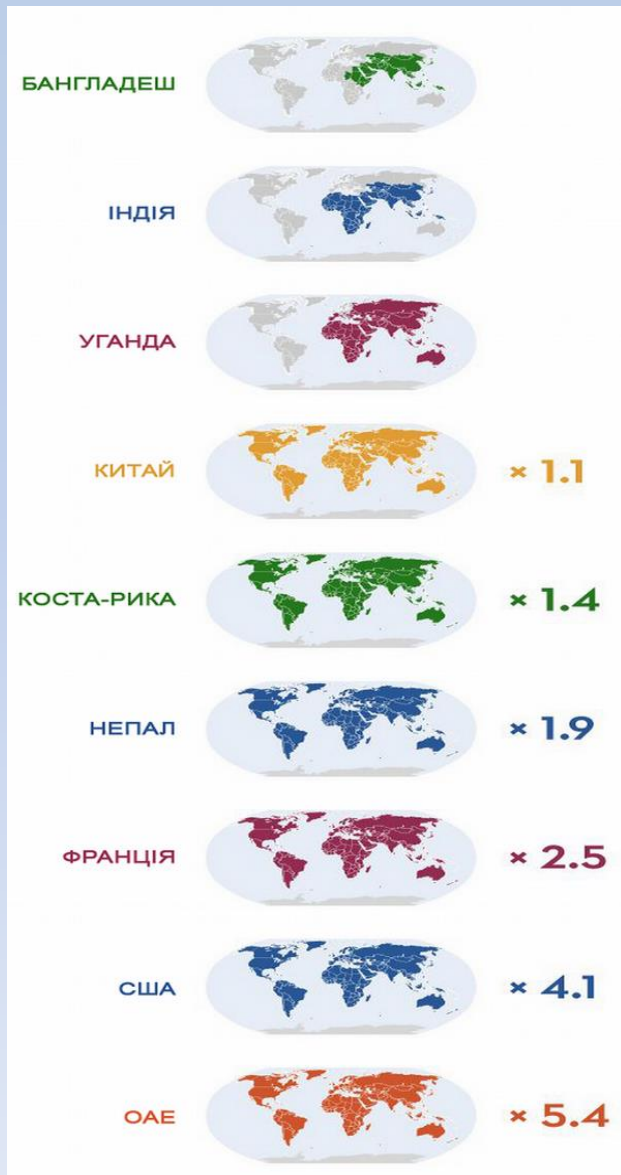


Росія
доходи
від експорту
нафти
млрд \$
2013: 43,1
2014: 36,4
2015: 21,3
2016: 14,1
2018: 19.2

газу
2013: 18,0
2014: 18,0
2015: 11,5
2016: 8,5
2018: 12,4

За 53 години. Німеччина виробляє за обсягом стільки продукції, що вона дорівнює річному ВВП України.

ЕКОЛОГІЧНИЙ СЛІД ЛЮДСТВА



Екологічний слід (Ecological Footprint) – показник, що характеризує споживання людством ресурсів Землі, який виражається в гектарах біологічно продуктивної поверхні Землі, необхідної для відтворення ресурсів, що спожиті, та переробки відходів.

• Нижче представлена інфографіка, яка наочно ілюструє екологічний слід людства якщо воно буде жити, як в тій чи іншій країні світу. **Сьогодні екологічний слід людини на планеті складає 18,2 млрд. га** (2,7 га на душу населення). Найбільші значення екологічного сліду припадають на розвинуті країни світу. Так, **якщо кожен житель Землі буде жити на широку ногу, як середньостатистичний американець, то нам буде потрібно більше 4-ох планет, таких як Земля.**

• Якщо ж у кожного жителя планети будуть запити, як у середньостатистичного китайця, то однієї планети нам повинно вистачити.

• Лідерами по використанні ресурсів Землі є Катар (1-е місце), Кувейт (2), Об'єднані Арабські Емірати (3) і Данія (4). США (5). Місця з 6-го по 10-е займають Бельгія, Австралія, Канада, Нідерланди та Ірландія, Росія (33).

На рис. вказано скільки Землі потрібно буде 7 мільярдам людей, щоб кожен з них міг жити як жителі з цих країн

КЛАСИФІКАЦІЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

•В процесі своєї життєдіяльності люди споживають природні ресурси Землі.

•**Природні ресурси** - природні об'єкти, що використовуються людиною і сприяють створенню матеріальних благ. **Природні умови (температура, вологість, кількість осадів, тощо)** впливають на життя і діяльність людини, але не беруть участі в матеріальному виробництві (повітря до певного часу було лише природною умовою, зараз - і умова і ресурс).

•**Класифікації ресурсів.**

•Крім природних, розрізняють ресурси матеріальні (транспортні засоби, промислові об'єкти, будівлі), трудові та ін. Серед **природних ресурсів** розрізняють: атмосферні, водні, рослинні, тощо.

•Також існує класифікація природних ресурсів (тваринних, ґрунтових, надрових, енергетичних) за їх **вичерпністю**: **До вичерпним ресурсів належать ті, які можуть бути вичерпані у близькій або віддаленій перспективі. Це ресурси надр і живої природи. Зазвичай ресурс вважають вичерпаним, коли його видобуток і використання (враховуючи переробку) стає економічно не вигідним.** Останнє залежить від рівня технологій (наприклад видобуток нафти, вугілля). В інших випадках **використання ресурсу рентабельно до повного вичерпання.** Зокрема, винищення окремих видів тварин і рослин. **До невичерпних** відносять ресурси, **які можна використовувати необмежено довго.** Це ресурси сонячної енергії, морських припливів, вітру тощо. Особливе положення серед ресурсів має вода. Вона вичерпна через забруднення (якісно), але невичерпна кількісно. **Вичерпні ресурси поділяють на поновлювальні та непоновлювальні.**

ВИСНАЖЕННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

•Чисельність населення Землі *станом на лютий 2020 року досягла 7,77 млрд людей*. Це 54,3 людини на км² (без території Антарктиди). Найбільша за територією країна світу - Росія, її площа на 2014 рік (з Кримом) становить 17124442 км² (1/9 частина земної суші, 2% населення світу). Чисельність населення Росії - **142 722 444 чол.** (8,6 люд./км², у 6 разів менша ніж у світі). **Темпи зростання споживання ресурсів на порядок перевищують темпи зростання чисельності населення.** Тому проблема вичерпності природних ресурсів з кожним роком стає актуальнішою. За одним з прогнозів, якщо збережуться такі темпи зростання використання викопного палива як зараз, то запасів нафти вистачить приблизно на 30-40 років, газу - 40-45 років, вугілля - 70-80 років. Калійні солі, фосфати будуть вичерпані після 2100 р., марганцева руда - до 2090 р. Використання традиційних видів палива пов'язане з **екологічним і тепловим забрудненням Землі**, що може призвести до необоротної зміни клімату. Забруднення атмосфери в результаті спалювання палива, океану і суші нафтою, радіоактивними елементами в результаті аварій, що відбувається має катастрофічні глобальні наслідки. **Теплове забруднення Землі відбувається при спалюванні будь-якого виду палива: збільшується концентрація CO₂ в атмосфері, що сприяє виникненню «парникового ефекту» У земній атмосфері у 2019 р. зафіксовано 415 частин CO₂ на мільйон (ppm). Це рекордний показник!!!!**

•**Людство щорічно використовує на 30 відсотків більше природних ресурсів, ніж може відновити екосистема Землі.** У грошовому еквіваленті цей щорічний «екологічний борг» становить 4-4,5 трлн доларів. **29 липня (2019 р.) людство використало всі природні ресурси вироблені Землею цього року (1970 р. - 29 грудня).** **При нинішніх обсягах споживання людству до 2030 року буде потрібно ще одна планета.** У наш час півмільярда людей Землі голодують і близько 1 мільярда хронічно не отримують повноцінного харчування, 2,5 млрд людей на Землі не мають удосталь звичайної води.

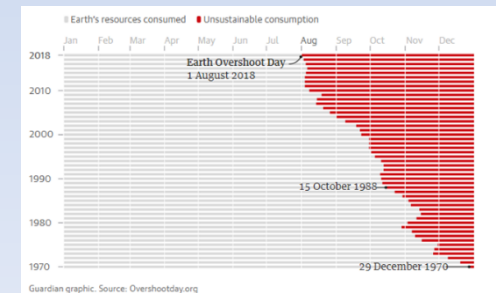
Популяція ссавців, птахів, риб, амфібій і рептилій з 1970 року по 2012 рік скоротилася на 58%.

На 81% - знизилася популяції тварин з річок, озер та інших прісноводних водойм, на 38% - кількість тварин на суші, на 36% впало населення морських видів тварин.

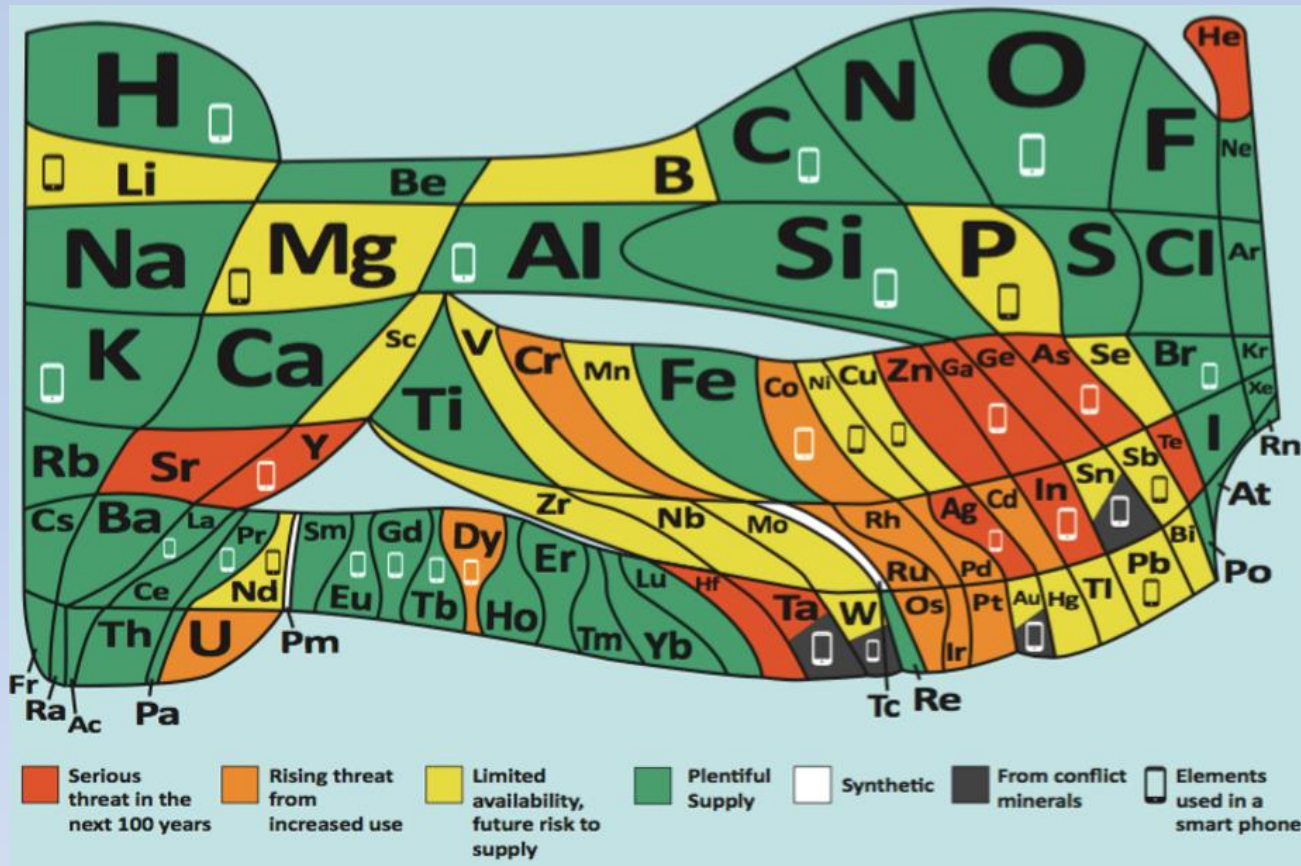
ООН у 2019 р. представила перше за останні 15 років дослідження про знищення різних видів життя на Землі і вперше використовувала термін **«Шосте масове вимирання»**. У 1800-сторінковому дослідженні, яке об'єднує понад 15 тис. наукових статей і публікацій, йдеться, що **понад 1 млн видів загрожує зникнення протягом десятиліть.** **За даними ООН, 75% суші, 40% океану і 50% річкових вод вже «демонструють деградацію через діяльність людини».** Крім того, найбільш схильні до вимирання виявилися комахи, пише видання. В середньому загальна маса всіх комах на планеті знижується на 2,5% щорічно.

У разі, якщо тенденція збережеться, до 2190 року на Землі взагалі може не залишитися комах, що докорінно змінить всю біосферу.

•**Виснаження природних ресурсів - невідповідність норм вилучення (обсягу видобутку) природного ресурсу його запасам як внаслідок економічних причин (наближення витрат на видобуток до ефекту, що одержується), так і з екологічних міркувань (підрив продуктивності або перевищення швидкості відновлення природного ресурсу) енергії.**



ДИФІЦИТНІ ЕЛЕМЕНТИ



•В таблиці *елементи промислові запаси яких закінчуються позначені червоним. Помаранчевий колір* вказує на близьку загрозу, пов'язану зі зростаючим використанням, *жовтим* позначені елементи з обмеженою доступністю, *зеленим* - найпоширеніші. Чотири елементи - олово (Sn), тантал (Ta), вольфрам (W) і золото (Au) - пофарбовані *чорним*, оскільки вони відносяться до «конфліктним мінералів» і часто видобуваються в країнах, в яких ведуться війни. За прогнозами хіміків, через 100 років дефіцитом стане гелій (He), срібло (Ag), телур (Te), галій (Ga), германій (Ge), стронцій (Sr), ітрій (Y), цинк (Zn), індій (In), миш'як (As), гафній (Hf) та тантал (Ta).

•31 з 90 елементів в новій таблиці позначені символом смартфона, оскільки використані для його створення.

ЗРОСТАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

•Більшість проблем людства можуть бути розв'язані якщо воно вирішить основну проблему – енергетичну.

•Характерною особливістю технічної діяльності людства у другій половині ХХ і на початку ХХІ століть є ***швидке зростання енергоспоживання***. За оцінками вчених потреби людства в енергії в порівнянні з існуючим рівнем споживання (~ 13 ТВт) до середини ХХІ ст. більш ніж подвоються (~ 30 ТВт), а до кінця ХХІ ст. - більш ніж потрояться (~ 46 ТВт).

•Це пов'язано,

по-перше, із ***зростанням світової економіки в цілому*** (до 4 разів до 2050 р), ***і різким економічним зростанням країн, що розвиваються, таких як Китай та Індія, населення яких складає 2/3 від чисельності населення планети.***

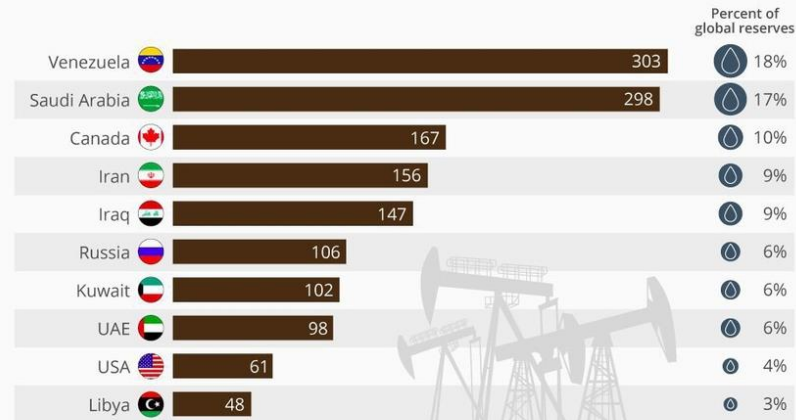
по-друге, пов'язане з ***помітним зростанням населення планети. До 2050 р. кількість населення Землі досягне 9-11 млрд. чоловік.***

•Збільшення виробництва енергії досі відбувалося в основному за рахунок використання викопних джерел енергії - нафти, природного газу, вугілля, ядерного палива. Однак ***задовольнити подальше зростання енергоспоживання тільки за рахунок використання викопних джерел неможливо. Традиційні джерела енергії вичерпуються.*** Геофізик Кінг Хуберт одним з перших побудував модель виснаження світових запасів нафти і на її основі передбачив пік видобутку нафти в США (приблизно на 1970 р.). Передбачив він і пік світового видобутку нафти (приблизно на 1995 г.), проте цей прогноз не збувся. Реально ***пік видобутку нафти світ пройшов у 2005 році*** і з тих пір вуглеводневу сировину поступово і неухильно вичерпується з темпами, що прискорюються, в 5-7% на рік, тому через 15-25 - років нафта і газ вже не будуть масово використовувати як паливо, і світ змушений буде переходити повністю на альтернативні джерела енергії. Більшість експертів впевнені, що ***збільшення глобальних потреб в енергії вичерпає традиційні енергетичних ресурси до середини цього сторіччя.*** Технічний прогрес, освоєння нових важкодоступних родовищ (глибоководних і полярних родовищ, бітумних пісків) тільки відсувають вичерпання ресурсів. При цьому треба розуміти, що ***навіть якщо запаси традиційних енергетичних ресурсів не будуть повністю виснажені, спостерігатиметься їх острій дефіцит і різке зростання цін.***

ЗАПАСИ НАФТИ ТА ГАЗУ

The Countries with the Largest Oil Reserves

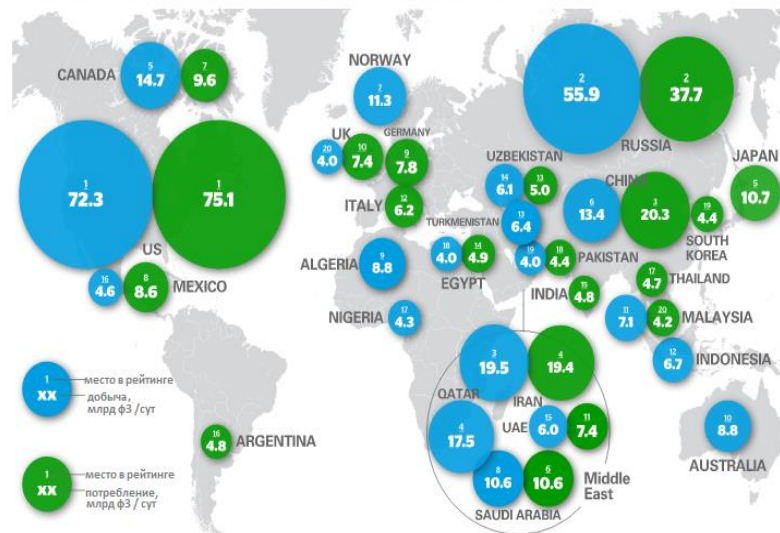
Countries with the largest proved oil reserves in 2018 (in billion barrels)



@StatistaCharts Source: BP

statista

Top-20: крупнейшие производители и потребители газа в 2016 году

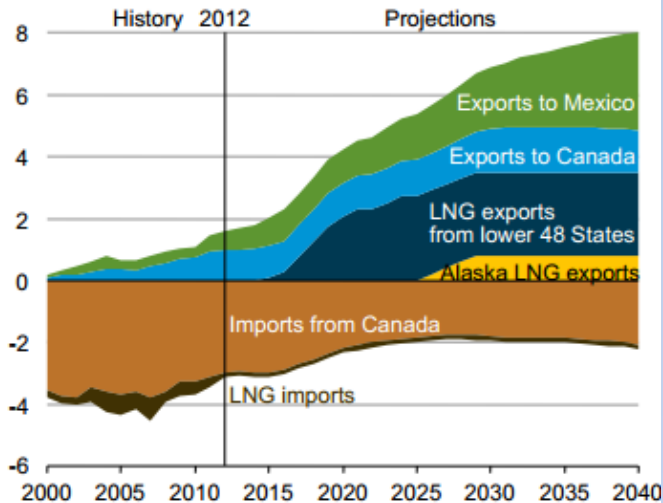


1 XX место в рейтинге добычи, млрд м³/сут

1 XX место в рейтинге потребления, млрд м³/сут

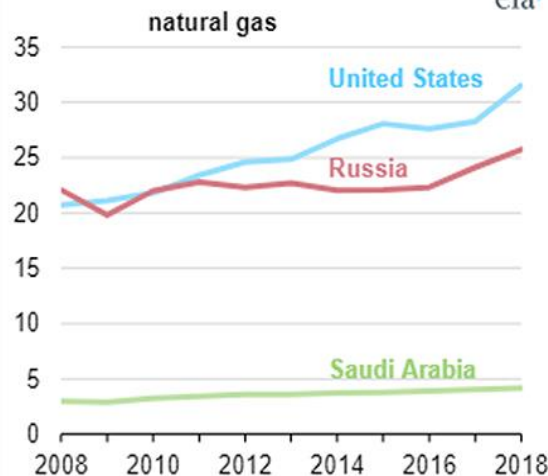
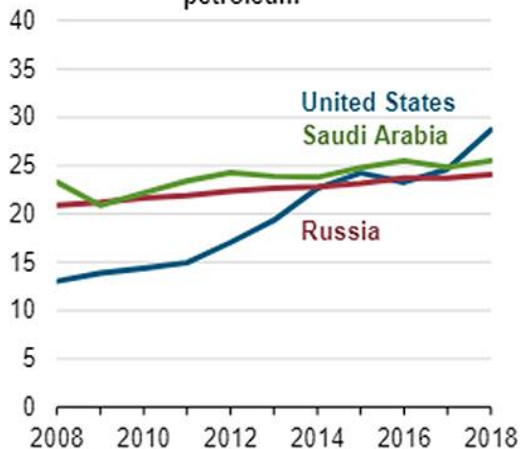
ГАЗ АМЕРИКИ

Figure 4. U.S. natural gas imports and exports, 2000-40 (trillion cubic feet)



•США в 2018 р. стали чистими експортерами газу в обсязі **18-20 млрд м³** і вже до **2025 р. планують наростити експорт до 100 млрд м³**, а до 2035 р. аж до 150-160 млрд м³, де частка зрідженого природного газу (СПГ) буде займати близько 80%. **Перші пробні поставки СПГ відбулися у 2016 р.**, більш масштабне розгортання інфраструктури почалося з 2018 р. Для порівняння, у Росії експорт газу складає приблизно **200 млрд м³**, з яких до країн далекого зарубіжжя **130-145 млрд м³**. Максимум імпорту газу в США був в 2007 р. на рівні 107-110 млрд м³, баланс почав активно змінюватися з 2008-2009 р., **в нуль вийшли у 2017 р.**

Estimated petroleum and natural gas production in selected countries quadrillion British thermal units



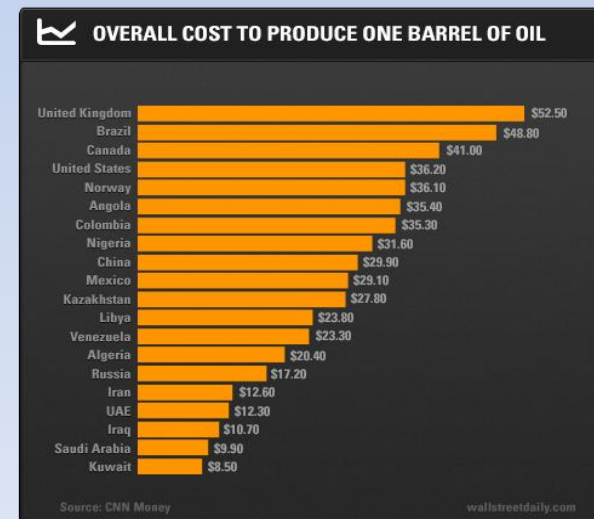
Зараз США експортують близько **40 млрд м³**. Тобто, **вже через 5 років США можуть стати прямими конкурентами Росії в плані поставок енергоносіїв і через 15-20 років серйозними конкурентами.** Поки що експорт в Європу тільки-но розпочався. З урахуванням експортних мит, амортизації капітальних витрат на заводи СПГ і витрат на транспортування за допомогою супертанкерів, **ціни газу США до Європи поки що вищі газпромівських.**

СВІТОВІ ЦІНИ НА НАФТУ

Собівартість видобутку сланцевої нафти в США знизилася до 20 \$ за барель, таким чином впритул наблизившись до вартості видобутку нафти звичайним способом. Такий стан речей пояснюється тим, що технології видобутку сланцевої нафти стрімко вдосконалюються, і якщо в 2012 р. собівартість видобутку нафти даними способом становила близько 100 \$, то буквально за 6 років її вдалося скоротити майже в 5 разів. *Найдешевішою залишається нафтовидобуток в Саудівській Аравії та Ірані: 4 і 5 \$ відповідно.* Що стосується Росії, то вже на розвіданих старих родовищах, *собівартість нафтовидобутку не перевищує 6 \$, в той час як на нових родовищах вона становить близько 17 \$.*



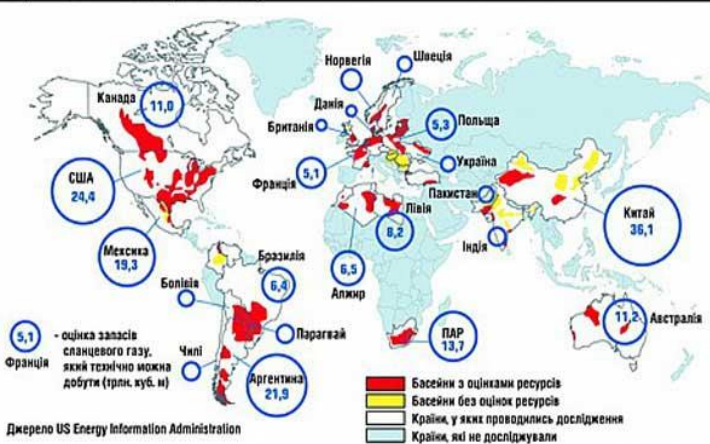
Бюджет Росії зверстаний виходячи з ціни на нафту марки Urals в 2020 році - \$ 42,4 за барель (2019 р. - 50 \$)



Собівартість видобутку нафти у різних країнах

СЛАНЦЕВА РЕВОЛЮЦІЯ ТА ГАЗ

Оцінки запасів сланцевого газу



СЛАНЦЕВА РЕВОЛЮЦІЯ В ПРОФІЛЬ

ПРОИЗВОДСТВО СЛАНЦЕВОГО ГАЗА В США, млрд куб. м

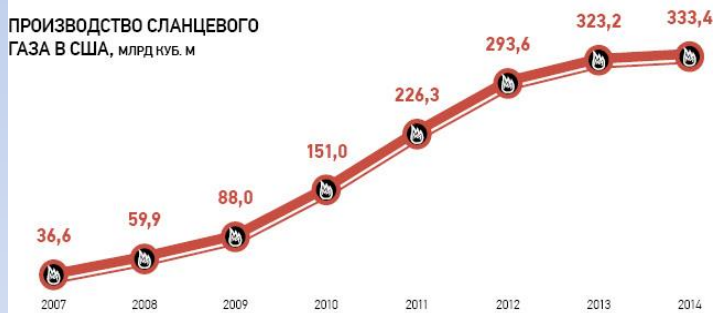


Схема видобування сланцевого газу



Сланцева революція - поширене з 2012 р. в пресі позначення впровадження в промислову експлуатацію ефективних технологій видобутку газу з покладів сланцевих порід («сланцевий газ»), а також нафти («сланцева нафта»), яке відбулося в США на початку XXI століття.

Сланцевий природний газ (англ. Shale gas) - природний газ, що видобувається з горючих сланців і складається переважно з метану. У США розвідані запаси сланцевого газу складають **24 трлн м³** (на 2007 р. за оцінкою US Energy Information Administration технічно можуть бути добути - 3,6 трлн м³) або **більше 10% від світових**. У 2014 р. доведені технічні запаси сланцевого газу, з урахуванням нових родовищ, оцінювалися в 4,0 трлн. м³, розвідані (недоведені) - 23,4 трлн. м³. Провідною корпорацією в США з видобутку сланцевого газу є **Chesapeake Energy**. До 2014 р. видобуток сланцевого газу у США зріс до 333,4 млрд м³, що склало близько **40% від загального видобутку природного газу в країні**. Великі родовища сланцевого газу виявлені в ряді держав Європи, зокрема, в **Австрії, Англії, Угорщині, Німеччині, Польщі, Швеції, Україні**. Поклади сланцю, з якого можна видобувати сланцевий газ, дуже великі в таких країнах як **Китай (90,3 трлн м³), США, Австралія, Індія, Канада**. Китай почав видобуток сланцевого газу в 2012 році. За підсумками 2016 р. видобуток сланцевого газу в Китаї зріс на 76% і досяг 8 млрд м³, країна зможе вийти на показник видобутку в **30 млрд м³ газу до 2020 р.**

Схема видобування сланцевого газу.

Типи природного газу: звичайний, сланцевий, з жорсткого піску, попутний, вугільний метан

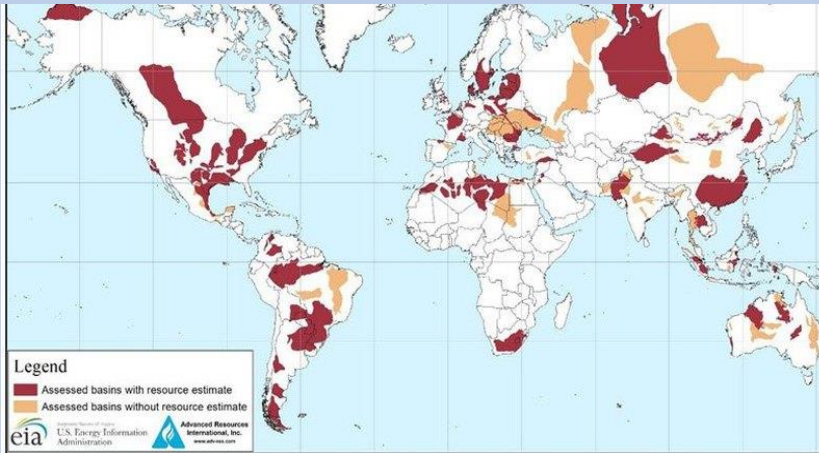
СЛАНЦЕВИЙ ГАЗ УКРАЇНИ



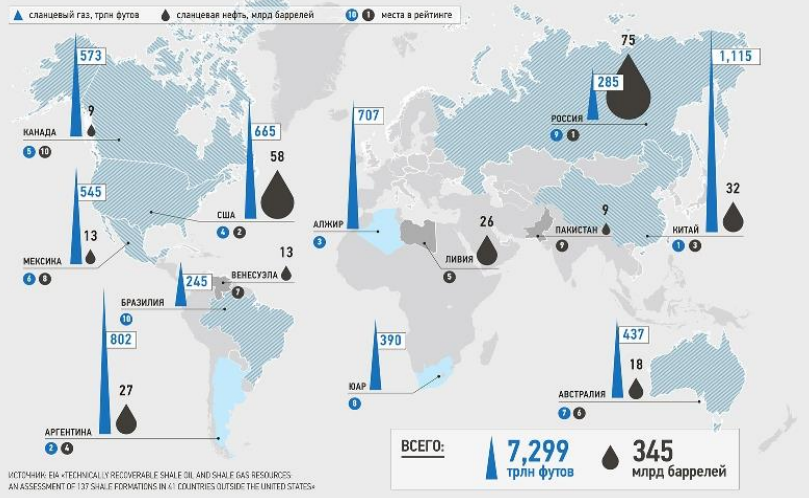
Україна володіє найбільшими покладами сланцевого газу в Європі! При цьому, найбільша частина їх знаходиться на території Донецької та Харківської областей

У 2010 р. Україна видала ліцензії на розвідку сланцевого газу для *Exxon Mobil i Shell*. У травні 2012 р. стали відомі переможці конкурсу по розробці Юзівської (Донецька область) і Олеської (Львівська область) газових площ. Ними стали *Shell i Chevron*, відповідно. **Очікувалося, що промисловий видобуток на цих ділянках почнеться в 2018-2019 р.** 25 жовтня 2012 Shell почала буріння першої пошукової свердловини газу ущільнених пісковиків в Харківській області. **Угода між компанією Shell і «Надра Юзівська» про розподіл продукції від видобутку сланцевого газу на Юзівській ділянці в Харківській, Луганській і Донецькій областях було підписано 24 січня 2013 р., в Давосі (Швейцарія) за участю колишнього президента України В. Януковича.** Практично відразу після цього в Харківській, Луганській і Донецькій областях почалися акції і пікети екологів, комуністів і ряду інших активістів, спрямовані проти розробки сланцевого газу і, зокрема, проти надання такої можливості закордонним компаніям. **У 2014 р., з початком збройного конфлікту на Південному Сході України, компанія Chevron вийшла з проекту з видобутку сланцевого газу,** розірвавши укладені договори в односторонньому порядку через невиконання урядом України зобов'язань з підготовки необхідної нормативної бази.

СЛАНЦЕВА НАФТА



МИРОВЫЕ ЗАПАСЫ СЛАНЦЕВЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ: TOP-10 СТРАН С НАИБОЛЬШИМИ РЕСУРСАМИ



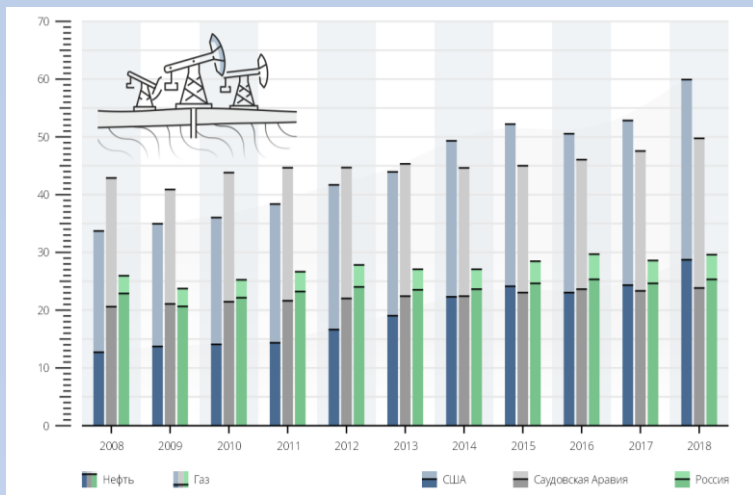
Видобуток легкої нафти з низькопроникних колекторів, при якій застосовуються ті ж технології, що і для сланцевого газу, зріс з невеликих значень у 2007 р. до 2,3 млн барелів на добу в 2013 р, до середини 2018 р. США вийшли на рівень видобутку сланцевої нафти в 6,2 млн барелів на добу (загальний видобуток - 11 млн барелів на добу).

Сланцеву нафту добувають з керогена - особливої речовини, яка міститься в сланцевій породі. За суттю, кероген - це речовина, що перетворюється в звичайну нафту. Для прискорення цього процесу його прямо в свердловині піддають термічній обробці, в результаті чого, виходить сланцева нафта.

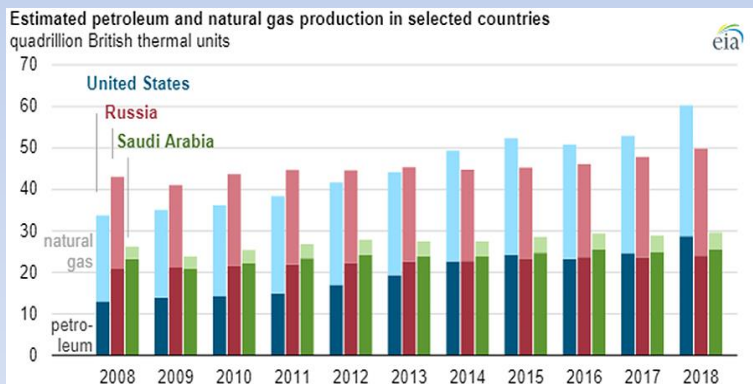
Brent - це сорт нафти, що є світовим еталоном за якістю, властивостями та складом нафти, що є найбільш оптимальними для переробки та виробництва нафтопродуктів, що використовується як еталон у встановленні ціни.

Urals - російська марка експортної нафтової суміші. Утворюється змішуванням в системі трубопроводів "Транснафти" важкої, високосернистої нафти Уралу і Поволжя (вміст сірки в яких досягає 3,0%, а густина в градусах API не перевищує 26-28°) з легкої західносибірської нафтою Siberian Light (густина 36,5 в градусах API, вміст сірки 0,57%). Підсумковий вміст сірки в нафті сорту Urals має становити не більше 1,2-1,4%, густина в градусах API - 31-32 ° (або 860-871 кг/м³). Для порівняння, сорти Brent і WTI мають густину 38-40° API і вміст сірки не більше 0,2-0,4%, а близькосхідна нафта сортів Oman і Dubai має густину 30-33 ° API, вміст сірки 1,1-2,1%. Різниця і цінах між сортами *Brent* і *Urals* 1-3 \$ за барель.

БОРОТЬБА ЗА ГАЗОВИЙ І НАФТЯНИЙ РИНОК



• Видобуток нафти і природного газу в США в 2018 р. збільшився на 16% і на 12%, відповідно, і ці показники встановили новий рекорд. **США обігнали Росію в 2011 р., щоб стати найбільшим в світі виробником природного газу, і перевершили Саудівську Аравію в 2018 р., отже, стали найбільшим в світі виробником нафтопродуктів.** У США і Росії видобуток нафти і природного газу розділилися практично порівну; в Саудівській Аравії видобуток нафти істотно перевершує видобуток інших копалин.



• Видобуток російської нафти і природного газу також досяг рекордних значень в 2018 р., чому сприяло зростання світового попиту. Росія експортує більшу частину нафти, що видобувається в європейські країни і Китай. З 2016 р. майже 60% російського експорту нафти прямує в європейські країни-члени Організації економічного співробітництва та розвитку. З 2000 р. понад 80% російського експорту природного газу йде до Європи.

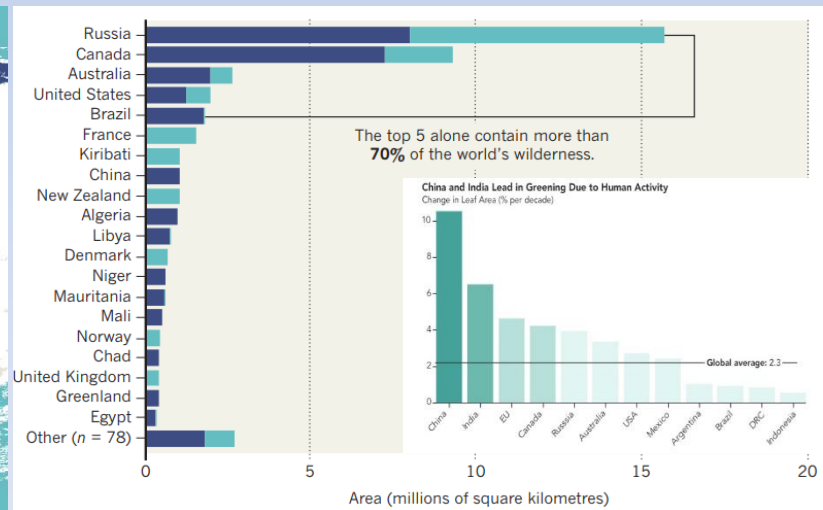
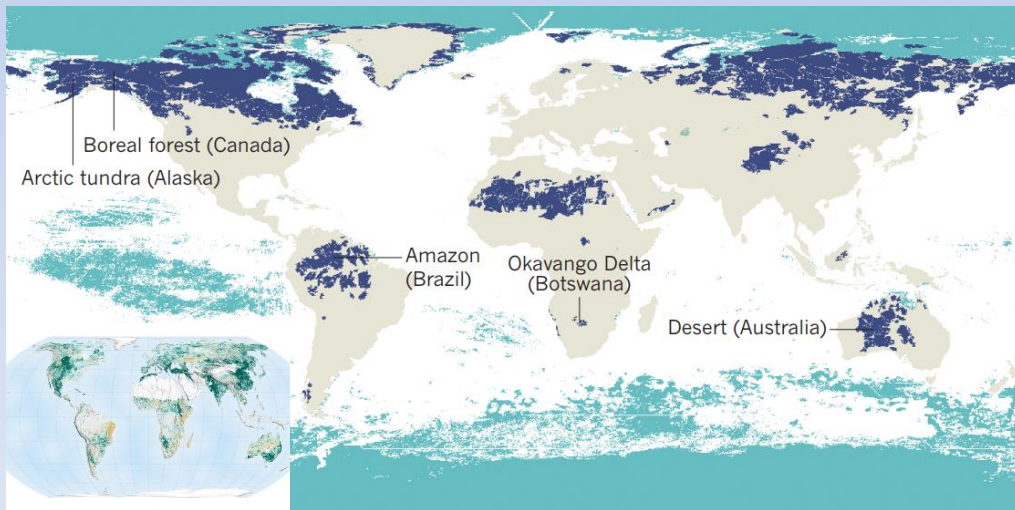
Середньорічний видобуток нафти в Саудівській Аравії незначно збільшився в 2018 р., але він залишився нижчим, ніж в 2016 р., коли досяг рекордно високого рівня. Експорт нафти становить близько 60% від загального обсягу виробництва Саудівської Аравії. **Китай, поряд з Японією, Південною Кореєю, Тайванем і Сполученими Штатами, залишаються критичними важливими ринками для експорту Саудівської нафти.**

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ВИДІВ ПАЛИВА

- Енергетичну проблему людства не можна вирішити за рахунок атомної енергетики, оскільки *запаси урану обмежені, а продукти його розпаду є радіоактивними й екологічно небезпечними.*
- Наступна проблема пов'язана з *екологічним і тепловим забрудненням Землі*, що може призвести до необоротної зміни клімату. Забруднення атмосфери в результаті спалювання палива, океану і суші нафтою, радіоактивними елементами в результаті аварій, що відбувається має катастрофічні глобальні наслідки. Останній приклад - аварія на нафтовидобувній платформі в Мексиканській затоці у 2010 р. *Вугілля*, поклади якого досить великі, *як енергоносії не задовольняє сучасним екологічним вимогам.* Активно розробляються «чисті» способи його використання, однак це веде до подорожчання вартості енергії, що одержується. Також *існує серйозна проблема утилізації радіоактивних відходів.*
- *Теплове забруднення Землі відбувається при спалюванні будь-якого виду палива: збільшується концентрація CO₂ в атмосфері, що сприяє виникненню «парникового ефекту».* При збільшенні зростання виробництва енергії за рахунок спалювання палива, включаючи ядерну енергетику, безпечна межа підвищення температури на Землі може бути досягнута уже у XXI столітті. При цьому *двадцять найбільших нафтових компаній світу є причетними до майже 35 % викидів вуглекислого газу в атмосферу.* Скажімо Chevron, Exxon, BP і Shell спільно відповідальні за 10 % світових викидів CO₂ починаючи з 1965 р. Нарешті, існує серйозна проблема - це *енергобезпека, яка спонукає до диверсифікованості використовуваних джерел енергії.* Необхідність боротьби з цими проблемами зажадає від багатьох країн і, насамперед, від індустріально розвинених, значних витрат і радикального зниження рівня використання вуглеводневої сировини. У результаті, за оцінками ці причини не дозволять задовольняти зростаючі потреби світової енергетики за рахунок викопних джерел енергії вже через 10-15 р.
- *Таким чином, на початку XXI століття світова енергетика зіткнулася з необхідністю різкої зміни структури джерел енергії, що споживається.*
- За образним визначенням головного економіста Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) Фатіх Біроль при збереженні нинішніх темпів зростання енергоспоживання *до 2030 р. потрібно буде або знайти «шість нових Саудівської Аравії», або зробити ставку на інші джерела енергії.*
- Більшість аналітичних досліджень академічних учених і вчених компаній ПЕК передбачає значне (до 30%) збільшення частки нетрадиційних відновлюваних джерел протягом наступних 20-30 років.

ТЕРИТОРІЇ ДИКОЇ ПРИРОДИ

•100 років тому лише 15% землі використовувалися для вирощування сільськогосподарських культур і розведення худоби, але **сьогодні люди змінили 77% суші (за винятком Антарктики) і 87% океану**. З 1993 по 2009 рік 3,3 млн км² дикої природи були заселені, використані для сільськогосподарських потреб, видобутку природних копалин та інших цілей, а в Світовому океані від рибальства і мореплавства майже повністю вільні лише води в полярних регіонах. Вчені заявляють, що збереження регіонів дикої природи що залишилися - життєво важливий фактор в боротьбі зі зміною клімату. Глобальне потепління, в свою чергу, представляє безліч загроз як для майбутнього процвітання людства, так і для тварин. **Серед небезпек, з якими ми стикаємося вже сьогодні - підвищення рівня моря, нестача продовольства, прісної води, що почастишали екстремальні погодні явища**. Дані, що використовуються на мапі суші, були зібрані в 2009 році і включали інформацію про 8 показниках людського впливу на навколишнє середовище, включаючи щільність населення, транспортну інфраструктуру і використання земель для вирощування сільськогосподарських культур. Інформація, яка використовується для складання карти океану, була зібрана в 2013 році і включала дані про рибальство, торгово-промислового судноплавстві і 14 інших показниках впливу людини на навколишнє середовище. **Площі суші вважали дикою природою, якщо вони покривали 10 000 км² і були відносно вільні від впливу людини**.



РУЙНУВАННЯ СВІТУ ДИКОЇ ПРИРОДИ

Кожен четвертий вид перебуває під загрозою зникнення

За оцінкою Червоної книги МСОП



Земноводні
40%



Хвойні дерева
34%



Рифові корали
33%



Акули і скати
31%



Деякі ракоподібні*
27%



Ссавці
25%



Птахи
14%

*Серед оцінюваних видів - омари, прісноводні краби, прісноводні раки та прісноводні креветки

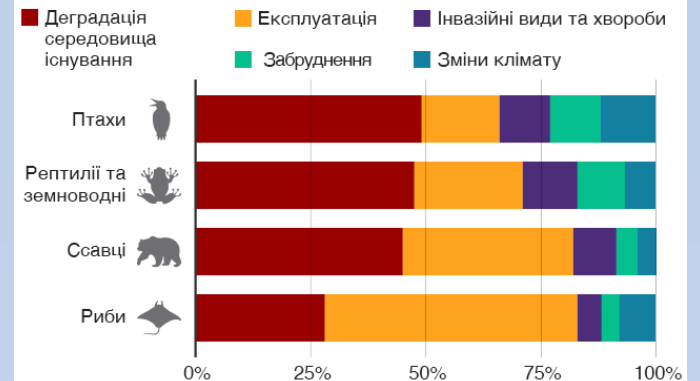
Джерело: Червона книга МСОП



Група з 145 вчених, які представляють 50 країн світу, 05.05.2019 р. заявила про те, що руйнування дикої природи, викликане діяльністю людини, є "безпрецедентним", а скорочення чисельності живих організмів на Землі відбувається з дедалі більшою швидкістю, повідомляється на сайті Міжурядової науково-політичної платформи з біорізноманіття та екосистемних послуг (IPBES).

Головна загроза біорізноманіттю - втрата середовища існування

Доповідь "Жива планета" оцінює ключові фактори зникнення видів



Примітка: Індекс живої планети оцінює вибірку з 3 789 популяцій

Джерело: Всесвітній фонд дикої природи, доповідь "Жива планета-2018"



У 2018 році були знищені лісові масиви розміром з Бельгію

Втрати тропічних первинних лісів, мільйони гектарів



Джерело: Всесвітній моніторинг лісів, Мерілендський університет



ЗЕМЛЯ СМІТТЄЗВАЛИЩЕ???



За інформацією Світового банку, **зараз від 3 млрд городян за рік набирається 1,3 млрд тон відходів, а до 2025 року ця цифра виросте на 70% - до 2,2 млрд тон.** В середньому щорічно Україна виробляє близько 17 млн тон сміття. На жаль, тільки 5% з цього обсягу потрапляє в переробку. Решта 95% потрапляє на звалища. **За даними 2016 р., санкціоновані звалища в Україні можна було порівняти з розмірами Кіпру, а стихійні - цілої Бельгії.**

• **Велика тихоокеанська сміттева пляма** (англ. Eastern Garbage Patch - Східний сміттевий континент, або Pacific Trash Vortex - Тихоокеанський «сміттеворот») - **скупчення сміття антропогенного походження в північній частині Тихого океану.** Він розташований між 135°-155° західної довготи і 35°-42° північної широти. На цій ділянці знаходиться скупчення пластика і інших відходів, принесених водами Північно-тихоокеанської системи течій. Точний розмір області невідомий. **Приблизні оцінки площі варіюються від 700 тис. до 1,5 млн км² і більше (від 0,41% до 0,81% загальної площі Тихого Океану).** Ймовірно, на цій ділянці знаходиться більше **ста мільйонів тон сміття.**



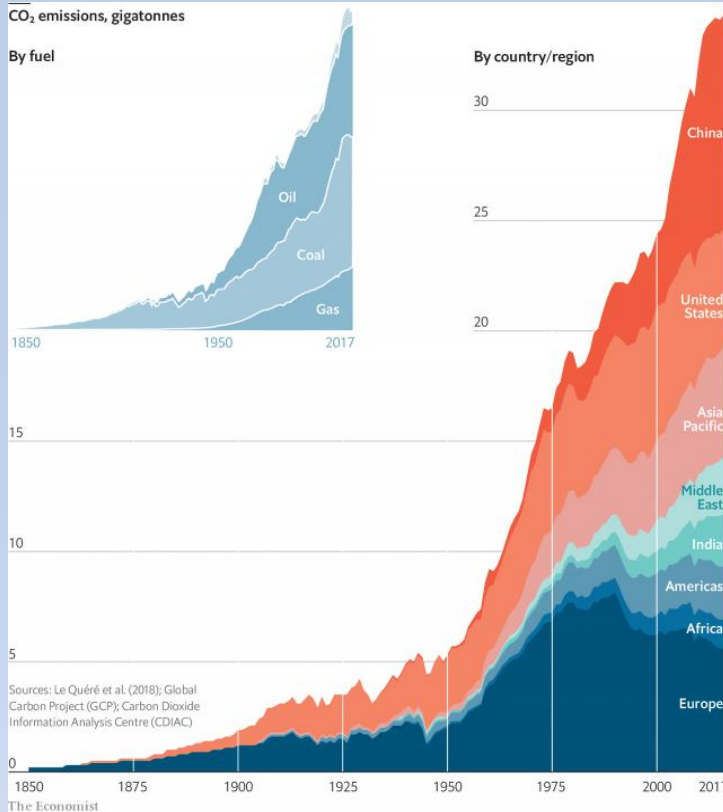
ОСНОВНІ ВИРОБНИКИ ВІДХОДІВ

• У всьому світі нині щорічно утворюється понад 2 млрд тон твердих комунальних відходів (ТКО), 70% цього обсягу припадає на 20 країн. Майже 70% всіх ТКО світу утилізується в землі на різного роду полігонах - від відкритих звалищ (31% всіх відходів) до спеціально обладнаних поховань з системами утримання і подальшого використання звалищних газів (8%). Ще 11% загальносвітових ТКО спалюється, і інші 19% проходять або промислову переробку, або компостування. Однак сама структура утилізації ТКО у різних країнах дуже сильно різниться. Для прикладу нижче наведено порівняльні дані Світового банку з 19 країн, що входять до "великої двадцятки" (G20). Відзначимо, що лише в восьми із зазначених країн для утилізації ТКО ще використовується найпримітивніший і неекологічний спосіб - відкриті звалища.

СТОКГОЛЬМСЬКИЙ МЕМОРАНДУМ

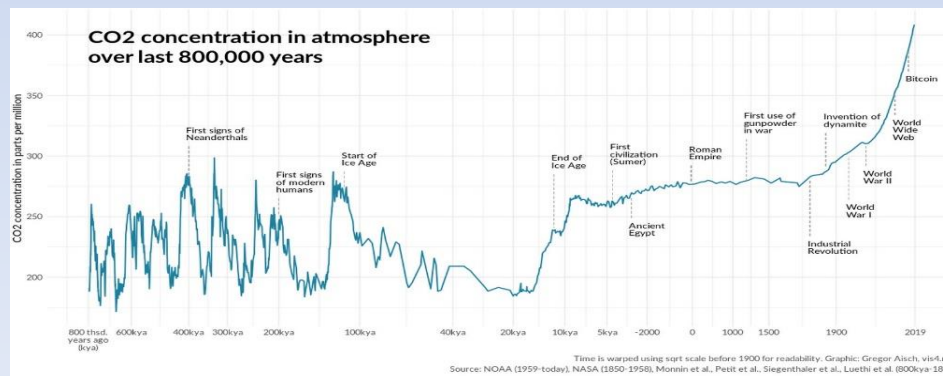
- Лауреати Нобелівської премії, які зібралися на свою щорічну конференцію в Стокгольмі (Швеція) у 2011 р., виступили зі зверненням до ООН *з приводу порятунку людства.*
- У документі говориться, що *планета вступила в нову геологічну епоху - антропоцен, оскільки людська діяльність є нині найважливішим фактором глобальних змін, які можуть мати різкі і незворотні наслідки для людства і екосистем.* У зв'язку з цим вчені рекомендують ряд термінових і далекосяжних дій заради збереження Землі для майбутніх поколінь.
- У «Стокгольмському меморандумі» підкреслюється, що нинішнє покоління людей - перше, якому випало усвідомити нові небезпеки, які стоять перед нами. Отже, ми більше не можемо жити так, як жили наші предки, і *потрібно якомога швидше міняти спосіб життя.* Нобелянти під головуванням Маріо Моліни, вважають, що тільки наука здатна вказати шлях до *глобальної стабільності* - за умови, зрозуміло, відкритого діалогу з суспільством.
- Ось ще ряд положень меморандуму:
 - Екологічна стійкість є необхідною умовою для викорінення бідності, економічного відставання та соціальної несправедливості.*
 - Майже третина населення світу живе менше ніж на два долари в день, тому розвиток має стати пріоритетом світової політики.*
 - Необхідна розробка нових показників добробуту, щоб усунути недоліки такого показника, як ВВП.*
 - Слід стримувати глобальне потепління нижче 2 °С. Це означає, що пік глобальних викидів вуглекислого газу треба пройти не пізніше 2015 року. В іншому випадку наслідки будуть дуже серйозними.*
 - Прийшла пора нової сільськогосподарської революції, щоб нинішні угіддя могли виробляти більше продовольства за умови сталого екологічного розвитку.*
 - Необхідно надихати й заохочувати наукову грамотність, особливо серед молоді.*
- Документ переданий до Комісії ООН з глобальної стійкості, яка готувала *Конференцію ООН зі сталого розвитку* в Ріо-де-Жанейро. Вона пройшла у 2012 році і була прийнята.

ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ



• Людство викидає в атмосферу 30 млрд тон CO₂ на рік. Середній рівень вуглекислого газу в міжльодовикові періоди в 1,45 рази більший, ніж в найхолодніші періоди льодовикових періодів. **Однак нинішній рівень, у свою чергу, в 1,45 рази вищий, ніж у середньому в міжльодовикові періоди.**

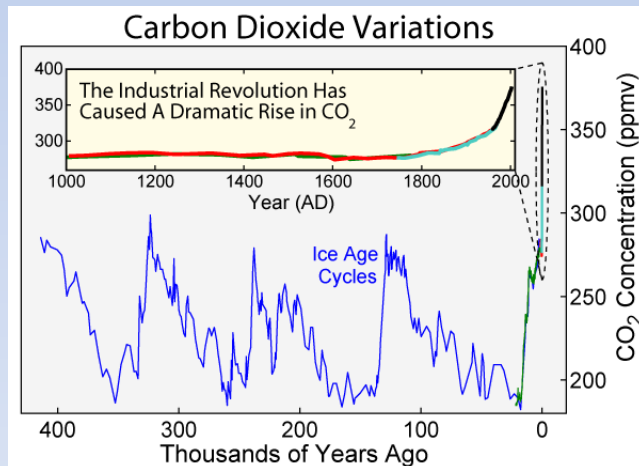
• **Глобальне потепління** - довгострокове підвищення середньої температури кліматичної системи Землі, що спостерігається протягом останніх більш ніж ста років, основною причиною чого є людська діяльність (антропогенний фактор). Починаючи з 1850 року, в десятирічному масштабі, температура повітря в кожне десятиліття була вище, ніж в будь-яке попереднє десятиліття. З 1750-1800 р. людина відповідальна за підвищення середньої глобальної температури на 0,8-1,2 °С. З огляду на інерційності кліматичної системи, навіть в разі припинення антропогенного впливу неминуче потепління ще на 0,6 °С. **Ймовірна величина можливого зростання температури протягом XXI століття на основі кліматичних моделей становить 0,3-1,7 °С для мінімального сценарію емісії парникових газів, 2,6-4,8 °С для сценарію максимальної емісії.**



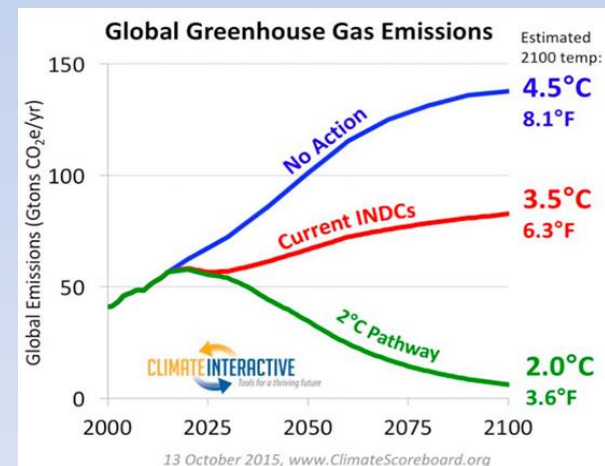
ПАРИЗЬКА КЛІМАТИЧНА УГОДА

• У грудні 2015 р. на 21-й конференції сторін рамкової конвенції ООН зі зміни клімату була прийнята нова міжнародна кліматична угода - **Паризький договір**. Цей акт приходить на зміну **Кіотському протоколу**. Угода набуває чинності після ратифікації щонайменше 55 державами, обсяг викидів парникових газів (ПГ) яких становить щонайменше 55% від загальносвітових. Це відбулося **4 листопада 2016 р.**

• **Паризька угода, серед іншого, встановлює мету щодо утримання глобальної температури на Землі в межах 2°C до 2100 року.** Однак відповідно до очікуваних національно-визначених внесків (ОНВВ) країн-підписантів викиди ПГ цих країн спричинять зростання глобальної температури на рівні 3,5°C до 2100 року. Для досягнення мети потепління на 2 °C середньосвітові темпи скорочення емісії CO₂ повинні скласти приблизно 5,5% на рік, досягаючи для розвинених країн величини 10-15% на рік (Рис.1). Одна з головних цілей нової угоди - глобальний перехід до екологічно чистої енергії. Таким чином, на початку XXI століття світова енергетика зіткнулася з необхідністю різкої зміни структури джерел енергії, що споживається. **Традиційні джерела енергії повинні бути замінені нетрадиційними або поновлювальними.** На переговорах у Парижі Україна озвучила мету із скорочення викидів на 40% до 2030 року відносно рівня викидів ПГ 1990 року.



Зміни концентрації CO₂ в ррт протягом останніх 400 тис. років (зверху - за останню тисячу років)



Зміна глобальної температури на Землі для трьох сценаріїв вуглецевого розвитку світу

25-а КОНФЕРЕНЦІЯ ООН ЗІ ЗМІНИ КЛІМАТУ

•**25-я Конференція ООН зі зміни клімату** відбулася в Мадриді, Іспанія з **2 до 13 січня 2019 р.** В ній взяло участь близько 200 країн. У рамках конференції **відбулася 25-а сесія Конференції Сторін (КС-25) Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату (РКЗК ООН) та 51-а нарада допоміжних органів РКЗК ООН - Допоміжного органу з питань виконання (ВГО-51) і Допоміжного органу для консультування з наукових і технологічних консультацій (ВОКНТА-51).**

•На Конференції ООН з питань клімату **Генеральний секретар ООН Антоніу Гутерреш визначив три чіткі завдання з порятунку планети, головною метою яких - обмеження зростання температури на планеті.** Згідно із заявою Гутерреша, **до 2030 р. потрібно скоротити викиди парникових газів на 45%, до 2050 р. - досягти вуглецевого нейтралітету, до 2100 р. - обмежити зростання глобальної температури до 1,5 градуса за Цельсієм.** Для того, щоб уникнути катастрофи, стверджує генсек ООН, **"викопне паливо має назавжди залишитися там, де йому і належить бути - під землею".** "Якщо ми не позбудемося цієї залежності від вугілля, то всі наші спроби стримати зміна клімату будуть приречені на провал", - попередив генсек.

•Попередня Конференція ООН зі зміни клімату, КС-24 в Катовіце (Польща), була присвячена завершенню підготовки програми роботи зі здійснення Паризької угоди - набору рішень, спрямованих на практичну реалізацію договору. Сторони прийняли «кліматичний пакет», до якого увійшли рішення майже з усіх питань, що стосуються програми роботи по здійсненню Паризької угоди.

•Нажаль, 25-я міжнародна конференція ООН з питань зміни клімату (COP25) в Мадриді завершилася з мінімальними результатами. Згідно з оприлюдненим підсумкового комюніке, 200 країн-учасниць саміту визнають необхідність збільшення зусиль, спрямованих на захист клімату та обмеження обсягів шкідливих викидів. Таким чином, **учасники зустрічі підтвердили прийнятий раніше під час Паризького кліматичного саміту план дій.** Згідно з цим планом, з наступного року країни-учасниці Кліматичній угоди повинні посилити свої дії з метою захисту клімату, відзначають в уряді Іспанії. Надії країн, що розвиваються, і острівних країн на створення міжнародного фонду для боротьби з наслідками кліматичних змін, які вже відбулися, не виправдалися.

•**28 листопада 2019 р. в Страсбурзі Європарламент прийняв резолюцію про "Надзвичайну ситуацію в області клімату і навколишнього середовища в Європі і на планеті".** Так само не вдалося домовитися за кінцевими положеннями статті 6 Паризької кліматичної угоди. Тому механізми втілення цієї угоди досі залишаються неповними, відзначають оглядачі.

•Джерело: <https://censor.net.ua/n3165467>

•Джерело: <https://censor.net.ua/n3163038>

ЗЕМЛІ ЗАГРОЖУЄ ЕКОЛОГІЧНА КРИЗА

• Міжнародна команда вчених у 2019 р. написала колективну доповідь *щодо стану екології нашої планети*. Роботу назвали World Scientists ‘Warning of a Climate Emergency (*"Попередження вчених з усього світу про надзвичайний кліматичний стан"*). Ініціаторами звернення вчених, опублікованого в журналі Bio Science, стали професор Орегонського дослідного університету Вільям Ріппл і науковий співробітник Сіднейського університету Томас Ньюсом. *Підписали цю роботу 11 258 вчених зі 153 країн світу*. Основна думка спеціалістів: *"Землі загрожує екологічна криза, і, якщо не вжити негайних заходів на глобальному рівні, людству не уникнути "невимовних страждань"*.

• Доповідь написали на основі спостережень за людською діяльністю і її впливом на клімат протягом останніх 40 років. Зокрема аналізували кількість викидів вуглекислого газу, зростання чисельності населення, споживання енергії та темпи вирубки лісів. До того ж розглядали точні цифри: зміни температури поверхні Землі, зміни кислотності води в океані та танення льодовиків.

• Автори стверджують, що *після підписання країнами Паризької кліматичної угоди, її все рівно не виконують*. Наприклад, лише 35 країн вживають заходів, які скорочують кількість викиду в атмосферу CO₂. Це, до речі, підтверджується теперішніми подіями, точніше температурою повітря на вулиці. *Жовтень 2019 визнали найтеплішим з початку метеорологічних спостережень*.

• *Кліматична криза тісно пов'язана з надмірним рівнем споживання. Основну відповідальність за історичне зростання викидів несуть найбагатші країни світу. Вони мають найбільший рівень викидів парникових газів на душу населення*. Автори доповіді також зауважують, що *Китай, Індія, США та Росія* - країни, на які *припадає понад половину світового обсягу викидів*. З них на план зменшення викидів парникових газів погодились, поки що, тільки Китай та Індія. *Росія не надала плану регулювання, а США взагалі захотіли вийти з Паризької угоди*.

• Як негайні заходи щодо поліпшення ситуації вчені пропонують *заміну викопного палива на відновлювані джерела енергії, запровадження високих "вуглецевих податків", відмову від споживання тваринної їжі й вирубки лісів, а також перегляд економічної політики провідних країн світу в бік відмови від прагнення до зростання ВВП*.

• Але не все так плачевно, є і ноти оптимізму у доповіді екологів. *"Ми натхненні, що нещодавно почався цілий сплеск занепокоєння. Політики роблять заяви про надзвичайну ситуацію у сфері змін клімату. Школярі страйкують. У судах ведуться розгляди справ про екоцид. Рухи громадян вимагають змін і влада багатьох країн, штатів і міст реагує на них"*.

• <https://academic.oup.com/bioscience/advance-article/doi/10.1093/biosci/biz088/5610806>

ГОДИННИК СУДНОГО ДНЯ

• **«Годинник Судного дня»** (англ. Clock of Doomsday Clock) - проект журналу Чиказького університету «Бюлетень наукових співробітників», **започаткований в 1947 році творцями першої американської атомної бомби**. Періодично на обкладинці журналу публікується зображення годинника, що показує без декількох хвилин північ. **Час, що залишився до півночі, символізує напруженість міжнародної обстановки та прогресу у розвитку ядерного зброї**. Сама північ символізує момент апокаліпсису - ядерного катаклізму або іншої причини кінця відомого світу. Рішення про переведення стрілки приймає рада директорів журналу за допомогою запрошених експертів, серед яких, зокрема, 18 лауреатів Нобелівської премії.

• **За 70-річну історію проекту стрілки годинника міняли своє положення 23 рази, включаючи початкову установку на сім хвилин в 1947 році**. Під час Карибської кризи (1962 рік) світ був в двох кроках від ядерної війни. Проте, оскільки криза була розв'язана дуже швидко (протягом 38 днів), годинник не встигли відкорегувати, і його покази не змінилися. З 1960 і до 1963 року годинник показував сім хвилин (в 1963 році цей час було збільшено до дванадцяти хвилин).

• **Приводом для переведення стрілки умовного годинника вперед у 2018 р. (2 хв. до полуночі) стало зростання напруженості в світі**, особливо вчені підкреслили небезпеку триваючих ядерних випробувань Північною Кореєю. Серед іншого **до кінця світу людство неухильно наближає проблема кліматичних змін**, відзначають вчені. **23 січня 2020 р. «Годинник Судного дня» офіційно переведено вперед ще на 20 секунд**. Тепер він показує 23:58:20. Таким чином, **до часу апокаліпсису залишилося всього 100 секунд**. **На даний момент це найближче до півночі положення стрілок «Годинника Судного дня» за всю історію**, з моменту його створення у 1947 році.



ТЕОРІЯ МАЛЬТУСА

- *Томас Роберт Мальтус* (1766-1834) - видатний представник класичної політичної економії Англії.
- Свої ідеї виклав у книзі під назвою «Досвід про закон народонаселення», яка анонімно опублікована у 1798 р.
- У роботі провозголошено три основні тези.
- *1) Через біологічну здатності людини до продовження роду його фізичні здібності використовуються для збільшення своїх продовольчих ресурсів.*
- *2) Народонаселення суворо обмежене засобами існування.*
- *3) Зростання народонаселення може бути зупинене лише зустрічними причинами, які зводяться до моральної стриманості або нещастя (війни, епідемії, голод) які є найбільш вірогідними засобами обмеження народжуваності і скорочення розмірів сімей.*
- Мальтус доходить висновку, що *якщо зростання населення не затримується якими-небудь причинами, то населення буде подвоюватися кожні чверть століття, тобто зростати в геометричній прогресії, а засоби існування - в арифметичній.*
- Ґрунтуючись на цьому висновку Мальтус описував таке явище як «мальтузіанська пастка» - типова для доіндустріальних суспільств ситуація, що періодично повторюється, в результаті якої *зростання населення в кінцевому рахунку обганяє зростання виробництва продуктів харчування*. Тому в довгостроковій перспективі *не відбувається ні зростання виробництва продуктів харчування на душу населення, ні поліпшення умов існування переважної більшості населення, а навпаки - воно залишається жити впроголодь.*
- Загалом *теорія Мальтуса досить коректно описує закономірності економіко-демографічної динаміки доіндустріальних суспільств* і продемонструвала свою високу пояснювальну здатність стосовно до них, хоча для ефективного використання її для пояснення динаміки сучасних суспільств (навіть у країнах Третього світу), вона потребує найсерйозніших модифікацій.

ЛЮДСТВО ЧЕКАЄ АПОКАЛІПСИС???

•Мозковий центр - «*Римський клуб*» був створений у 1965 році в маєтку Девіда Рокфеллера в Белладжіо (Італія) під час Міжнародної конференції під назвою «Умови світового порядку». Учасники конференції в кількості 21-го людини, представлені «різними фахівцями, письменниками і вченими», обговорювали в ході зборів роль «інтелектуалів» у формуванні нового світу. Їх наступна серйозна зустріч відбулася в 1968 році в Римі. На ній були присутні вже 75 чоловік. Тоді ж з'явилося і офіційна назва - «Римський клуб», а до складу організації увійшли високопоставлені політики і представники всіх областей розвитку людської цивілізації. Результати роботи клубу опубліковані через 21 рік у книзі під назвою «*Перша глобальна революція*». Прогноз розвитку людства даний клубом, який підготував Массачусетський технологічний інститут був апокаліптичним. Основною тезою було те, що скорочення невідновлюваних ресурсів, що наближається, буде впливати на всі інші фактори. Скорочення ресурсів, як передбачалося, відбудеться вже в 1970-х, а до 2015 року, виробництво продовольства і світова промисловість знизяться, що призведе до скорочення світового населення. Друга доповідь Римському клубу (1974) була підготовлена американським математиком М. Мессаровічем і німецьким механіком Е. Пестелем. Вона викладена у книзі «*Людство на роздоріжжі*». У 1991 році з'являється книга «*Перша глобальна революція*». В подальшому розрахунки були підтверджені іншими дослідницькими групами.

•Апокаліптичний сценарій сьогодні більш не актуальний, але *новий Римський клуб знову прогнозує закінчення росту промисловості, цього разу до 2050 року. Стагнація буде супроводжуватися глобальною рецесією, яка призведе до катастрофічного скорочення кількості населення.*

ТЕХНОЛОГІЧНІ УКЛАДИ

Земна цивілізація у своєму розвитку пройшла цілий ряд доіндустріальних і не менше 6-ти індустріальних **технологічних укладів**. У зв'язку з науковим і техніко-технологічним прогресом відбувається перехід виробництва від більш низьких укладів до більш високих, прогресивних. Починаючи з промислової революції 18 століття звичайно виділяють **6 технологічних укладів**. Життєвий цикл технологічного укладу охоплює майже століття, при цьому період його домінування в розвитку економіки складає близько 40 років.

Технологічний уклад - сукупність технологій, характерних для певного рівня розвитку виробництва. Сукупність сполучених виробництв, які мають єдиний технологічний рівень, що розвиваються синхронно.

Комплекс базових технічно пов'язаних виробництв утворює **ядро технологічного укладу**. Технологічні нововведення, що визначають формування ядра технологічного укладу і революційно змінюють економіку, отримали назву **ключовий фактор**. Галузі, що інтенсивно використовують ключовий фактор і які відіграють провідну роль у поширенні нового технологічного укладу, є його **несучими галузями**.

ТУ	Роки	Основний ресурс	Ключові фактори	Технологічне ядро
I	1780–1830	Енергія води	Текстильні машини	Текстиль, виплавка чавуну; обробка заліза, водяний двигун, канат
II	1830–1880	Енергія пари, вугілля	Паровий двигун	Залізниця, пароплави; вугільна і станкоінструментальна промисловість, чорна металургія
III	1880–1930	Електрична енергія	Електродвигун, сталеливарна промисловість	Електротехніка, важке машинобудування, сталеливарна промисловість, неорганічна хімія, лінії електропередач
IV	1930–1970	Енергія вуглеводнів, початок ядерної енергетики	Двигун внутрішнього згорання, нафтохімія	Автомобілебудування, літакобудування, ракетобудування, кольорова металургія, синтетичні матеріали, органічна хімія, виробництво і переробка нафти (Росія, Україна)
V	1970–2010	Атомна енергія	Мікроелектроніка, газифікація	Електронна промисловість, комп'ютери, оптична промисловість, космонавтика, телекомунікації, роботобудування, газова промисловість, програмне забезпечення, інформаційні послуги
VI	2010–2050	Термоядерна енергія, енергія сонця?	Квантово-вакуумні технології	Нано -, біо-, інформаційні технології. Мета: медицина, екологія, підвищення якості життя (Південна Корея, Японія, Америка, Європа)

ТЕХНОЛОГІЧНІ УКЛАДИ

•**Доіндустріальні уклади** базувалися на мускульній, ручній, кінній енергетиці людини і тварин. Усі винаходи того часу, які дійшли і до нашого часу, стосувалися підсилення м'язової сили людини і тварин (гвинт, важіль, колесо, редуктор, гончарний круг, міхи в кузні, механічна прядка, ручний ткацький верстат) .

•**Початок індустріальних періодів технологічних укладів припадає на кінець XVIII - початок XIX століть.**

•**Перший технологічний уклад** характеризується використанням енергії води в текстильній промисловості, водних млинів, приводів різноманітних механізмів. **Була проведена механізація фабричного виробництва.**

•**Другий технологічний уклад** - використанням енергії пари та вугілля: парова машина, паровий двигун, паровоз, пароплави, парові приводи прядильних і ткацьких верстатів, парові млини, паровий молот. Відбувається поступове звільнення людини від важкої ручної праці. **У людини з'являється більше вільного часу, вона звільняється від важкої ручної праці.**

•**Третій технологічний уклад.** Використання електричної енергії, важке машинобудування, електротехнічна і радіотехнічна промисловість, радіозв'язок, телеграф, побутова техніка. **Підвищення якості життя.**

•**Четвертий технологічний уклад.** Використання енергії вуглеводнів. Широке використання двигунів внутрішнього згоряння, електродвигуни, автомобілі, трактори, літаки, синтетичні полімерні матеріали, початок ядерної енергетики.

•**П'ятий технологічний уклад.** Електроніки та мікроелектроніка, атомна енергетика, інформаційні технології, генна інженерія, початок нано- та біотехнологій, освоєння космічного простору, супутниковий зв'язок, відео- і аудіотехніка, Інтернет, стільникові телефони. **Глобалізація з швидким переміщенням продукції, послуг, людей, капіталу, ідей.**

•**Шостий технологічний уклад.** Настає в нахлест на 5-ий технологічний уклад, **його називають постіндустріальним. Нано- та біотехнології, наноенергетика, молекулярна, клітинна і ядерна технології, нанобіотехнології, біоміметика, нанобіоніка, нанотроніка та інші нанорозмірні виробництва;** нова медицина, побутова техніка, види транспорту і комунікацій, використання стовбурових клітин, інженерія живих тканин і органів, відновна хірургія і медицина. **Істотне збільшення тривалості життя людини і тварин аж до безсмертя.**

•Країни, суспільства, що швидше відчували новації нового технологічного укладу, швидше входять в нього і виявляються лідерами (Англія - 2-ий технологічний уклад, США, Японія, Корея - 4-ий технологічний уклад, США, Китай, Індія - 5-ий технологічний уклад).

•Деякі вчені вже починають говорити про швидке (в 21- му столітті) настання **сьомого технологічного укладу**, для якого центром буде **людина, як головний об'єкт технологій.**

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЯДРО ШОСТОГО УКЛАДУ

*Мета сучасної технологічної революції:
підвищення якості життя людини,
збільшення строку життя аж до безсмертя*

*Будь-яка достатньо розвинена
технологія не відрізняється від
магії*

А.К. Кларк

- **Нанотехнології**
- **Інформаційні технології**
- **Біотехнології**

Якщо б автомобілебудування розвивалося зі швидкістю еволюції напівпровідникової промисловості, то сьогодні Ройлс Ройс міг би проїхати півмільйона миль лише на одному галоні бензину і дешевше було б його викинути, аніж заплатити за паркування.

Годон Мур, один з засновників фірми Intel

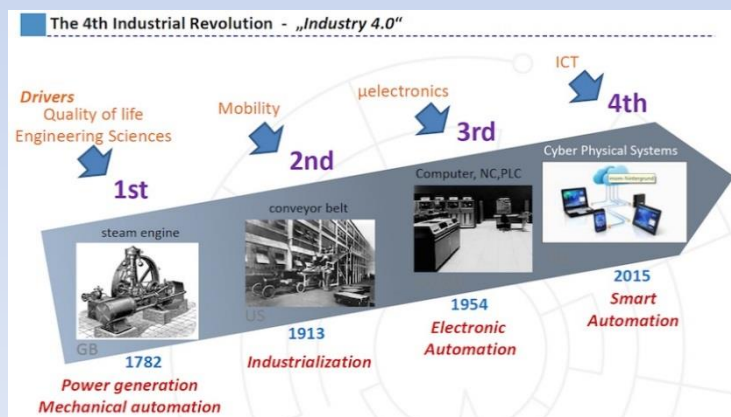
ІНДУСТРІАЛЬНІ РЕВОЛЮЦІЇ

• **Перша індустріальна (промислова) революція** була обумовлена появою *парових машин*. Вона обплутала світ інфраструктурою залізниць. Революційний процес йшов досить довго, винахід *парових машин* було зроблено в XVII столітті але революція продовжувалася в деяких країнах і в XVIII, XIX століттях.

• **Друга індустріальна революція** була пов'язана з появою *конвеєра і електрики*. Класичний приклад - це заводи "Форда". Вона створила мережу шосе і кабелів у всьому світі.

• **Третя революція** - середина XX століття, *поява комп'ютерних технологій, цифрова революція, автоматизація виробництва*. Ця революція в більшій мірі була пов'язана з інформатизацією і створенням інтернету. За прогнозами **Дж. Ріфкіна**, найближчим часом логіка інтернету буде перенесена на енергетику та інші сфери життя. **Третя індустріальна революція - це мільярди малих джерел енергії від вітру, сонця, води, геотермії, теплових насосів, біомаси**. Кожна країна завдяки їм зможе стати енергетично самодостатньою за умови, що ці розпорошені джерела виявляться пов'язаними між собою і взаємно доповнюватися в межах континентальних мереж.

• **Четверта революція - впровадження кіберфізичних систем і персоналізованого виробництва**. Вона поєднує засоби виробництва і власне продукцію. Якщо зараз всі процеси виробництва контролює людина через комп'ютер, то у **четвертій промисловій революції продукт, який виробляється, сам може взаємодіяти з верстатом, з конвеєром, з споживачем, а сам споживач може на це впливати**.



Один з елементів четвертої промислової революції - **кастомізація**, можливість виготовляти продукт, необхідний конкретно вам, з тими побажаннями, які ви хочете врахувати, і робити це максимально простим способом, взаємодіючи безпосередньо з виробництвом, з конвеєром. Це перекреслює все XX століття, епоху масового виробництва, масового штампування: **людство переходить від масового виробництва до індивідуального**. Тут же мова йде про те, що ви, наприклад, просканувавши свою ногу, можете зробити черевик саме тільки для себе.

ТРЕТЯ ІНДУСТРІАЛЬНА РЕВОЛЮЦІЯ

- Починаючи з 2010 р. у світі почалася *третя індустріальна революція* (Third Industrial Revolution).
- Третя індустріальна революція* - це комплексна, глибока трансформація систем, структур, інститутів, відносин і технологій, які радикально змінюють способи, механізми, зміст того, як люди організують виробництво, обмін, споживання, навчання, комунікації та відпочинок (*Джеремі Ріфкін, Jeremy Rifkin*).
- Третя індустріальна революція формується поєднанням наступних факторів:*
 - 1) переходом на поновлювані джерела енергії (сонце, вітер, водні потоки, геотермальні джерела);



- 2) перетворенням існуючих і нових будівель (як промислових, так і житлових) в міні-заводи з виробництва енергії (за рахунок обладнання їх сонячними батареями, міні- вітряками, теплонасосами);

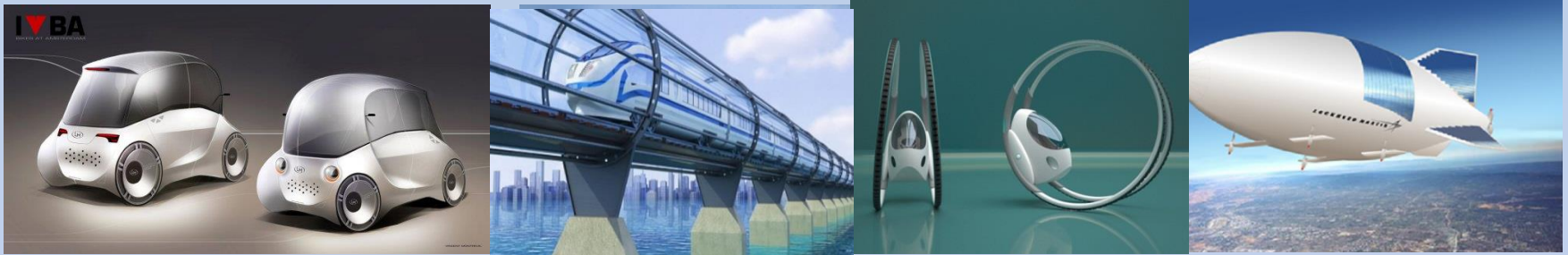


- 3) розвитком і впровадженням технологій енерго-, ресурсозбереження (як виробничого, так і «домашнього») - повною утилізацією залишкових потоків і втрат електроенергії, пари, води, будь-якого тепла, промислових і побутових відходів та інших;

В 2010 р. *Джеремі Ріфкін* опублікував бестселер "*Третя індустріальна революція*". Він негайно був прийнятий Обамою, включений в комісію з індустріалізації Америки. До неї увійшли співробітники Білого дому, керівники DARPA, IARPA, розвідки, найбільших корпорацій. Прочитав цей твір прем'єр Китаю Лі Кецянь розпорядився терміново видати 250 тисяч примірників і розіслати керівникам різних рівнів, запросив Ріфкіна в Пекін, призначив своїм консультантом. Серед клієнтів Ріфкіна - Ангела Меркель, інші європейські лідери.

ТРЕТЯ ІНДУСТРІАЛЬНА РЕВОЛЮЦІЯ

•4) переведенням всього автомобільного (легкового та вантажного) і всього громадського транспорту на електротягу на основі водневої енергетики, а також розвитком нових економічних видів вантажного транспорту, таких як дирижаблі, hyperloop, наземний та підземний пневмотранспорт та ін.;



•5) переходом від промислового до локального і навіть «домашнього» виробництва більшості побутових товарів за допомогою розвитку технології 3D - принтерів;



•6) переходом від металургії до композитним матеріалам (особливо нано- матеріалів) на основі вуглецю, а також заміною металургії на технологію 3D-друку на основі селективної лазерної плавки (SLM - Selective Laser Melting);

•7) відмовою від тваринництва, переходом до виробництва «штучного м'яса» з клітин тварин з використанням 3D - біопринтерів;

•8) переведенням частини сільського господарства в міста на базі технології «вертикальних ферм» (Vertical Farm).

ІНДУСТРІЯ 4.0

• Вперше концепцію **Четвертої промислової революції**, або «**Індустрії 4.0**», сформулювали на **Ганноверській виставці в 2011 році (Клаус Шваб**, засновник і голова Всесвітнього економічного форуму), визначивши її як **засіб підвищення конкурентоспроможності обробної промисловості Німеччини** через посилену інтеграцію «**кіберфізичних систем**», або CPS, в заводські процеси. **Концепція представлена світовому загалу у Давосі на економічному форумі у 2016 р.**

• «**Кіберфізичні системи**» це комплекси, що складаються з природних об'єктів, штучних підсистем і контролерів. Поняття введено у 2006 р. директором по вбудованим і гібридним системам Національного наукового фонду США Хелен Джилл. Передбачається, що **ці системи будуть об'єднуватися в одну мережу, зв'язуватися одна з одною в режимі реального часу, самонастроюватися і вчитися новим моделям поведінки**. Такі мережі зможуть вибудовувати виробництво з меншою кількістю помилок, взаємодіяти з виробленими товарами і при необхідності адаптуватися під нові потреби споживачів. Наприклад, **виріб в процесі випуску зможе сам визначити обладнання, здатне призвести його**. І все це **в повністю автономному режимі без участі людини**. Таким чином, якщо автоматизація виробництва, що почалася в середині ХХ століття, мала **вузьку спеціалізацію**, при якій системи управління розроблялися для кожної сфери і підприємства окремо і не масштабувалися, то **в основі нової технологічної революції буде лежати розвиток глобальних промислових мереж**.

• **Індустрія 4.0» - справжня знахідка для виробників, адже вона дозволяє виробляти одиничний продукт за цінами масового!!!!** Сформульовано 6 принципів проектування систем в рамках цієї концепції. **Це інтероперабельність, віртуалізація, децентралізація, можливість роботи в режимі реального часу, орієнтація на надання послуг і модульність.**

• Першою на шлях «Індустрії 4.0» встала **Німеччина**, яка в рамках розробленої «високотехнологічної стратегії» почала інвестувати в нову інтернет-інфраструктуру і створення глобальних стандартів **по 40 млрд. євро на рік**. Варіанти стратегії отримали загальну назву **High-Tech Strategy 2020 Action Plan**. До 2016 року німецькі промисловці збираються представити перші виробничі кейси, що працюють, **а до 2030 року Німеччина планує повністю перейти на систему інтернетизованої промисловості**. Аналогічні програми впроваджуються і в інших розвинених країнах - **Китаї, Південній Кореї і США**.

• Згідно з опитуванням 800 лідерів технологічних компаній, проведеним спеціально для форуму в Давосі, ключовими драйверами змін стануть **хмарні технології, розвиток способів збору і аналізу Big Data, краудсорсінг, шерінгова економіка і біотехнології**. Серед інших прогнозів експертів лідирують **«розумний» одяг, підключений до інтернету, безпілотні автомобілі і медицина, заснована на 3D-друці**. Крім того, 45% респондентів вважають, що в 2025 році **в радах директорів великих компаній може бути присутнім штучний інтелект**.

КЛАСИФІКАЦІЯ ПДЕ

•Одним із пріоритетних напрямів розвитку енергетики в XXI ст. є **широке використання ПДЕ**, що мають величезні ресурси. Це дозволить знизити негативний вплив енергетики на довкілля, підвищити енергетичну та екологічну безпеку.

•**До традиційних джерел енергії** відносяться:

непоновлювальні, що включають вугілля, природний газ, нафту, уран;

поновлювальні, що включають гідроенергетику, деревину у вигляді дров.

•**Сучасна енергетика в основному базується на невідновлюваних джерелах енергії**, які, маючи обмежені запаси, є вичерпаними і не можуть гарантувати стійкий розвиток світової енергетики на тривалу перспективу, а їх використання - один з головних чинників, що призводить до глобального погіршення стану навколишнього середовища та його кризового стану .

До нетрадиційних (альтернативних) відносяться поновлювальні джерела енергії , які використовують **потоки енергії Сонця, енергію вітру, теплоту Землі, біомасу, енергію морів і океанів, річок**, існуючі постійно або періодично у довкіллі і в осяжній перспективі відповідно практично невичерпні. Всі ПДЕ поділяються на дві групи, що використовують **пряму енергію сонячного випромінювання і її вторинні прояви** (непряма сонячна енергія), а також енергію взаємодії Сонця, Місяця і Землі. Результатом непрямої діяльності Сонця є відповідні ефекти в атмосфері, гідросфері та геосфері у вигляді енергії вітру, гідроенергії, енергії течій, хвиль, приливної енергії, теплової енергії довкілля та ін. (Рис.).

ОСНОВНІ ВИДИ ПДЕ

• За класифікацією ООН (1978 р), до нетрадиційних і поновлювальних джерел енергії відносяться наступні:

• 1) торф;

• 2) енергія біомаси, яку отримують з різних відходів: сільсько-господарських, лісового комплексу, комунально-побутових і промислових;

• 3) енергетичні плантації.

• До них відносяться сільськогосподарські культури, деревно-чагарникова і трав'яниста рослинність;

• 4) енергія вітру;

• 5) енергія сонця;

• 6) енергія водних потоків на суші, що використовується на міні- і мікро-ГЕС - гідроелектростанціях потужністю менше 1 МВт;

• 7) середньо і високопотенціальна геотермальна енергія (гідротермальні і парогідротермальні джерела);

• 8) енергія морів і океанів - припливи і відливи, течії, хвилі, температурний градієнт, градієнт солоності;

• 9) низькопотенціальна теплова енергія землі, повітря та води, промислових і побутових стоків.

Розвинені країни протягом багатьох років щорічно вкладають в розвиток альтернативних джерел енергії мільярди доларів. Існують державні програми підтримки розвитку поновлюваних джерел енергії. 2018 рік став рекордним для світової альтернативної енергетики: **загальна потужність виробленої з відновлювальних джерел енергії у 2018 р. склала 13,4 ГВт, що в 2,2 рази більше ніж у 2017 р., а обсяг інвестицій досяг 286 млрд \$.** У найближчі 10 років прогнозується щорічне зростання світових обсягів виробництва електроенергії з традиційних джерел на 2,8 %, а з альтернативних – на 9,2 %.

•За даними SolarPower Europe, в 2019 р. в Європі було введено в експлуатацію більше нових сонячних батарей, ніж будь-яких інших технологій виробництва електроенергії. В даний час приблизно 5% потреб ЄС в електроенергії забезпечуються за рахунок установок, що використовують енергію сонця. У 2018 р. загальний потужність діючих в Євросоюзі систем фотовольтаїки становила 115 ГВт. У 2019 р. було введено в дію ще майже 17 ГВт, що в два рази більше, ніж роком раніше. Головною причиною нового підйому на ринку стало різке падіння цін на сонячні батареї. Ціна на них сьогодні становить менше чверті від тієї, що була в 2010 році. В результаті знизилася і витрати на виробництво електрики з використанням енергії сонця. Крістіан Брейер (Christian Breyer), професор Лаппенрантаского технологічного університету (LUT) в Фінляндії, очікує в найближчі 20 років падіння вартості фотоелектричних перетворювачів ще в два рази. "До 2040 року електроенергія, що виробляється великими фотоелектричними станціями в багатьох сонцем регіонах планети, буде коштувати вже менше цента за кіловат-годину", - пояснив Брейер DW.

•Вчені з LUT разом з експертами незалежної організації Energy Watch Group (EWG) змоделювали, як міг би виглядати оптимальний варіант кліматично нейтрального енергопостачання в світі і в Європі. Згідно з дослідженням, до 2050 року сонячна енергія могла б покривати 62% всіх енергетичних потреб Європи, вітрова - 32%, гідроенергія - 4% і біоенергія - 2%. Для цього буде потрібний подальший розвиток галузі. За словами одного зі співавторів дослідження, президента Energy Watch Group Ханса-Йозефа Фелла (Hans-Josef Fell), загальна потужність фотоелектричних установок в ЄС має зрости приблизно до 5700 ГВт з нинішніх 132 ГВт. "При такому сценарії перехід на стовідсоткове використання поновлюваних джерел енергії (ВДЕ) можливий, і обійдеться він не дорожче сьогоднішньої енергетичної системи", - розповів Фелл DW.

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ПДЕ

• **Основними перевагами ПДЕ** в порівнянні з традиційними непоновлюваними джерелами є:

практично невичерпні ресурси;

зниження негативного впливу на навколишнє середовище, включаючи викиди різних забруднювальних речовин, парникових газів, радіоактивне і теплове забруднення та ін.

• Основними факторами, що **обмежують використання нетрадиційних ПДЕ**, є:

мала густина енергетичного потоку, яка складає, наприклад, для сонячної енергії на поверхні землі $1,36 \cdot 10^{-3}$ МВт/м², вітрової при швидкості вітру 10 м/с - $6 \cdot 10^{-4}$ МВт/м², геотермальної - $3 \cdot 10^{-8}$ МВт/м², в той час як для енергії АЕС - 0,2 МВт/м²;

значна нерівномірність вироблення енергії і її використання в часі;

відносно висока капіталомісткість енергетичних установок і вартість вироблюваної електроенергії.

• **Необхідність широкого використання ПДЕ визначається швидким зростанням потреби в електричній енергії**, яка за прогнозами має збільшитися в порівнянні з 2000 р. в 2 рази до 2030 р. і в 4 рази до 2050 р.;

вичерпанням в осяжному майбутньому розвіданих запасів органічного палива;

кризовим станом навколишнього середовища у зв'язку із забрудненням оксидами азоту і сірки, вуглекислим газом, пилоподібними частинками від згоряння палива, радіоактивним і тепловим забрудненням та ін.

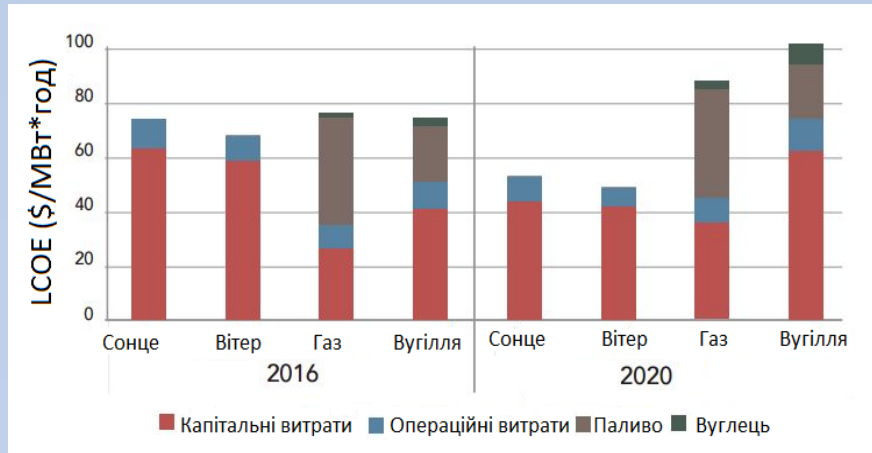
• ПДЕ мають принципові відмінності, тому їх ефективне використання є можливим на основі науково розроблених принципів перетворення енергії ПДЕ в види, необхідні споживачам. У навколишньому середовищі завжди існують потоки поновлюваної енергії, тому в процесі розвитку енергетики необхідно орієнтуватися на місцеві енергоресурси, вибираючи найбільш ефективні з них. **Використання ПДЕ має бути багатоваріантним і комплексним, що дозволить прискорити економічний розвиток регіонів.** Наприклад, хорошою базою для використання ПДЕ можуть служити агропромислові комплекси, де відходи тваринництва і рослинництва є сировиною для отримання біогазу, а також рідкого і твердого палива, виробництва добрив.

• Для **ефективного планування енергетики на поновлювальних енергоресурсах необхідно:**

по-перше, *систематичне дослідження навколишнього середовища*, аналогічне дослідженням геологічного характеру при пошуках нафти чи газу,

по-друге, *вивчення потреб конкретного регіону в енергії для промислового, сільськогосподарського виробництва та побутових потреб*. Зокрема, щоб вибрати найбільш економічне джерело енергії, необхідно знати структуру споживачів енергії.

СУЧАСНІ ТРЕНДИ



• Чиста енергетика сьогодні – це багатомільярдна галузь зі сформованою конкуренцією серед постачальників, розвиток якої стимулюється законодавчо в цілому світі та підкріплений зобов'язаннями, прийнятими в Парижі в 2015 р. Попри минулорічне 18% (\$ 287,5 млрд) зменшення інвестицій в сектор (або 23% - без врахування великої гідроенергетики) порівняно з піковим 2015 р. (\$ 348,5 млрд.), **інвестиції в ПДЕ вдвічі перевищили фінансування викопного палива в 2016 р., а частка «зелених» технологій в світі зростає з 10,3% в 2015 р. до 11,3% в 2016 р.** В той же час **кількість сонячних та вітроустановок встановили рекорд і склали 127 ГВт.** Енергія вітру, сонця, відходів, геотермальна, біомаса, малі гідроелектростанції додали 138,5 ГВт, в порівнянні з 127,5 ГВт в 2015 р. Падіння інвестицій в доларах здебільшого було зумовлене падінням вартості технологій. Наприклад, **середні капіталовкладення в доларах за МВт впали більш ніж на 10% для сонячної та вітроенергетики** (Середня вартість капіталу для фотоелектричних проєктів, що будувалися в 2016 р. була на 13% нижче, ніж в 2015 р., в той час як вітрових – на 10 - 11,5%).

• **Коста-Ріку можна вважати першою країною, що повністю перейшла на відновлювану енергію.** Такі американські міста як Аспен, Берлінгтон, Вермонт також пішли за «зеленим» трендом. Наприкінці минулого року **Лас-Вегас став найбільшим містом США, яке відмовилось від традиційної енергетики.** До 2020 р. повністю планує перейти на чисту енергію Шотландія та Мальдіви. **В Ісландії** вже досягнуто 100% виробництва електроенергії та 85% теплової енергії за рахунок ПДЕ. Такий активний учасник декарбонізації як **Німеччина, на сьогодні вже має практику використання близько 85% ПДЕ-енергії.**

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ПДЕ

Однією з найважливіших характеристик відновлюваних джерел енергії є їх **енергетичний потенціал** - показник, що визначає кількість енергії, властиву відповідному виду ПДЕ. Для оцінки енергетичних ресурсів ПДЕ, можливих для використання, розрізняють такі види енергетичного потенціалу:

теоретичний, що характеризує загальна кількість енергії;

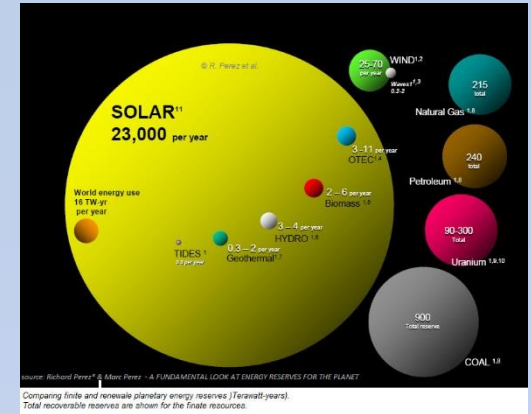
технічний - частина теоретичного потенціалу, яку принципово можна використовувати за допомогою сучасних пристроїв;

економічно ефективний - частина технічного потенціалу, яку в даний час доцільно використовувати, виходячи з економічних, соціальних, екологічних та інших факторів.

Орієнтовні показники енергетичних ресурсів ПДЕ в світі показані в табл.

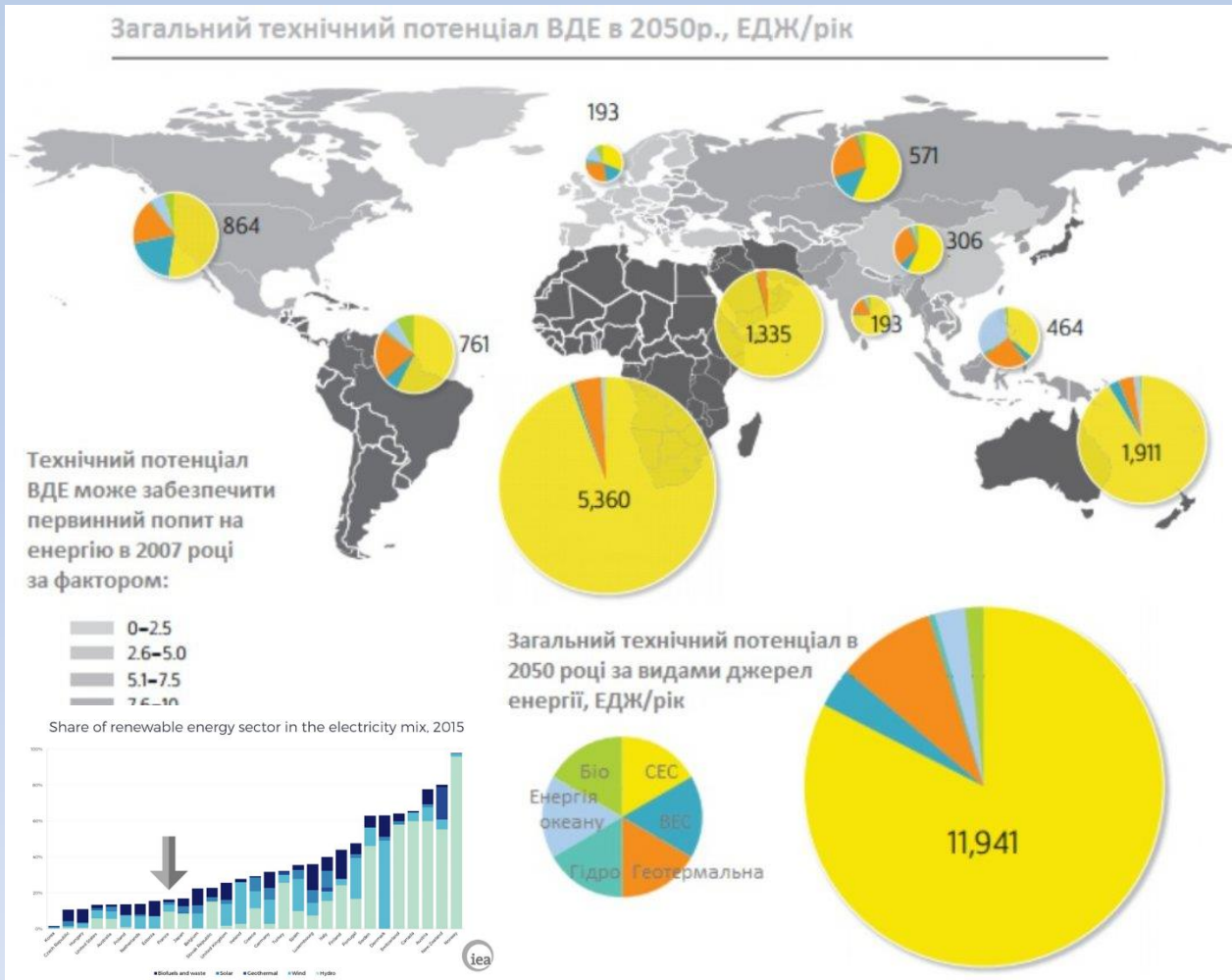
Таблиця. Енергетичний потенціал ПДЕ

* Гідроенергоресурси водотоків дані для великої і малої гідроенергетики.



Поновлювані енергоресурси	Показники, млрд. т ум. пал./рік	
	Технічний	Економічний
Променева енергія Сонця	5	1
Теплова енергія морів і океанів	1	0,1
Енергія вітру	5	1
Гідроенергія, у тому числі:		
енергія водотоків*	4,5	2,6
енергія хвиль	0,05	0.01
енергія припливів	0,7	—
Енергія біомаси (за виключенням дров)	2,55	2,0
Геотермальна енергія	0,4	0,2

ТЕХНІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ПДЕ КРАЇН СВІТУ



Основними джерелами покриття попиту на електроенергію в Україні у 2018 р. залишаються:

АЕС - 84 млрд кВт-год (-0,5% до балансу 2017 р.),

ТЕС - 49,8 млрд кВт-год (+ 1,6%),

ТЕЦ і когенераційні установки - 12,1 млрд кВт-год (+ 5,1%),

ГЕС - 8 млрд кВт-год (-4,5%).

Передбачається, що альтернативні джерела (**ВЕС, СЕС, інші**) наростять випуск електроенергії на 20,8% - до 2 млрд кВт-год,

ГАЕС (гідроак.) - на 6,2%, до 1,8 млрд кВт-год,

блок-станції - на 5,3%, до 1,6 млрд кВт-год.

АВТОМОБІЛІ ЯК ЗАБРУДНЮВАЧІ ПОВІТРЯ

• У 2009 році приблизно 25% викидів CO_2 в атмосферу Землі вироблялося в результаті роботи різного роду транспорту. За оцінкою МЕА, вже до 2050 року це число подвоїться і продовжить рости в міру того, як в країнах, що розвиваються буде збільшуватися кількість особистих автомобілів. Крім вуглекислого газу в атмосферу викидаються оксиди азоту, відповідальні за збільшення захворюваності на астму, оксиди сірки, відповідальні за кислотні дощі тощо.

ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ ВІД ТРАНСПОРТУ



БЛИЗЬКО 1,000,000,000 АВТОМОБІЛІВ
зараз експлуатується на Землі

У середньому при пробігу 15 тис. км на рік кожен автомобіль спалює 2 т палива і близько 26 – 30 т повітря, у тому числі 4,5 т кисню, що в 50 разів більше річних потреб людини

1 АВТОМОБІЛЬ ВИКИДАЄ:

700 КГ/РІК
чадний газ (CO)

40 КГ/РІК
діоксид азоту (NO_2)

230 КГ/РІК
незгорілі вуглеводні

2-5 КГ/РІК
тверді дрібнодисперсні частки (PM_{10} , $PM_{2.5}$)



2,5 - 3 КГ

свинцю на рік викидує в атмосферне повітря один вантажний автомобіль середньої вантажопідйомності

ЗАСТОСУВАННЯ ЕТИЛОВАНОГО БЕНЗИНУ ПОВ'ЯЗАНЕ З ЗАБРУДНЕННЯМ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДОСИТЬ ТОКСИЧНИМИ СПОЛУКАМИ СВИНЦЮ

БЛИЗЬКО 70% СВИНЦЮ

доданого до бензину з етиловою рідиною, потрапляє у вигляді сполук до атмосфери з відпрацьованими газами

30% СВИНЦЮ

осідає на землі відразу з вихлопної труби автомобіля

40% СВИНЦЮ

залишається в повітрі

ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ТРАНСПОРТОМ



СМОГ І САЖА → ВПЛИВ НА ЗДОРОВ'Я ТА ДОБРОБУТ | CO₂ ТА ІНШІ ПАРНИКОВІ ГАЗИ → ЗМІНА КЛІМАТУ



ЯК ЗМЕНШИТИ ВИКИДИ У ПОВІТРЯ ВІД ТРАНСПОРТУ?

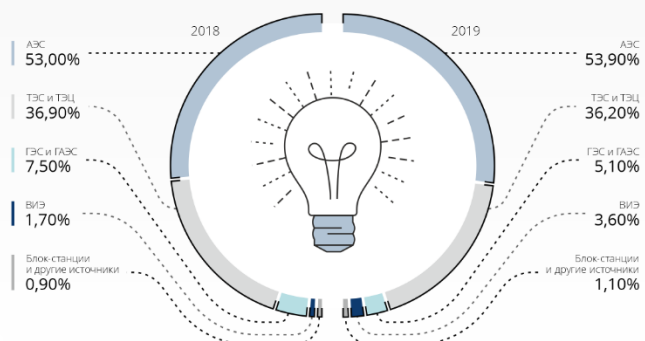
ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ → ПОЛІПШЕННЯ ЗДОРОВ'Я ТА ЧИСТІШЕ ПОВІТРЯ



За матеріалами кара.рф



Структура производства электроэнергии (в процентах от общего количества выработанной энергии)

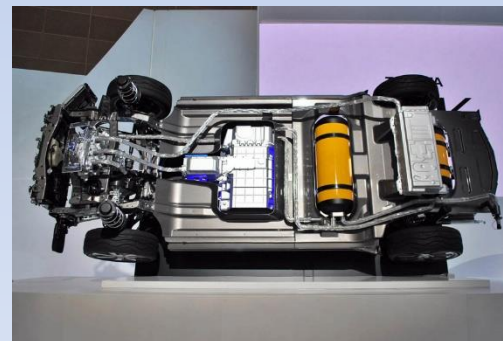


ВОДНЕВІ ДВИГУНИ

Перший водневий двигун розробив і створив *американський інженер і вчений Браун*. Перша компанія, яка використовувала даний двигун, була *японська «Honda»*. Двигуни на водневому паливі *практично безшумні*, тому на автомобілях, які експлуатуються або будуть входити в експлуатацію, встановлюється так званий «штучний шум автомобіля», - для запобігання аварій на дорогах. Японський автомобільний гігант Toyota у 2015 р. почав *серійне виробництво першого в світі автомобіля з водневим двигуном*. Новий *седан «Mirai»* працює тільки на водні. Toyota почала продавати свій перший водневий седан «Mirai» всередині країни в грудні, з 2016 р. почався продаж в США. Ціна новинки в Японії ~ \$ 60 тис. При цьому уряд країни оголосив, що всі покупці екологічних седанів отримають від держави субсидії в розмірі \$ 17 тис. Оскільки «Mirai» їздить на водні, йому потрібні спеціальні заправні станції. Сам *процес заправки автомобіля займає всього кілька хвилин*. При цьому, *на повному баку седан може проїхати близько 650 км, а вартість заправки в розрахунку на 1 км становить всього \$ 0,1*, максимальна швидкість – 178 км/год. Енергія в унікальному двигуні автомобіля виробляється за рахунок реакції окислення водню усередині електрохімічного генератора. Потужність електромотора складає *136 кінських сил*. Автомобілі з силовими установками на водневих паливних елементах виробляють і випробують: Ford Motor Company - Focus FCV; Honda - Honda FCX; Nissan - X-TRAIL FCV (паливні елементи компанії UTC Power); Toyota - Toyota Highlander FCHV, Toyota Mirai; Volkswagen; General Motors; Daimler AGDaimler; Toyota - FCHV-BUS.



Седан «Mirai» фірми Toyota



Баки з вуглепластика зі стисненим під тиском 680 атмосфер воднем розташовуються під днищем Toyota Mirai

ПОЇЗДИ НА ВОДНІ



Перший в світі поїзд на водневих паливних елементах Coradia iLint виконав 16 вересня 2018 р., свій тестовий рейс в Бремерфёрде (земля Нижня Саксонія). Вже з 17 вересня він вийде на стандартний маршрут і зв'яже це місто з Куксхафені, Бремерхафені і Букстехуді.

На даху поїзду встановлена цистерна з водневим паливом і паливний елемент. Він перетворює енергію водню в електричний струм, не завдаючи шкоди навколишньому середовищу. Поїзд в змозі розвинути швидкість до 140 кілометрів на годину. На одній заправці Coradia iLint може подолати до тисячі кілометрів. Транспортний засіб було розроблено і виготовлено в німецькому місті Зальцгіттер французькою компанією Alstom - європейським першопрохідником в області високошвидкісних електропоїздів. *З 2021 року 14 таких поїздів будуть виконувати регулярні рейси за маршрутом Букстехуде - Куксхафен.* Земельне транспортний міністерство планує в найближчому майбутньому повністю замінити дизельні регіональні поїзди водневими. На ці цілі виділені 81,3 млн євро.

АЛЮМОЕНЕРГЕТИКА

• Концепція **алюмоенергетики**, полягає в використанні алюмінію як проміжного носія енергії в транспортних, стаціонарних і портативних додатках.

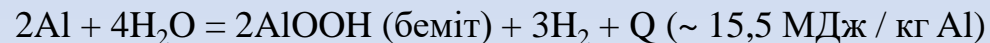
• При цьому використовується два підходи:

прямого окислення алюмінію в паливних елементах на основі повітря і алюмінію; технології взаємодії алюмінію і води.

• В останньому випадку окислення алюмінію відбувається внаслідок взаємодії його з водою, внаслідок чого виділяється водень, який використовується як паливо для генерації теплової та електричної енергії.

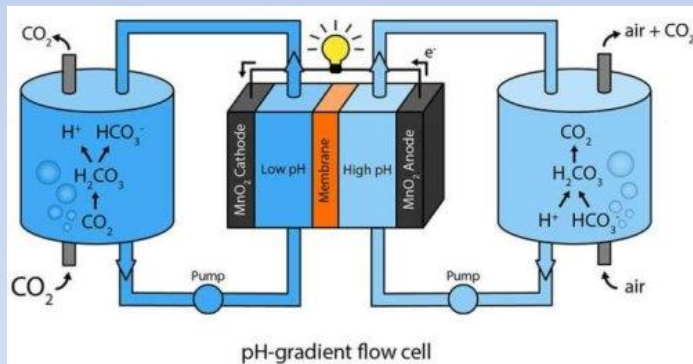
• В рамках першого підходу вченими був розроблений цілий ряд пристроїв, від електрохімічних аналізаторів різного призначення до складної енергетичної установки для електричного автомобіля. Така установка включає в себе як електрохімічний генератор на основі повітряно-алюмінієвих елементів, які є в ній основними, так і свинцево-кислотні акумуляторні батареї для підвищення потужності в інтенсивних режимах їзди. При роботі алюмоводневих енергетичних установок, що мають велику потужність, транспортування отриманого водню до споживача не здійснюється, замість цього він генерується у разі виникнення необхідності в місці споживання. **Отримання водню відбувається завдяки реакції алюмінію з водою.** В даний час випробування проходить енергетична установка, яка використовує **в якості реагентів порошки алюмінію і воду, що видає десять кубічних метрів водню у хвилину.**

• Серцем подібної установки служить **реактор, в якому і відбувається реакція окислення алюмінію в умовах високого тиску і температури, в результаті чого виділяється водень, беміт і велика кількість теплової енергії.** Завдяки даним структурного аналізу і проведеним розрахункам можна стверджувати, що реакція в заданих умовах відбувається так, як описано в рівнянні.



• В результаті хімічної реакції **відбувається утворення паро-водневої суміші**, яку направляють для генерації теплової енергії, внаслідок чого відбувається процес конденсації водяної пари. Виділений під час реакції водень в спеціальному паливному елементі перетворюється в електричну енергію, при цьому частина отриманої енергії використовується на потреби самої установки.

СИНТЕТИЧНЕ ПАЛИВО



•Вчені з Німеччини і Фінляндії побудували експериментальну установку для отримання синтетичного палива з вуглекислого газу, що міститься в повітрі, і водню, який виробляється за допомогою електрики від сонячних батарей. Основні компоненти установки розміщуються в стандартних морських контейнерах. **Установка Soletair** створена компанією **INERATEC**, засновниками якої є Технологічний інститут Карлсруе (KIT) і ряд науководослідних організацій з Фінляндії. Система складається з трьох вузлів: **пристрої захоплення вуглекислого газу** (розроблений Центром технічних досліджень Фінляндії, VTT), **блоку електролізу** (створений фахівцями Технологічного університету Лапееенранта, LUT), а також **хімічного реактора** (розробка KIT). Останній **пристрій перетворює компоненти, що надходять від перших двох блоків, в паливо: бензин, дизпаливо і газ.** За словами проф. Томаса Хирта, віце-президента з інновацій та міжнародних зв'язків KIT, створення установки Soletair є успішним прикладом перетворення експериментальних розробок у промисловий продукт. **Дослідна експлуатація установки почнеться до кінця 2016 року на базі центру Biorefinery при Технологічному університеті Лапееенранта.** Дослідження будуть проводитися до 2018 р. завдяки гранту в розмірі 1 млн євро від Фінської агентства фінансування технологій та інновацій (Tekes).

Установка Soletair перетворює вуглекислий газ і водень в синтетичне паливо

ПАЛИВО НА ОСНОВІ АТМОСФЕРНОГО CO₂

• Все більше експертів закликають не тільки переходити на відновлювану енергетику, але і **безпосередньо викачувати CO₂ з атмосфери**. Інакше глобальне потепління не зупинити. Тим більше що ця технологія не просто може врятувати Землю, але і створити прибуткову індустрію.

• На початку жовтня 2018 р. в маленькому італійському місті **Тросе** в тестовому режимі почала працювати **фабрика, яка викачує з атмосфери вуглекислий газ і перетворює його в вуглецево-нейтральне паливо**. Таке ж підприємство з'явилося в канадському **Сквამіш**. А **швейцарська фабрика продає видобутий з повітря CO₂ в навколишні теплиці**. Ці підприємства відкрили два стартапа. Їх творці впевнені, що нова технологія може не тільки врятує світ від глобального потепління, а й створить нові робочі місця, допомагаючи справитися з безробіттям через автоматизацію. «Вся привабливість виловлювання CO₂ з повітря в тому, що можна побудувати таку фабрику де завгодно. А з **видобутого матеріалу можна робити цілий ряд продуктів, від пластика до палива**», - запевняє головний представник Climeworks Луїза Чарльз. Наприклад, взуттєві компанії можуть закуповувати CO₂ для того, щоб зробити подошви. А підприємство по відділенню вуглекислого газу ще й очистить повітря. Поки нова індустрія фокусується на створенні вуглецево-нейтрального палива, яке зробить видобуток CO₂ з повітря максимально вигідним. **Згідно з останніми дослідженнями, вона обходиться в менш, ніж в \$ 100 за тону**. Це все ще дорожче, ніж вартість бареля нафти, але стартапи сподіваються з часом досягти цінового паритету. Однак уже зараз в деяких регіонах ціни на вуглець роблять економічно життєздатною ідею викачування його з атмосфери. Авіакомпаніям вуглецево-нейтральне паливо обійдеться в ту ж суму, що і звичайне реактивне. А стартапи на кшталт **Carbon Engineering** зможуть окупити додаткові витрати за рахунок програми кредитування вуглецю або податку на викиди CO₂. **Каліфорнійська компанія Newlight вже виробляє пластмасу AirCarbon з вуглецю**, виловленого на полігонах і енергетичних підприємствах. Через деякий час вона зможе робити це з CO₂, видобутого прямо з повітря. **А стартап C₂CNT перетворює парникові викиди в нановолокна**. З них можна створювати і велосипеди, і лопаті для вітрових турбін. **Інші компанії перетворюють виловлений вуглекислий газ в метанол для використання в медицині або парфумерної промисловості, а також в руб'ячий корм і навіть бетон**.

ВИРОБНИЦТВО СОДИ

•В Індії з'явився перший в світі *реальний завод, який з діоксиду вуглецю (газу, що видихається людиною, а також присутнього в вихлопних автомобільних газах і димових газах промислових підприємств) буде створювати звичайну соду.* Побудувала цей завод індійська компанія під назвою «CarbonClean», яка даний метод вже апробувала на вугільній електростанції в місті Тутікорін.

•Представники компанія стверджують, що *за допомогою винайденої технології можливо збирати з повітря близько 66000 тон вуглецю, який потім піде на створення харчової та промислової соди.* Як і в більшості технологій збору CO₂, метод CarbonClean використовує спеціальну речовину, яка його вловлює і перетворює в інертну форму. Зазвичай такою речовиною є *амін* (група органічних сполук, похідних аміаку), в той час, як речовиною CarbonClean виступає новий хімічний інгредієнт, здатний більш ефективно збирати CO₂. Він також є дешевшим і менш агресивним, ніж аміак, до того ж завод, побудований на даній технології, створюється досить швидко і менш затратно.

•При цьому, самоокупність такого переробного підприємства настає практично відразу, що робить його прибутковим і комерційно ефективним. Тобто, для запуску такого заводу потрібні невеликі інвестиції, які майже відразу почнуть давати матеріальну віддачу. І це, можливо, перший приклад промислового підприємства, який може не просто чистити повітря від діоксиду вуглецю, а й відразу створювати з нього необхідну на ринку продукцію. Адже сода (промислова та харчова) використовується і в складі миючих засобів, і в кондитерській промисловості, і навіть на складуваних і фармацевтичних підприємствах.

ПЕРЕТВОРЕННЯ CO₂ В КАМІНЬ

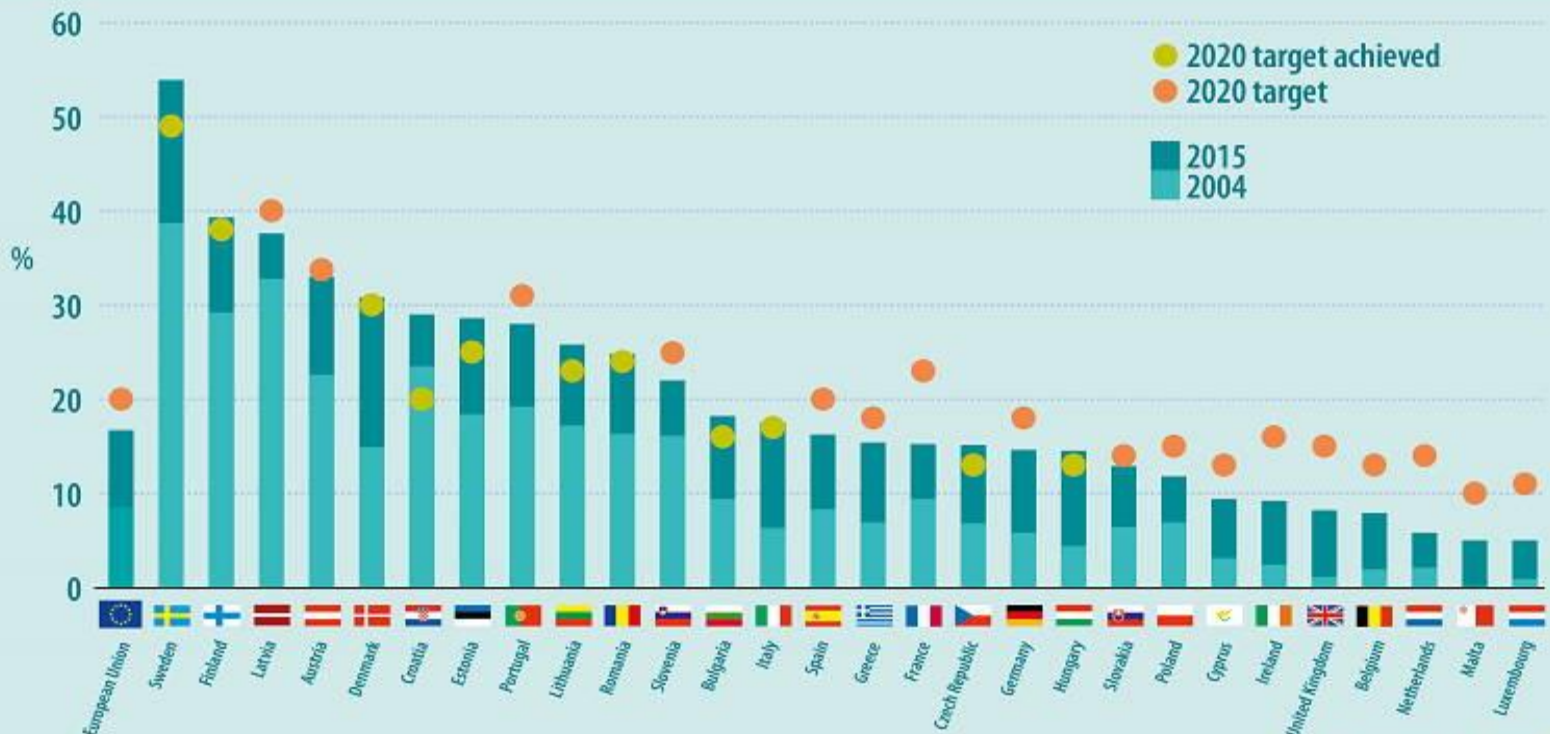


• Ісландія запускає першу в світі станцію, здатну вловлювати газ CO₂ і перетворювати його в камінь. Установку **CarbFix2** спільно створили швейцарський стартап ClimeWorks і ісландська енергетична компанія Reykjavik Energy. CarbFix2 розташований в 25 км від столиці Ісландії Рейк'явіка поруч з однією з найбільших геотермальних електростанцій в світі. Хоча геотермальна енергія є чистим джерелом енергії, при виділенні тепла утворюється суміш двоокису вуглецю, сірководню та водню. Це не критична кількість CO₂ - всього 3% обсягу питомих викидів будь-якої вугільної електростанції. На першому етапі роботи установка вловлює CO₂ з навколишнього повітря з використанням технології фільтрації ClimeWorks. Фільтр, виготовлений з пористих гранул, пов'язує CO₂ з вологою повітря і затримує частинки речовини. Потім тепло від геотермальної установки використовується для вивільнення чистого CO₂, який відправляється на 700 м під землю. Там він реагує з базальтовою основою і утворює тверді мінерали - перетворюється в камінь.

11 країн ЄС вже виконали план розвитку ВДЕ на 2020 рік

Share of energy from renewable sources in the EU Member States

(in % of gross final energy consumption)



ТЕНДЕНЦІЇ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ

• Енергетика на базі ПДЕ, так звана **"зелена" енергетика**, - галузь економіки, що показала стійке зростання навіть в умовах кризи. За останні роки **обсяги інвестування в цю галузь перевищили обсяги інвестицій в традиційні джерела енергії майже вдвічі**. В світі було зафіксовано збільшення приросту потужностей ВДЕ **з 127,5 ГВт у 2015 р. до 138,5 ГВт в 2016 р.**, в той час як інвестиції зменшились за відповідний період на 23%. Це було пов'язано у першу чергу з суттєвим зменшенням вартості відповідних перетворювачів. **У 2016 р. було додано 70 ГВт сонячної енергії (у 2015 р. - 56 ГВт) та 56 ГВт - вітрової.**

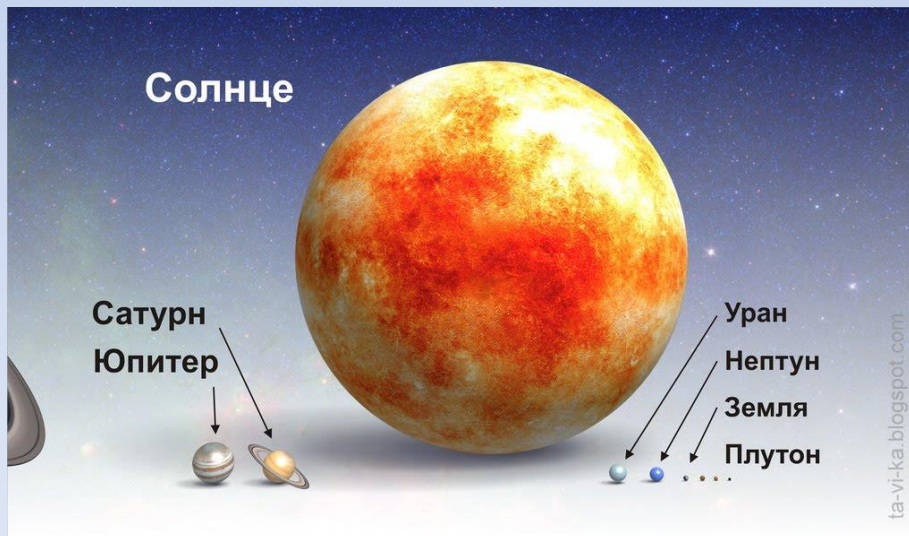
Відповідно до нового звіту Bloomberg New Energy Finance, **до 2030 р. доля ПДЕ складе більше 60% у 5599 ГВт нової генерації та 65% - у \$ 7,7 трлн інвестицій, тоді як загальна доля видобутого палива, зокрема вугілля та газу, у виробництві електроенергії знизиться до 46% з сьогоднішніх 64%. Потужності гідроелектростанцій становитимуть лівову частку нових потужностей серед "зелених" джерел енергії, сонячна і вітрова енергетика збільшать загальну частку світових виробничих потужностей до 16% з 3% до 2030 р.**

Експерти Bloomberg прогнозують подвоєння потужності нових літій-іонних батарей з 700 МВт в 2016 р. до 1,5 ГВт до кінця 2017 р. Також на вершині зростання інтелектуальні вимірювальні прилади, в які в 2016 р. були інвестовані рекордні \$ 14,4 млрд, що з \$ 8,8 млрд перевищує показники 2015 р. Аналітики вважають, що інвестиції в цю сферу можуть досягти \$ 19 млрд в 2017 р.

Згідно **Паризькій кліматичній угоді**, розвинені країни до 2020 р. будуть щорічно мобілізувати близько **100 млрд "кліматичних" коштів**.

ПОТЕНЦІАЛ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

• Джерело сонячного випромінювання - Сонце, має приблизний радіус 695 300 км і масу близько $2 \cdot 10^{30}$ кг. Температура поверхні Сонця - 5900°C , усередині Сонця - близько 40 млн. $^{\circ}\text{C}$ Сонце випромінює в кожен момент часу в космос близько $4 \cdot 10^{23}$ кВт, з яких на Землю припадає близько $0,25 \cdot 10^9$ всього обсягу випромінювання Сонця. Потужність сонячної радіації на поверхні Землі становить $1,75 \cdot 10^{17}$ Вт, що еквівалентно $5,4 \cdot 10^{24}$ Дж енергії на рік. **Це в 10 разів перевищує загально-світові запаси органічного палива, які оцінюються в $6,9 \cdot 10^{23}$ Дж, або в 1000 разів перевищує прогнозоване до кінця сторіччя загальносвітове енергоспоживання, що дорівнює $15,3 \cdot 10^{20}$ Дж.** Якщо прийняти, що потужність всіх видів енергоустановок на Землі складає сьогодні близько 13 ТВт або $13 \cdot 10^{12}$ Вт, то **потужність СВ перевищує сучасні потреби людства в сотні тисяч разів.** Отже, використання навіть **0,1%** сумарного енергетичного потенціалу сонячної радіації дозволить цілком задовольнити енергетичні потреби людства до кінця XXI століття. Потенціал сонячної енергії, що надходить на Землю в 5000 разів більше потенціалу вітрової енергії, і в 1500 разів більше потенціалу гідроенергії. При цьому, вважається, що **без шкоди для екології навколишнього середовища може бути використано 1,5% всієї падаючої на Землю сонячної енергії.**



ГРАФІК РІВНЯННЯ ЧАСУ

• Земля рухається навколо Сонця за еліптичною орбітою з ексцентриситетом. При цьому її вісь обертання постійно нахилена до площини обертання навколо Сонця на $66^{\circ} 33' - 66^{\circ} 55'$. Відстань від Землі до Сонця змінюється в межах від 147 до 152 млн. км (в середньому - 149, 6 млн. км). При цьому коли Земля знаходиться на ділянці еліпса, розташованому ближче до Сонця, то вона рухається швидше (близько 30,3 км/с). У протилежному випадку - повільніше (близько 29,3 км/с). Через це **тривалість істинної сонячної доби на Землі постійно змінюється**. Найдовший день – 23 грудня, коли він, наприклад на 51 секунду довший, ніж 16 вересня, коли він найбільш короткий. При цьому прийнято називати **істинною сонячною добою проміжок часу між двома верхніми положеннями центру сонячного диска в дві суміжні земні доби**. Це означає, що якби на Землі враховували зазначені особливості руху Землі відносно Сонця, то довелося б щодня міняти настройку годинників, які повинні йти то повільніше, то швидше.

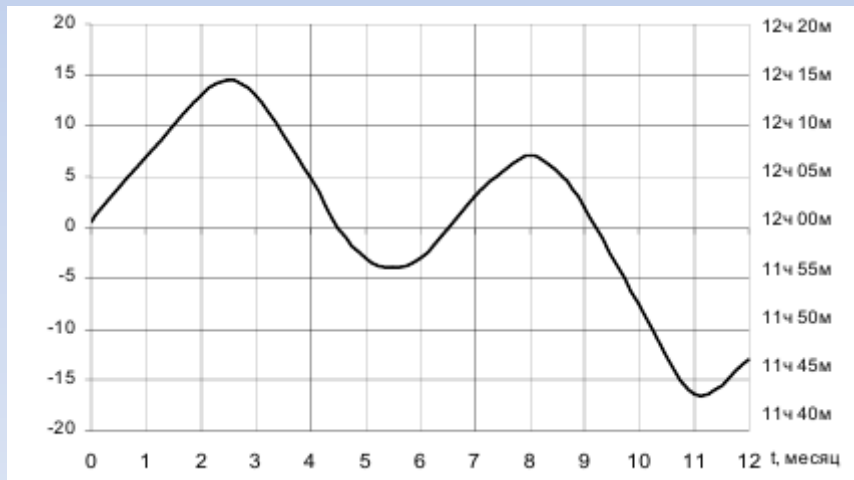


Рис. Графік рівняння часу. Крива показує середній час в істинний полудень

Тому на Землі сьогодні введено поняття так званої **середньої сонячної доби, тривалість її завжди однакова і дорівнює 24 годинам**. Час, виміряний за так званим середнім Сонцем, називається **середнім сонячним часом**, а - за істинним Сонцем - **істинним сонячним часом**. Різниця між ними називається **рівнянням часу**. Значення останнього на кожен день дається в астрономічних календарях і щорічниках. Наближений графік зміни рівняння часу представлений на рис. Представлена на ньому крива показує середній час в істинний полудень (максимум висоти центра Сонця над горизонтом).

СПЕКТР СВ

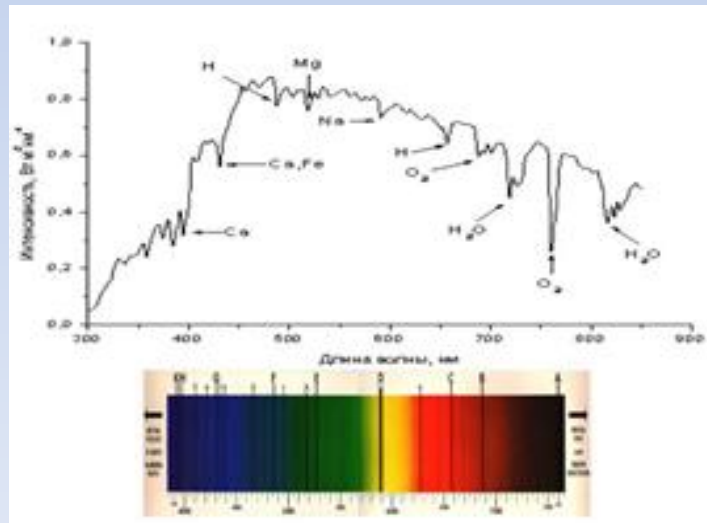
• **Сонячний спектр** - розподіл енергії електромагнітного випромінювання Сонця за довжиною хвиль.

• На рис. 1. представлений спектр СВ за межами атмосфери (в космосі), що припадає на 1 м² приймального майданчика, перпендикулярного випромінюванню. Там же представлений теоретичний розподіл **випромінювання чорного тіла при температурі 5900 К**, який майже повністю відповідає спектральному розподілу СВ - $\epsilon_\lambda(\lambda)$. Площа всієї фігури під графіком $\epsilon_\lambda(\lambda)$ називається **сонячної сталою** ϵ_0 (Вт/м²) і визначається за формулою
$$\epsilon_0 = \int_0^\infty \epsilon_\lambda(\lambda) d\lambda$$

• **Сонячна стала** - сумарний потік сонячного випромінювання, що проходить за одиницю часу через одиничну площадку, орієнтовану перпендикулярно потоку, на відстані однієї астрономічної одиниці від Сонця поза земної атмосфери.

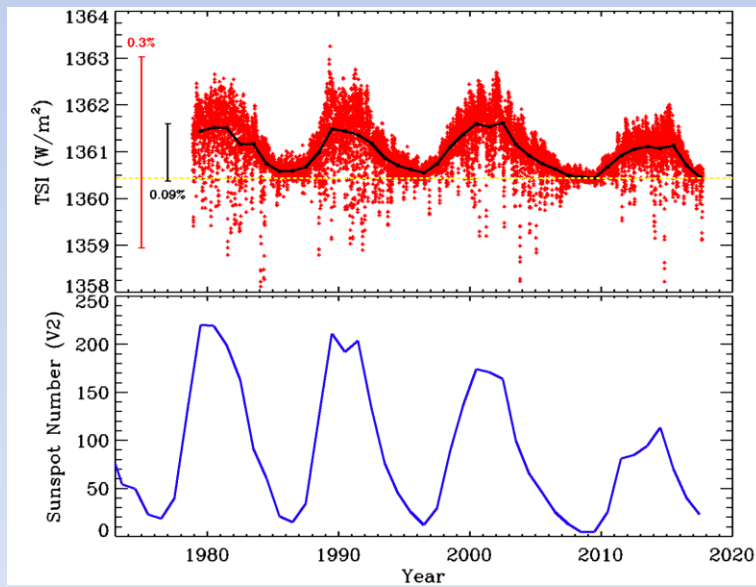
• **За міжнародною угодою 1981 р. в якості ϵ_0 в розрахунках рекомендується приймати $\epsilon_0 = 1370$ Вт/м².** (Часто використовують величину $\epsilon_0 = 1353$ Вт/м²).

• З рис. видно, що майже вся енергія, що випромінюється Сонцем, припадає на вузький діапазон довжин хвиль у видимій та ближній ІЧ-області (у діапазон 0,24-4 мкм попадає 98% енергії випромінювання). Поглинання сонячної радіації атмосферою обумовлено в основному присутністю в ній **водню, озону, кисню і водяної пари**. Озон майже повністю поглинає випромінювання в ультрафіолетовій частині спектра до 0,29 мкм, Са - поглинає до 0,35 мкм і не поглинає в іншій частині спектру, Na - поблизу 0,6 мкм. Водяна пара і СО₂ викликають появу досить широких полос поглинання в ближній ІЧ-області. **В цілому в атмосфері поглинається 15 - 20% радіації, що надходить від Сонця до Землі.**

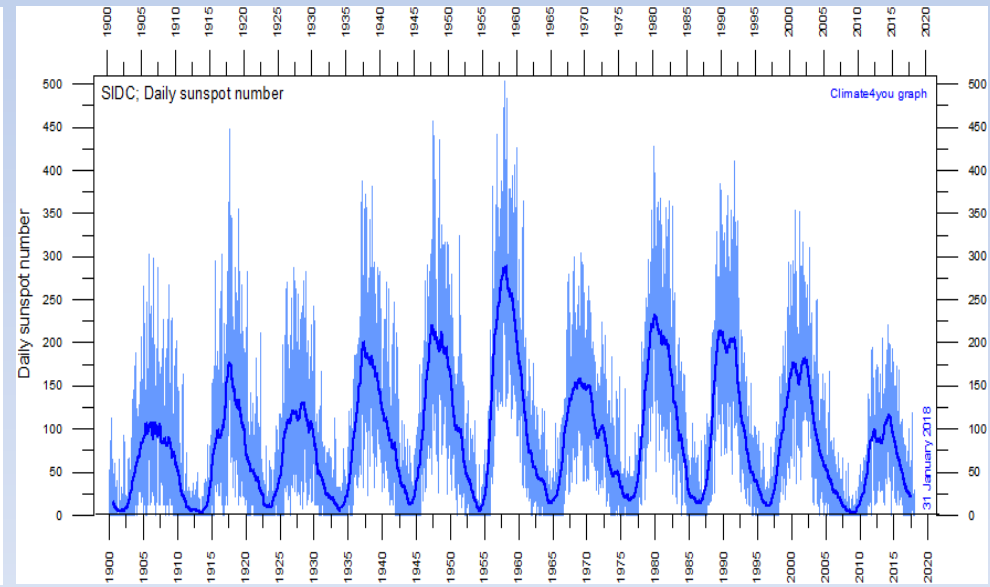


ЗМІНИ СОНЯЧНОЇ СТАЛОЇ

•Реально сонячна стала не є незмінною в часі величиною. Відомо, що на її величину впливають два основні фактори: відстань між Землею і Сонцем, що змінюється протягом року з причини еліптичності орбіти Землі (річна варіація 6,9% - від 1,412 кВт/м² на початку січня до 1,321 кВт/м² на початку липня) і зміни сонячної активності. Цей вплив зумовлений, в основному, зміною потоку випромінювання при зміні числа і сумарної площі сонячних плям, при цьому потік випромінювання змінюється найсильніше в рентгенівському і радіодіапазоні. Оскільки період прямих вимірювань сонячної сталої відносно невеликий, то її зміна протягом 11-річного циклу сонячної активності (циклу Швабе), скоріше за все, не перевищує $\sim 10^{-3}$, частка мінливості в оптичному діапазоні, обумовлена внеском сонячних плям, оцінюється у $\sim 10^{-4}$. Оцінки варіацій сонячної сталої протягом більш тривалих сонячних циклів (цикли Хейла, Гляйсберга та ін.) на основі прямих вимірювань відсутні. У сонячній енергетиці прийнято виділяти три основних поняття або показника: **потік або енергія СВ за заданий інтервал часу; потужність або інтенсивність потоку СВ; тривалість СВ за заданий інтервал часу.**



Графік, побудований на основі даних 9 супутників NASA, показує зниження TSI з 1978 р. Помітно збільшення і зниження величини сонячної постійної пов'язане з циклами активності Сонця

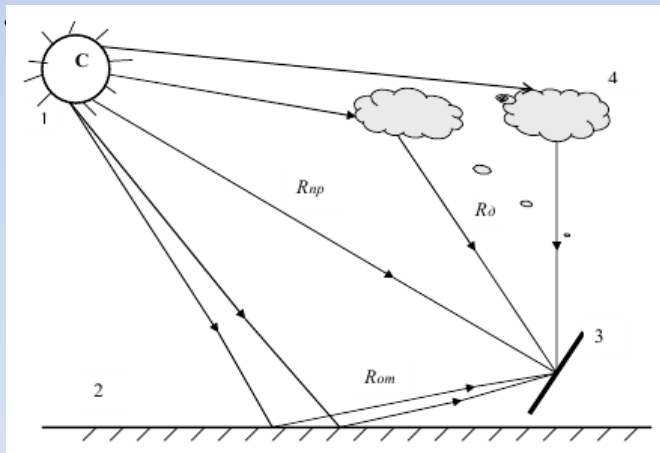


Сонячна активність (кількість плям на сонці) з 1900 року

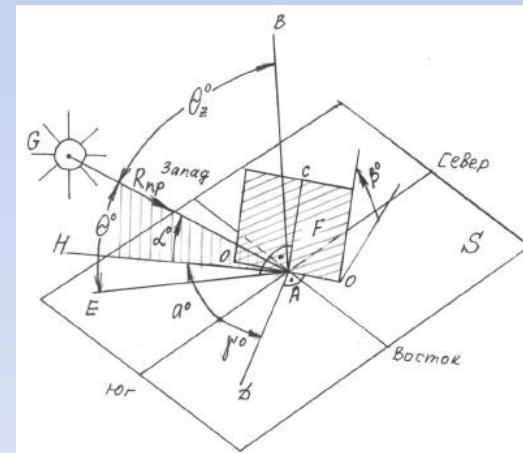
ФАКТОРИ ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРИХІД СВ

• Сонячна енергія поширюється в космосі у вигляді так званого *прямого направленного потоку* СВ, що характеризується прямою лінією, що зв'язує собою Сонце (джерело СВ) і приймальний майданчик. З причини наявності атмосфери і підстилаючої поверхні Землі на довільно-орієнтований приймальний майданчик СВ надходить уже у *вигляді трьох потоків енергії* (рис.1): *пряма $R_{np}(t)$, дифузна або розсіяна $R_d(t)$ і відбита $R_{від}(t)$ від поверхні Землі* (див. рис.), тобто сумарний потік СВ на приймальний майданчик $R_{\Sigma}(t)$ на поверхні Землі буде в кожен момент часу t буде виглядати так: $R_{\Sigma}(t) = R_{np}(t) + R_d(t) + R_{від}(t)$.

• Якщо для приймального майданчика в космосі $R_{\Sigma}(t)$ визначаються тільки спрямованим СВ (тобто $R_{np}(t)$), то на поверхні Землі $R_{\Sigma}(t)$ залежить від багатьох факторів, і, в першу чергу, *від геометричного розташування приймального майданчика відносно Сонця*. Для пояснення сказаного на рис. представлений довільно-орієнтований нахилений на південь плоский приймальний майданчик, розташований на поверхні землі в точці А з координатами φ_A^0 , град. півн. широти; ψ_A^0 , град. - східної довготи. Основні позначення на рис.2: S - горизонтальна площадка на землі у точці А з координатами (φ_A^0, ψ_A^0) , плоский приймальний майданчик F, нахилений до півдня під кутом β_0 , ГО - лінія перетину площин F і S; ADES і AD \perp OO; ACEF і AC \perp OO; AE \perp LF; ABES; G - сонце; AHES і AH є проекцією AG на S.



Основні складові СВ на поверхні Землі: 1 - Сонце, 2 - поверхня Землі, 3 - приймальний майданчик, 4 - хмари, аерозолі, пил



Геометрія приймального майданчика на Землі і положення Сонця

ФАКТОРИ ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРИХІД СВ

• На підставі сказаного вище можна розрахувати досить точно прихід **СВ** на **кордоні атмосфери в космосі** на горизонтальний приймальний майданчик, що знаходиться над точкою $A(\varphi_A^0, \psi_A^0)$ на поверхні землі

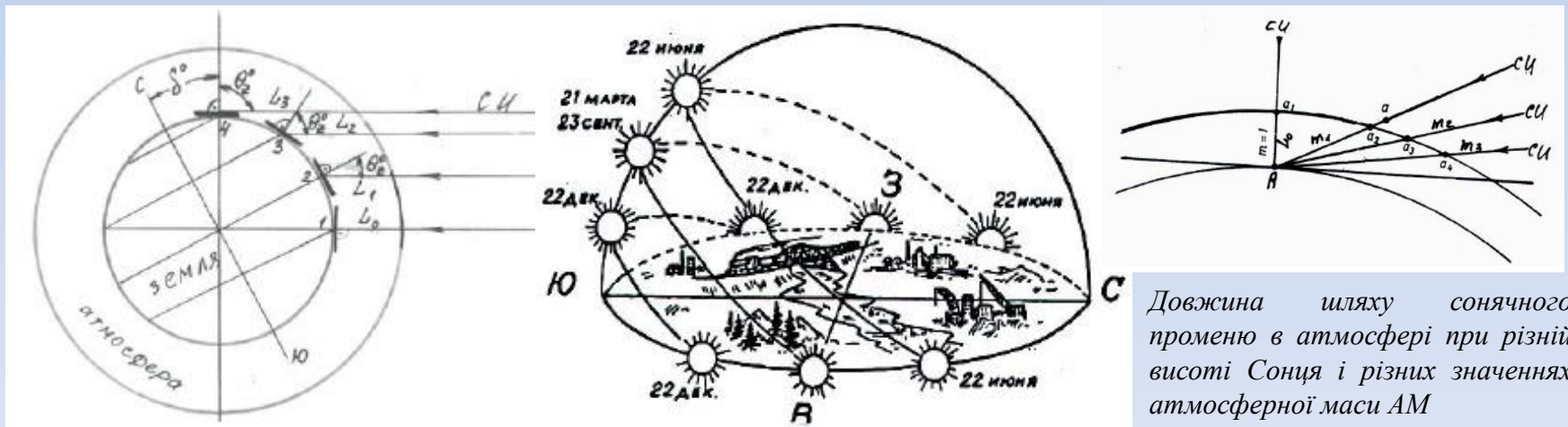
$$\dot{Y}_v^d(n_i) = \frac{24}{\pi} \cdot e_0 \cdot \left\{ \left[1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360^\circ \cdot n_i}{365}\right) \right] \cdot \left[\cos\varphi^0 \cdot \cos\delta^0(n_i) \cdot \sin\varpi_{c/d}^0 + \frac{2 \cdot \pi}{360^\circ} \cdot \sin\varpi_{c/d}^0 \cdot \sin\varphi^0 \cdot \sin\delta^0(n_i) \right] \right\},$$

• Видно, що прихід СВ на горизонтальну площадку в момент часу t на Землі $R_{\Sigma T}(t)$ є складною функцією декількох змінних, тобто $R_{\Sigma}^d(t) = R_{\Sigma}^d(\delta^0(t), \varphi^0(t), \varpi^0(t), \theta_z^0(t), \alpha^0(t), a^0(t))$

З якої: $\delta^0, \varphi^0, \varpi^0$ - умовно вважаються основними, $\theta_z^0, \alpha^0, a^0$ - умовно допоміжними за ступенем їх впливу на $R_{\Sigma}^d(t)$.

• **Основні з них це:**

1. Широта місцевості в точці А.
2. Часові кути Сонця - $w^0(t)$ і схилення Сонця - $\delta^0(t)$.



Вплив φ_A^0 на прихід СВ на горизонтальний приймальний майданчик на Землі

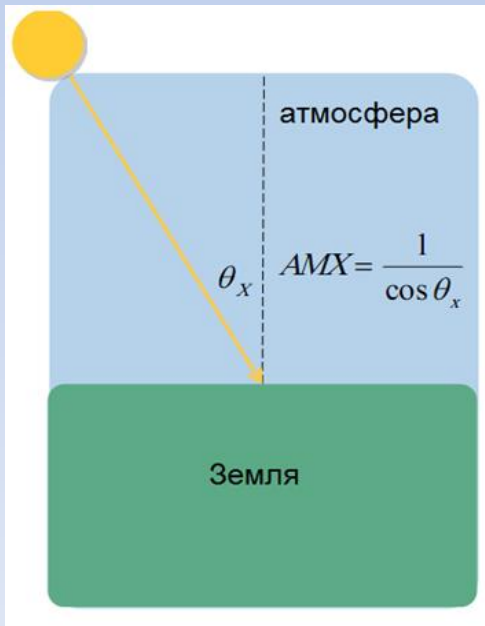
Видимий рух Сонця в дні сонцестоянь і рівнодень

Довжина шляху сонячного променя в атмосфері при різних висоті Сонця і різних значеннях атмосферної маси AM

АТМОСФЕРНА МАСА

• При проходженні СВ через земну атмосферу одночасно *відбуваються три процеси*. *Відбиття СВ назад у космос* (близько 34%), яке не залежить від довжини хвилі випромінювання. Велика частина СВ відбивається хмарами і самою атмосферою Землі. *Поглинання СВ атмосферою* (близько 18%), коли енергія випромінювання переходить в тепло (ІЧ випромінювання), і перевипромінюється назад у космос. *Пройдення СВ на поверхню Землі* (близько 47%); ~20% його відбивається від поверхні землі і у вигляді ІЧ випромінювання йде назад в космос; *тільки 27% всього СВ, що надходить на землю з космосу, перетвориться в енергію, яка йде на випаровування і нагрівання води, нагрівання атмосфери, утворення вітрів, хвиль, течій тощо*.

• *Через поглинання, при проходженні атмосферної маси Землі, максимальний потік сонячного випромінювання на рівні моря (на Екваторі) - 970 Вт/м²*. Проте слід врахувати, що середньодобове значення потоку сонячного випромінювання через одиничну горизонтальну площадку *як мінімум в три рази менше* (через зміну дня і ночі і зміну кута сонця над горизонтом). Взимку в помірних широтах це значення в два рази менше.



Параметром, що відображає вплив атмосфери на інтенсивність і спектральний склад СВ, що доходить до земної поверхні, є *атмосферна (або повітряна) маса (АМ)*.

Атмосферна маса - це довжина шляху, який проходить світло через атмосферу, віднесена до найкоротшого можливого шляху (коли Сонце знаходиться в зеніті). Атмосферна маса показує на скільки зменшилася спектральна густина потоку випромінювання після проходження через атмосферу і поглинання повітрям і пилом. Атмосферна маса визначається, як

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)}$$

де θ - це кут, що відлічується від вертикалі (зенітний кут). Коли Сонце знаходиться прямо над головою, $\theta = 90$ і атмосферна маса дорівнює 1.

При нульовій повітряній масі АМ0 інтенсивність випромінювання дорівнює 1353 (1361) Вт/м²

РОЗРАХУНОК АТМОСФЕРНОЇ МАСИ

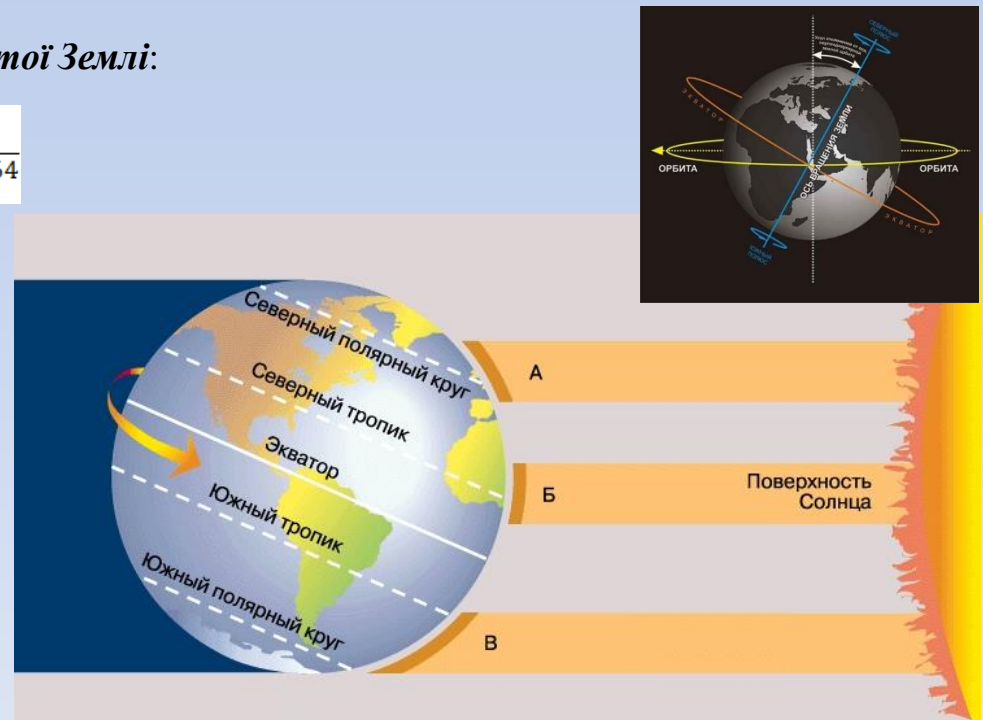
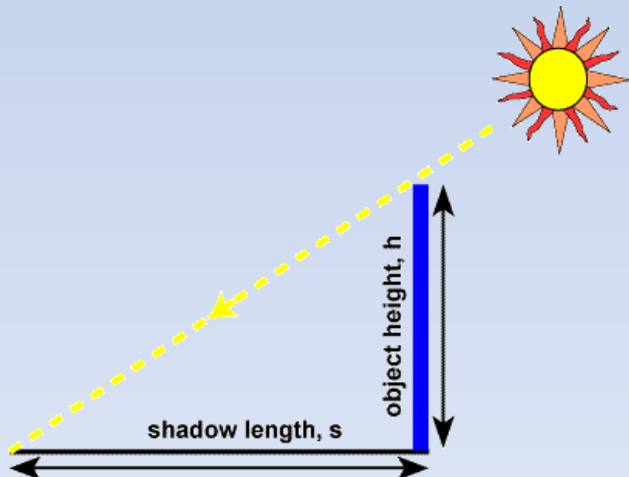
• Для визначення атмосферної маси існує простий метод, в якому використовується довжина тіні, що відкидається вертикальною жердиною. **Атмосферна маса дорівнює довжині гіпотенузи, розділеній на довжину жердини** і за теоремою Піфагора дорівнює:

$$AM = \sqrt{1 + \left(\frac{s}{h}\right)^2}$$

• У цьому завданні передбачається, що атмосфера - це плоский горизонтальний шар. Але насправді це не так. **Кривина атмосфери призводить до того, що, коли Сонце близько до горизонту, атмосферна маса відрізняється від довжини атмосферного шляху.** На сході кут Сонця, що відлічується від вертикалі, дорівнює 90° і атмосферна маса повинна бути рівною нескінченності, тоді як очевидно, що довжина атмосферного шляху кінцева.

• Наступне рівняння враховує кривину кулястої Землі:

$$AM = \frac{1}{\cos \theta + 0.50572(96.07995 - \theta)^{-1.6364}}$$



СТАНДАРТНИЙ СОНЯЧНИЙ СПЕКТР

• *Ефективність СЕ залежить як від інтенсивності падаючого світла, так і від його спектрального складу. Щоб полегшити порівняння СЕ, зроблених у різних місцях і в різний час, були визначені **стандартний спектр і поверхнева густина потоку сонячного випромінювання** для умов на поверхні Землі і на кордоні атмосфери Землі. **Стандартний спектр поза земної атмосфери називається АМ0**, бо світло не проходить через атмосферу. Зазвичай **цей спектр використовують для розрахунку ефективності СЕ для космічних апаратів.***

• *Стандартний спектр на поверхні Землі називається **АМ1.5G** (G, global, означає загальний, і включає в себе як пряме, так і розсіяне випромінювання) або **АМ1.5D** (direct, що включає тільки пряме випромінювання). **Інтенсивність випромінювання АМ1.5D можна приблизно оцінити, як 72% від АМ0 (18% - поглинання, 10% - розсіювання). Загальний спектр на 10% більший, ніж прямий.** Розрахувавши густину потоку випромінювання, використовуючи ці дані, отримують значення приблизно рівне **970 Вт/м²** для АМ1.5G. **Однак на практиці використовують значення, рівне 10³ Вт/м²**, оскільки воно зручніше для розрахунків і через те, що падаючому випромінюванню притаманні невеликі зміни. **Щоденну інтенсивність прямої складової сонячного світла можна визначити, як функцію атмосферної маси. Експериментально отримане рівняння має вигляд:***

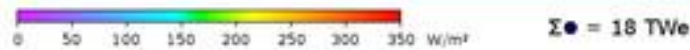
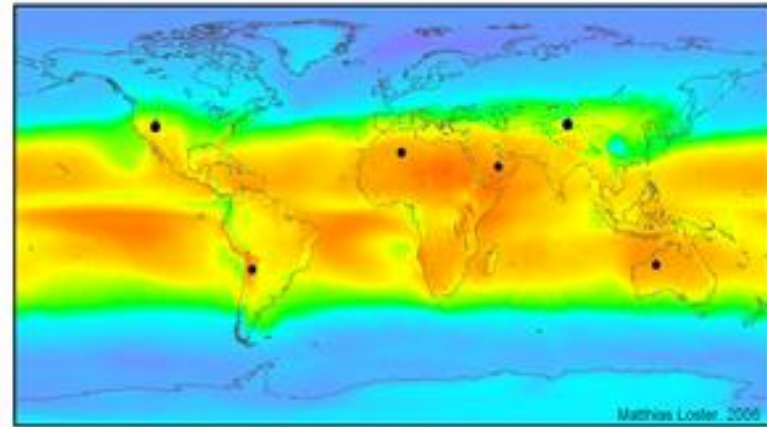
$$I_D = 1.353 \cdot 0.7^{(AM^{0.678})}$$

де I_D - це інтенсивність на майданчику, перпендикулярному сонячним променям в кВт/м², АМ - атмосферна маса. 1,353 кВт/м² - це сонячна стала, а 0,7 враховує той факт, що близько 70% сонячного випромінювання, що приходить на межу атмосфери, досягає землі. Показник 0,678 - емпіричний коефіцієнт, що враховує неоднорідність атмосферних шарів.

• ***Дифузне випромінювання** навіть при ясному небі становить близько 10% прямого. Тому в ясний день загальна інтенсивність випромінювання, що падає на модуль, орієнтований перпендикулярно сонячним променям, дорівнює:*

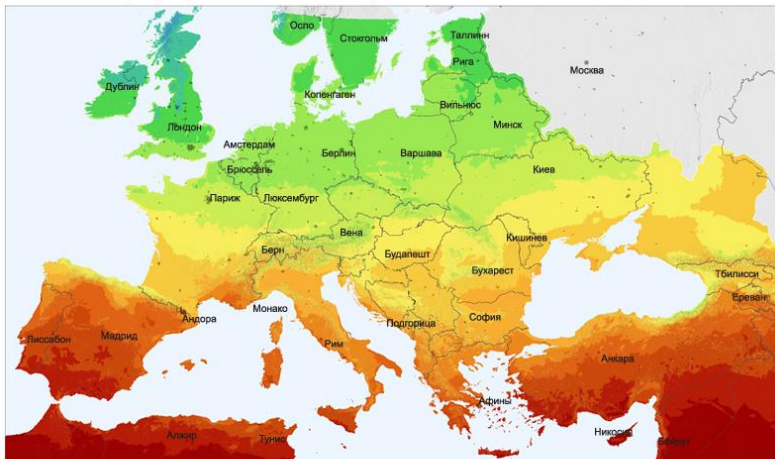
$$I_G = 1.1 \cdot I_D$$

РОЗПОДІЛ СЕ ЗА ПОВЕРХНЕЮ ЗЕМЛІ



Глобальная карта распределения солнечной радиации

ЕВРОПА



Среднегодовая мощность солнечного излучения (4/2004 - 3/2010)



0 250 500 km

- Потік сонячної енергії, що падає на встановлений під оптимальним кутом фотоелемент, залежить від широти місцевості, сезону, клімату і може відрізнятися в два рази для заселеної частини суші (до трьох з урахуванням пустелі Сахари). Атмосферні явища (хмари, туман, пил і ін.) не тільки змінюють спектр та інтенсивність падаючого на поверхню Землі СВ, але і змінюють співвідношення між прямим і розсіяним випромінюванням, що значно впливає на ККД деяких типів сонячних електростанцій, наприклад, з концентраторами або на елементах широкого спектра перетворення.

- **Найбільшу дозу сонячної радіації щорічно отримує:**

- північно-східна Африка, деякі центральні і південно-західні області континенту;
- східне узбережжя Африки;
- Аравійський півострів;
- південні субекваторіальні ділянки Атлантичного і Тихого океанів;
- північний захід Австралії, деякі острови Індонезії;
- західне узбережжя Південної Америки.

ОСОБЛИВОСТІ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИКИ

Сонячна енергетика або геліоенергетика (від геліос - сонце) - галузь енергетики, що вивчає і застосовує методи експлуатації енергії сонячного проміння для промислових і побутових потреб.

Геліоенергетика - це галузь науки і техніки, що розробляє наукові основи, методи і технічні засоби використання енергії сонячного випромінювання на Землі і в космосі для отримання електричної, теплової або інших видів енергії.

Сонячна енергія досить універсальна з точки зору можливостей її використання людиною для своїх потреб. Вона може бути відносно легко перетворена в теплову, механічну і електричну енергію, а також використана в хімічних і біологічних процесах. **Сонячні енергетичні установки** (СЕУ) працюють в системах опалення та охолодження житлових, громадських та промислових будівель, в технологічних процесах, що протікають при будь-яких температурах (від дуже низьких до ультрависоких). Технологічні процеси перетворення і використання сонячної енергії за своєю технологічною складністю також можуть бути дуже різними. А самі СЕУ можуть бути за своїми габаритами дуже різноманітними: від мікромініатюрних джерел живлення мікрокалькуляторів і ручних годинників до величезних технічних конструкцій в баштових систем висотою 100 м і вагою в сотні тон.

• СЕУ класифікують за видом енергії в яку перетворюється сонячна (в теплову, механічну, хімічну або електричну енергію).

• При використанні СЕУ в електроенергетиці та теплоенергетиці вони можуть ділитися на три категорії, за тим де вони використовуються:

СЕУ, призначені для роботи у великій ОЕС або просто ЕС;

СЕУ, що працюють у локальних мережах;

СЕУ, призначені для енергозабезпечення автономного споживача з різною категорією за надійністю енергопостачання.

• В залежності від цього суттєво змінюються вимоги до інформаційного забезпечення геліоенергетичних розрахунків та до самої системи енергопостачання, що включає в себе СЕУ або СЕС. Крім того, в залежності від категорії використання СЕУ можуть з'явитися додаткові вимоги про обов'язкове поєднання СЕУ з системою акумуляції енергії. Наприклад, це стосується роботи СЕУ для автономного споживача, в тому числі і підвищеної категорії надійності, що вимагає наявності не тільки добового, а й, іноді, більш тривалого циклу акумуляції енергії. У системних ж великих СЕС подібні вимоги зазвичай відсутні, якщо при цьому не з'являється необхідність підтримання в робочому стані господарства СЕ в періоди відсутності сонячного випромінювання та зв'язку з енергосистемою. Тут, крім звичайних систем акумуляції енергії можуть бути використані і традиційні енергоустановки на органічному паливі.

КЛАСИФІКАЦІЯ СЕУ

За місцем розміщення: наземні та космічні.

Системи захисту СЕУ у них будуть принципово різні:

в космосі потрібен захист від жорсткого космічного випромінювання, що руйнує фотоелементи; на Землі потрібне охолодження СЕУ, захист від пилу і вандалізму

в тому числі. **Для космічних СЕУ**, що працюють в безповітряному просторі при невагомості проблема міцності та металоємності

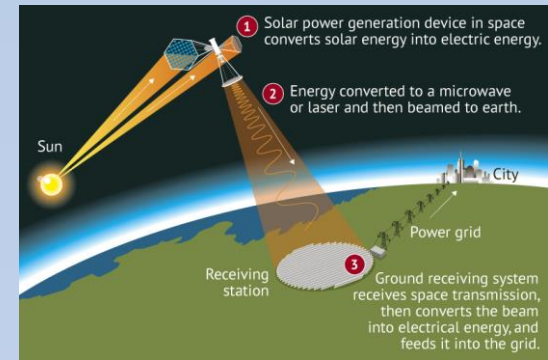
конструкції СЕУ стає менш значущою порівняно з ваговими показниками наземних СЕУ. Найбільш проблематична тут **задача передачі накопиченої енергії на Землю без нанесення помітної шкоди людині і навколишньому середовищу в цілому**. Зокрема, вимога мінімального впливу на дуже крихкий, але дуже важливий для людства в цілому, озоновий захисний шар Землі. **Для наземних СЕУ** характерні, очевидно, принципово інші технічні проблеми. Наприклад, **врахування добової і сезонної циклічності сонячного випромінювання**, що можна практично повністю виключити в космічних СЕУ, виведених на спеціальні геоцентричні орбіти. Врахування циклічності, а також помітного випадкового характеру процесу сонячного випромінювання на поверхні Землі може вимагати обов'язкового поєднання СЕУ з СЕ системою акумуляції енергії залежно від категорії використання СЕУ.

За стаціонарністю: переносні, пересувні та стаціонарні СЕУ.

Вони відрізняються одна від одної як за масо-габаритними характеристиками, так і за складністю конструктивного виконання, характеристиками надійності.

За видом орієнтації на сонце: із постійною (незмінною) орієнтацією на поверхні землі і з системою стеження за Сонцем (трекерні системи) з метою максимізації ефективності.

До постійно-орієнтованих на Сонце СЕУ відносяться, як правило, енергоустановки побутового призначення, розміщені на дахах будівель, на землі на спеціальних стаціонарних конструкціях-каркасах для розміщення СЕУ з орієнтацією на південь під постійним кутом до горизонту. У ряді випадків для невеликих простих СЕУ можлива зміна кута нахилу до горизонту в кожному місяці року, що досить просто може бути реалізовано конструктивно.



ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ



Основний параметр, що характеризує вітрогенератор, це коефіцієнт використання енергії вітру (КВЕВ)

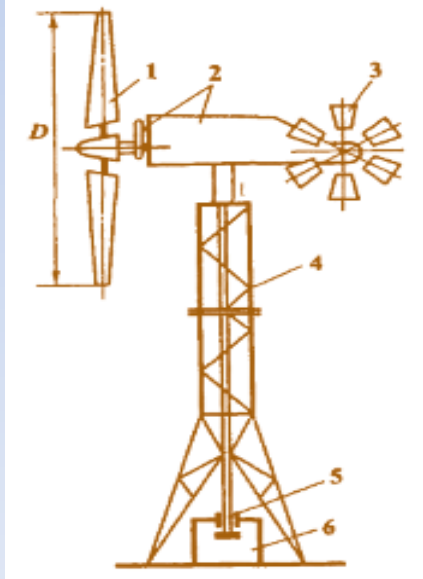
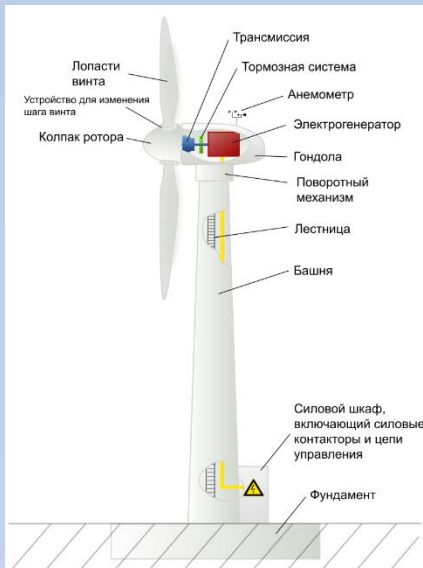
• *Запаси енергії вітру більш ніж в сто разів перевищують запаси гідроенергії всіх річок планети. Вітроенергетика - галузь енергетики, що спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії повітряних мас в атмосфері в електричну, механічну, теплову або в будь-яку іншу форму енергії, зручну для використання в народному господарстві.* Таке перетворення може здійснюватися такими агрегатами, як *вітрогенератор* (для отримання електричної енергії), *вітряк* (для перетворення в механічну енергію), *вітрило* (для використання в транспорті) та іншими. *Вітер утворюється в результаті нерівномірного нагрівання поверхні Землі Сонцем. Вітроенергетичні ресурси в США і країнах Європи класифікують залежно від середньорічної швидкості або середньорічний питомої потужності вітру на висотах 10 і 50 м від поверхні землі* (табл. 2.1).

• *Принцип дії всіх вітроустановок один: під натиском вітру обертається вітроколесо з лопатями, передаючи крутний момент через систему передач валу генератора, який виробляє електроенергію. Реальний ККД кращих вітрових коліс досягає 45% у разі стійкої роботи при оптимальній швидкості вітру.*

Таблиця. Класифікація вітроенергетичних ресурсів на висотах 10 і 50 м від поверхні землі

Клас	Висота 10 м		Висота 50 м	
	Швидкість вітру, м/с	Питома потужність, Вт/м ²	Швидкість вітру, м/с	Питома потужність, Вт/м ²
1	0–4,4	0–100	0–5,6	0–200
2	4,4–5,1	100–150	5,6–6,4	200–300
3	5,1–5,6	150–200	6,4–7,0	300–400
4	5,6–6,0	200–250	7,0–7,5	400–500
5	6,0–6,4	250–300	7,5–8,0	500–600
6	6,4–7,0	300–400	8,0–8,8	600–800
7	7,0–9,0	400–1000	8,8–11,9	800–1200

КОНСТРУКЦІЇ ВЕУ



• Існують дві принципово різні конструкції вітроенергетичних установок (ВЕУ):

з горизонтальною і вертикальною віссю обертання.

• Конструктивна схема ВЕУ з горизонтальною віссю наведена на рис. 1. Основними елементами установки є вітроприймальний пристрій (лопати), редуктор передачі крутильного моменту до електрогенератора (трансмісія), електрогенератор і вежа. Вітроприймальний пристрій разом з редуктором утворюють вітродвигун. Завдяки спеціальній конфігурації лопатей в повітряному потоці виникають несиметричні сили, які створюють крутильний момент. Оскільки вітер може змінювати свою силу і напрям, вітрові установки обладнуються спеціальними пристроями контролю та безпеки. Ці пристрої складаються з механізмів розвороту осі обертання за вітром (віндроза), нахилу лопатей відносно землі при критичній швидкості вітру, системи автоматичного контролю потужності та аварійного відключення для установок великої потужності. **Найчастіше на ВЕС використовується трилопатні вітроколеса з горизонтальним розташуванням осі ротора.** Удосконалення йде по шляху збільшення розмірів лопатей, поліпшення техніко-економічних показників енергетичного обладнання та електронного управління, використання композитних матеріалів і застосування більш високих вейж. Деякі ВЕУ функціонують зі змінною швидкістю або взагалі не використовують редуктор і працюють за методом прямого приводу.

• **Переваги:**

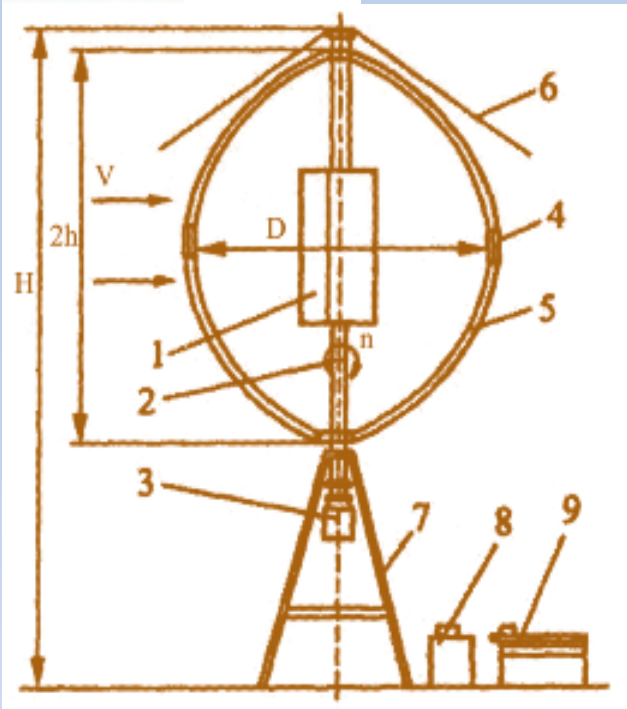
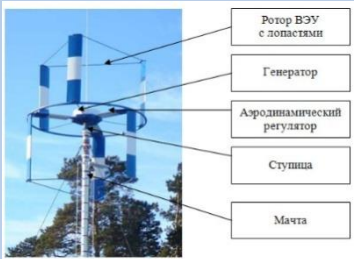
• Велика швидкість обертання, це дозволяє з'єднуватися з генератором, що збільшує ККД; простота виготовлення; велика різноманітність моделей.

• **Недоліки:**

• Високий рівень шумового та ультразвукового забруднення. Це може бути небезпечно для здоров'я людей. Тому генеруючі промислові потужності розташовують у безлюдних місцях; необхідність застосовувати стабілізатор і пристрої наведення на потік вітру; **швидкість обертання обернено пропорційна до кількості лопатей, тому в промислових моделях рідко використовують більше трьох лопатей.**

Конструктивна схема ВЕУ з горизонтальною віссю обертання: 1 - робоча лопать; 2 - трансмісія; 3 - віндроза; 4 - вежа; 5 - вал відбору потужності; 6 - електрогенератор

КОНСТРУКЦІЇ ВЕУ



• **ВЕУ з вертикальною віссю обертання** мають **переваги** перед установками з горизонтальною віссю, які полягають у тому, **що зникає необхідність у пристроях для орієнтації на вітер, спрощується конструкція і знижуються гіроскопічні навантаження, що обумовлюють додаткові напруги в лопатях, системі передачі та інших елементах установки, з'являється можливість установки редуктора з генератором в підставці вежі. Вони мають низький рівень шумового забруднення (до 30 дБ), виробляють електроенергію при невеликій силі вітру та зручні в обслуговуванні.**

• Але вони мають **серйозний недолік** - **тихохідність**. Для його подолання застосовують **підвищуючі редуктори**, що **дещо знижує ККД установки**. Конструктивна схема ВЕУ з вертикальною віссю обертання наведена на рис.

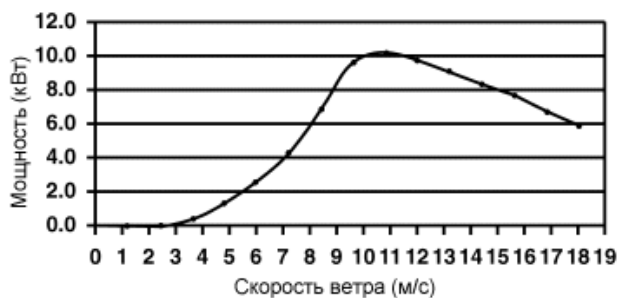
• **В залежності від потужності генератора вітроустановки поділяються на класи, їх параметри і призначення наведено в табл.** Обмеження шумового впливу ВЕС досягається їх видаленням від населених пунктів (для ВЕС до 300 м).

Таблиця. Класифікація вітроустановок

Клас установки	Потужність, МВт	Діаметр колеса, м	Кількість лопатей	Призначення
Малої потужності	До 0,1	3 – 10	3 – 2	Зарядка акумуляторів, насоси, побутові нужди
Середньої потужності	0,1 - 1,0	25 – 44	3 – 2	Енергетика
Великої потужності	Більше 1,0	>45	3 – 2	Енергетика

Конструктивна схема ВЕУ з вертикальною віссю обертання: 1 - стартер (ротор Савоніуса); 2 - вал; 3 - електрогенератор; 4 - гальмівний пристрій; 5 - робоча лопать; 6 - розтяжки; 7 - рама; 8 - перетворювач напруги; 9 - акумулятор; V - швидкість вітру; H - висота вітроустановки; h - половина висоти робочої лопаті; n - швидкість обертання робочої лопаті; D - діаметр розгортки лопатей

РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ВЕУ



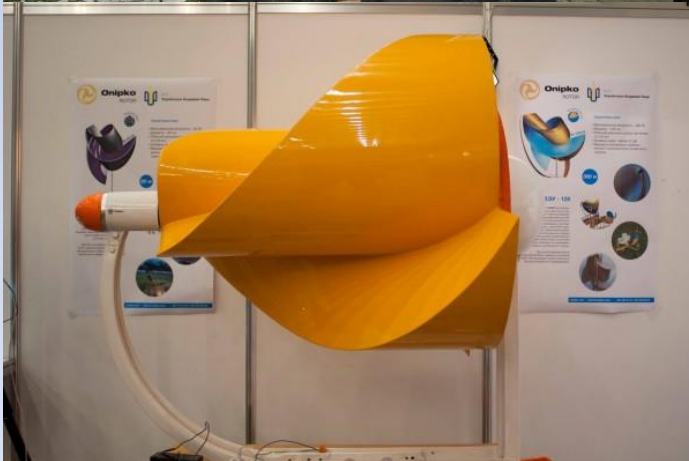
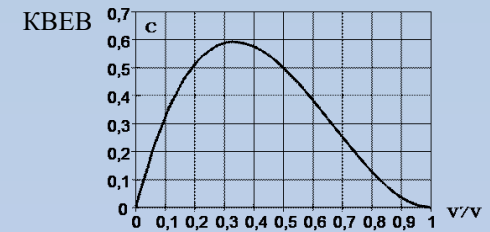
Потужність ВЕУ дорівнює $N = \rho S V^3 / 2$
де N - потужність; ρ - густина повітря; S - площа, що вимітається; V - швидкість вітру в м/с.

Формула розрахунку ефективності вітрогенератора справедлива виключно для ВЕУ крильчатого - горизонтального типу.

•Повітряні потоки у поверхні землі/моря є *ламінарними* - нижні шари гальмують розташовані вище. Цей ефект помітний до висоти 1 км, але *різко знижується вже на висотах більше 100 метрів*. Висота розташування генератора вище цього прикордонного шару одночасно дозволяє збільшити діаметр лопатей і звільняє площі на землі для іншої діяльності. Сучасні генератори вже вийшли на цей рубіж, і їх кількість різко зростає у світі. **Вітрогенератор починає виробляти струм при швидкості вітру 3 м/с і відключається при >25 м/с. Максимальна потужність досягається при швидкості ~10 м/с. Потужність вітрового потоку пропорційна площі, яку перетинає вітровий потік, і швидкості вітру в кубі: при збільшенні швидкості вітру вдвічі, від 5 м/с до 10 м/с, потужність збільшується у вісім разів.** Вона залежить також від висоти гвинта над поверхнею землі.

•У грудні 2004 року німецька компанія REpower Systems побудувала вітрогенератор потужністю 5,0 МВт. Турбіни потужністю 3 МВт (V90) виробництва датської фірми MHI Vestas Offshore Wind мають *загальну висоту 115 метрів, висоту вежі 70 метрів і діаметр лопатей 90 метрів*. У 2009 р. турбіни класу (1,5 - 2,5) МВт займали 82% у світовій вітроенергетиці. У 2014 р. датська компанія Vestas почала тестувати турбіну потужністю **8 МВт** (у 2016 р. її модернізували піднявши потужність до **9 МВт**). На сьогоднішній день MHI Vestas V164-10 - найбільш потужний вітрогенератор в світі. Він є гігантською спорудою з *гондолою вагою 390 тон і 140-метровою вежею* (повна висота вітрогенератора з урахуванням розмаху лопатей становить 220 м). Площа обертання лопатей, кожна з яких має довжину 80 м і важить близько 35 тон, становить близько 21,124 тис. м² (три футбольних поля). Ведуться розробки генераторів потужністю більше 10 МВт.

РОТОР ОНІПКО



• **Ротор Оніпко** - це система, призначена для роботи при малих швидкостях вітру, вона складається з чотирьох основних блоків: ротору, генератора, електронного блоку управління, акумулятора з інвертором.

• Форма турбіни «Ротора Оніпко» була задумана так, щоб **обертатися при швидкості вітру від 0,1 м/с**. Остаточне її доведення проводилася в аеродинамічній трубі. Величина енергії вітру при цьому дуже маленька і щоб використовувати енергію вітру при такій швидкості, потрібен тихохідний генератор з малим стартовим крутним моментом. Саме тому був розроблений відповідний тихохідний генератор без металевих сердечників, що відповідає таким вимогам. Якщо **для початку обертання звичайних генераторів струму**, що мають металеві сердечники **потрібні зусилля, близько 0,5 Н·м, то у генератора Оніпко - 0,001 Н·м**. Розроблений генератор багатofазний з ККД 98%.

• **Ротор Оніпко має такі переваги:**

• він працює безшумно, на відміну від лопатевих, які виробляють інфразвук, що несприятливо діє на все живе в окрузі;

• діапазон робочої швидкості вітру від 0,3 до 20 м/с - інші установки починають обертатися при швидкості вітру 3-5 м/с, а заявлену потужність можуть давати від 10 м/с;

• незвичайна форма лопатей дозволяє ефективно і без опору використовувати всю їх поверхню, виключений ефект аеродинамічного гальмування, що робить **коефіцієнт використання енергії вітру** (КВЕВ) близьким до **0,9 при звичайних 0,3-0,45**;

• підйом на велику висоту не потрібен, він може ефективно працювати в безпосередній близькості до поверхні, використовуючи потоки, що виникають від різниці температури і тиску.

БЕСШУМНИЙ ВІТРОГЕНЕРАТОР ВІД SIROCCO ENERGY



• *Плоский вітрогенератор від українського стартапу **Sirocco Energy** був запатентований у 2018 р. Він абсолютно безшумний, його можна встановлювати на кришах багатоэтажок. Прототип був протестований на даху виробничого приміщення. Зараз створюється промислова версія. Перші проекти направлені на випуск пристрою з потужністю 5 кВт, в подальшому потужність буде нарощуватися, - розповів директор компанії Sirocco Energy Олександр Приймак.*

• У компанії відзначають, що традиційні вітряки мають ряд недоліків - вібрація, високі навантаження, складність вироблення, низька ефективність при турбулентному вітрі та інші. У Sirocco Energy говорять, що їм удалося створити принципово нову технологію, яка не має вищевказаних недоліків. *Вітряні панелі Sirocco мають поступальний, а не обертальний рух, тим вони відрізняються від горизонтальних і вертикальних вітрових турбін. Вітрогенератор Sirocco Energy має найнижчий рівень шуму та вібрацій. Потужність генератора - до 30 кВт. Ширина вітрогенератора - п'ять метрів, висота мачи - 14 метрів.* У перспективі компанія планує розробити модулі потужністю 1 МВт і більше для виходу на ринок великої вітроенергетики. Винахідникам вдалося досягти високого коефіцієнта *коефіцієнт використання енергії вітру (КВЕВ) - 0,52. При цьому теоретичний максимум дорівнює 0,593 (0,687).* Типове значення цього коефіцієнта для традиційних вітряків коливається в діапазоні 0,3-0,45.

• Sirocco Energy планує почати продаж вітрогенераторів в другій половині 2019 р. *Вітрова панель буде продаватися за ціною 2300 дол. за 1 кВт за перші три роки продажів, а потім до 2022 року ціна буде зменшена до 1600 дол. за 1 кВт.*

• https://elektrovesti.net/66694_besshumnyy-vetrovoy-generator-ot-ukrainskogo-startapa-sirocco-energy

ВІТРОГЕНЕРАТОР VORTEX BLADELESS



• *Вітрогенератор Vortex* радикально відрізняється від звичного дизайну вітрогенераторів - у нього немає обертових лопатей (взагалі не проглядаються якісь рухомі частини), а зовнішній вигляд нагадує гігантську бейсбольну бити, що погойдуюється. *Принцип роботи нового пристрою заснований на феномені «вихрової доріжки Кармана» - явище, при якому спостерігаються утворення ланцюжків вихорів при обтіканні газом або рідиною циліндричних об'єктів.*

• Компанія заявляє, що конструкція *вітротурбіни Vortex Bladeless* дозволяє *знижити виробничі витрати на 53%, скоротити витрати на технічне обслуговування на 80% і зменшити вуглецевий слід (кількість парникових газів виділених при виробництві продуктів, транспортуванні тощо) на 40% в порівнянні з лопатевими вітровими установками.* Крім того, творці стверджують, що новий вітряк працює тихіше звичайних турбін і представляє набагато меншу загрозу для птахів і всього навколишнього середовища. *У Vortex запевняють, що їх вертикальний безлопатний вітрогенератор може генерувати більше енергії в меншому просторі, оскільки його габарити менші традиційних вітроустановок.* Крім того, конструкція дозволяє розташовувати вітряки набагато ближче один до одного - важливий фактор для проектування і будівництва великих ВЕС. Перша модель, представлена Vortex, називається Mini і являє собою *вітрогенератор потужністю 4 кВт і висотою в 12,5 метрів.* Він призначений для невеликих ВЕС і приватних домогосподарств. Також ведуться роботи над створенням Gran - моделі з потужністю в 1 МВт і більше, яка стане основою для створення великих вітропарків.



https://building-tech.org/Энергия/вертикальный-безлопастной-ветрогенератор-vortex-работает-от-выбратсыу?fbclid=IwAR0jd83uYybKK1ex3IR8oTWTJ3Wm_-VSoH32i6MaUfh0JWf2qFG5KE82bESY

<https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=161379>

СУЧАСНИЙ СТАН ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ

- У більшості розвинених країн в умовах державного стимулювання виробництва електроенергії на основі відновлюваних джерел енергії за останні роки досягнуто великий прогрес у будівництві та використанні ВЕУ. Активно освоюється енергія вітру в країнах, що розвиваються - Індії, Китаї, Бразилії, Єгипті та ін.
- Завдяки впровадженню науково-технічних досягнень, збільшенню потужності вітроелектростанцій, об'єднуючих ряд ВЕУ, вже до початку XXI ст. **собівартість електроенергії, вироблюваної ВЕС, знизилася до 6-7 центів за кВт год і практично зрівнялася із собівартістю електроенергії ТЕС, а з урахуванням додаткових витрат, пов'язаних з екологічними чинниками, буде нижчою. Питомі капіталовкладення, що припадають на 1 кВт встановленої потужності, на великих ВЕУ (порядку 1000 дол/кВт) менше, ніж на вугільних ТЕС. Подальше зниження вартості і підвищення ефективності ВЕС досягаються за рахунок збільшення потужності ВЕУ і ВЕС, зростання техніко-економічних показників ВЕУ при впровадженні нових науково-технічних рішень.**
- Тому розвиток ВЕС йде по шляху як збільшення одиначної потужності ВЕУ, так і їх кількості у складі ВЕС і відповідно в цілому потужності ВЕС. Модульне компонування ВЕС при збільшенні одиначної потужності ВЕУ за останні роки до 5 МВт і більше створює сприятливі умови для їх роботи в об'єднаних енергосистемах, дозволяє підвищити їх надійність і ефективність. Найважливіший показник - **коефіцієнт використання встановленої потужності** (КВВП) - **виріс до 25%, а за прогнозами до 2030 р. може досягти 30%**. Широкий розвиток отримало будівництво ВЕС на шельфі в прибережних в основному мілководних акваторіях в Данії, Голландії, Швеції, Англії та інших країнах.
- **В 2016 р. сукупна потужність вітряків перевищила 490 млн кВт (73 ГВт нових потужностей було введено в експлуатацію в 2016 р.). Такий же показник у всіх діючих АЕС на планеті** він складає 382 млн 300 тис. кВт. Однак атомні станції **в реальності виробляють на дві третини більше енергії, ніж вітряні, які можуть простоювати в тихі безвітряні дні.** У той же час, **при збереженні нинішніх тенденцій сукупна потужність вітряків до 2030 року досягне 2 млрд кВт.,** тоді вони перевершать АЕС і за реально виробленої кількості електроенергії. Деякі країни особливо інтенсивно розвивають вітроенергетику, зокрема, на 2014 рік **в Данії за допомогою вітрогенераторів виробляється 39% всієї електрики; в Португалії - 27%; в Нікарагуа - 21%; в Іспанії - 20%; Ірландії - 19%; у Німеччині - 8%; в ЄС - 7,5%.** У 2014 році 85 країн світу використовували вітроенергетику на комерційній основі. За підсумками 2014 року в вітроенергетиці зайнято більше 800 000 чоловік у всьому світі (у тому числі 356 000 у Китаї та 138000 у Німеччині). Вітрові установки Німеччини в 2015 р. виробили 2282,4 МВт електроенергії. В планах уряду встановлення до 2025 р. 11 ГВт потужності. Сукупна потужність електрики, що вироблена вітряними станціями в США в 2015 р., досягла 82 ГВт, на 2 ГВт перевищивши потужність від гідроелектростанцій. **Сукупна потужність вітряних електростанцій в Європі в 2016 році досягла 153,7 ГВт, поступившись за цим показником лише ТЕС, що працюють на природному газі.** При цьому енергія, **отримана вітряками, склала 10,4% від загального обсягу споживання електрики в європейських країнах.**

НАЙКРУПНІШІ ВІТРОПАРКИ

• Після аварії на АЕС Фукусіма-1 Японії довелося відмовитися від будівництва нових атомних станцій, проте одночасно з цим, в країні почали активно розвивати альтернативну енергетику. Відповідно до заявлених планів, до 2020 р. **в 16 кілометрах від Фукусіми повинна з'явитися морська вітрова електростанція, що складається з 143 вітрових турбін, що займуть понад 16 км узбережжя.** У завдання цієї електростанції увійде заміщення тих потужностей, що давала АЕС, виведена з ладу землетрусом і цунамі в 2011 році. Очікується, що вітряна станція **буде генерувати близько 1 ГВт електрики** і увійде в мережу джерел відновлюваної енергії федерального масштабу. Раніше в Японії заявили, що планують замінити всі 54 атомні станції за рахунок поновлюваних джерел. **З березня 2011 р. в Японії вже були закриті 52 з 54 АЕС.** Якщо дивитися більш глобально, **то Японія збирається до 2040 р. стати повністю енергетично незалежною, причому в основному завдяки відновлюваній енергетиці.**

• На сьогодні **найпотужнішою в світі вітряною станцією** є станція **London Array**, що складається з 175 турбін і виробляє **630 МВт електрики**. Будівництво станції почалося в березні 2011 р, перші турбіни (виробництва компанії Siemens AG) почали працювати в жовтні 2012 г, а повністю станція була введена в експлуатацію в липні 2013 р. Вартість будівництва склала 1,5 мільярда фунтів стерлінгів (**2,3 мільярда доларів**).

• Японська станція повинна випередити за потужністю і її. На першому етапі будівництва буде прокладений підводний кабель, який буде об'єднувати між собою двомегаватні турбіни. **Самі турбіни будуть досягати 200 метрів у висоту, що зробить їх по-справжньому грандіозними.** Щоб зробити турбіни стійкими, планується розмістити на їх підставці важкий баласт, а стовпи турбін поглибити у дно майже на 90 м. Коли ця станція буде введена в експлуатацію, вона замінить собою потужності двох сусідніх АЕС, а крім того буде істотно безпечнішою і не викидатиме шкідливих речовин в атмосферу.

• Компанія **Dong Energy**, яка спеціалізується на створенні морських вітряних ферм, заявила про прийняття рішення про будівництво в Великобританії найбільшого в світі морського вітропарку, **потужністю 1,218 ГВт.** Система вітряних електростанцій зможе забезпечити енергією понад мільйон будинків. Hornsea Project One розміститься на півночі Англії біля узбережжя Йоркшира. Ферма з 174 вітровими турбінами буде займати 407 км², а кожний вітроагрегат буде досягати 190 м у висоту. Будівництво планується завершити у 2020 р. За словами представника компанії, проект перевершить будь-який з уже наявних морських вітропарків. Будівництво вітряної ферми забезпечить 2 тисячі робочих місць, а при введенні її в експлуатацію роботу отримають 300 осіб.



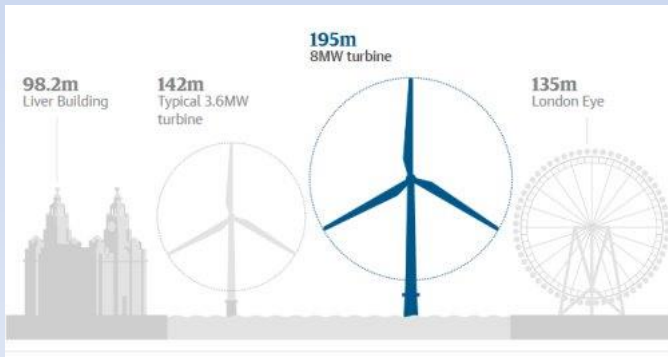
Завдяки сильним вітрам і підходящій географії, в Великобританії вітроенергетика отримала за останнє десятиліття значний розвиток. Тут вже розташовуються три найбільші офшорні вітряні ферми: **London Array, Gwynt у Môr u Greater Gabbard.**

НАЙКРУПНІШІ ВІТРОПАРКИ

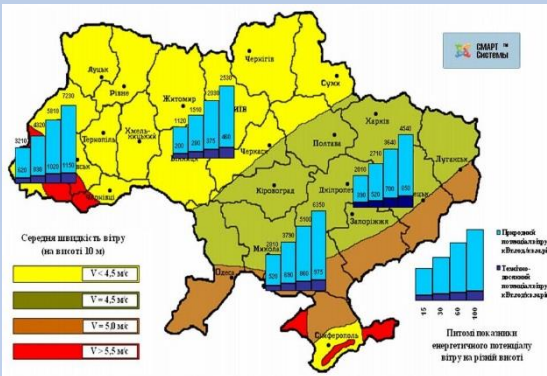
• У 2017 р. Великобританія офіційно стала світовим лідером в області вітряної енергетики. Це сталося після того, як фахівці датської компанії Dong Energy закінчили установку останньої з 32 турбін вітрогенераторів, що входять до складу "ферми" **Burbo Bank**, розташованої у морі неподалік від Ліверпуля. Ці турбіни, які є найбільшими і потужними в світі на сьогоднішній день, встановлені **на вежі, висотою 195 метрів, а довжина кожної лопаті дорівнює довжині дев'яти автобусів**, що стоять у ряд.



Сьогодні сумарно в Великобританії виробляється близько 5,3 ГВт екологічно чистої енергії, якої достатньо для постачання у 4,3 мільйони середньостатистичних житлових будинків. Але, на жаль, Великобританії не судилося залишатися на лідируючій позиції довгий час. Компанія Dong Energy недавно отримала добро на початок будівництва в Німеччині нової вітряної електростанції. І коли справа торкнеться початку будівництва на ринку вже повинні бути доступні вітряні генератори, **потужністю від 13 до 15 МВт.** В Європі на різних стадіях розвитку перебувають 50 проектів плавучих вітряних електростанцій, а Шотландія планує в 2020 р. виробити з поновлюваних джерел енергії еквівалент 100% споживаної в країні електрики.



ВІТРОЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ



Тарханкутська вітроелектростанція в Криму (Україна)

•В Україні є необхідність і є умови для швидкого розвитку вітроенергетики. Однак Україна за рівнем використання енергії вітру знаходиться на 14-му місці серед країн Європи. *В умовах України за допомогою вітроустановок можливе використання 15-19% річного обсягу енергії вітру, що проходить через перетин поверхні вітроколеса. Очікувані обсяги виробництва електроенергії з 1 м² перетину площі вітроколеса в перспективних регіонах складають 800-1000 кВт·год/м² на рік.* Використання вітроустановок для виробництва електроенергії в промислових масштабах найбільш ефективно в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру > 5 м/с: на Азово-Чорноморському узбережжі, в Одеській, Херсонській, Запорізькій, Донецькій, Луганській, Миколаївській областях, АР Крим та в районі Карпат. У 2015 р. вітроелектростанції материкової частини України, сумарна потужність яких станом на 31.12.2015 р. склала 426,2 МВт, виробили 1 125,0 млн кВт-год електроенергії. Це майже 0,73% від загальної річної генерації електроенергії в країні.

•Вітроелектростанції відкриті в 4 регіонах України:

- 1) Новотроїцька ВЕС (загальна потужність 69 МВт) відкрита в Херсонській області у вересні, поки працює перша черга потужністю в 44 МВт;
- 2) Причорноморський вітропарк (загальна потужність 20,8 МВт) відкритий в жовтні в Миколаївській області, працює поки на 8,5 МВт;
- 3) ВЕС «Старий Самбір-2» (загальна потужність 20,7 МВт) - відкрита також в жовтні у Львівській області у Старосамбірському районі.



ВІТРОЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ

WIND ENERGY CAPACITY INSTALLATIONS

H1 2019

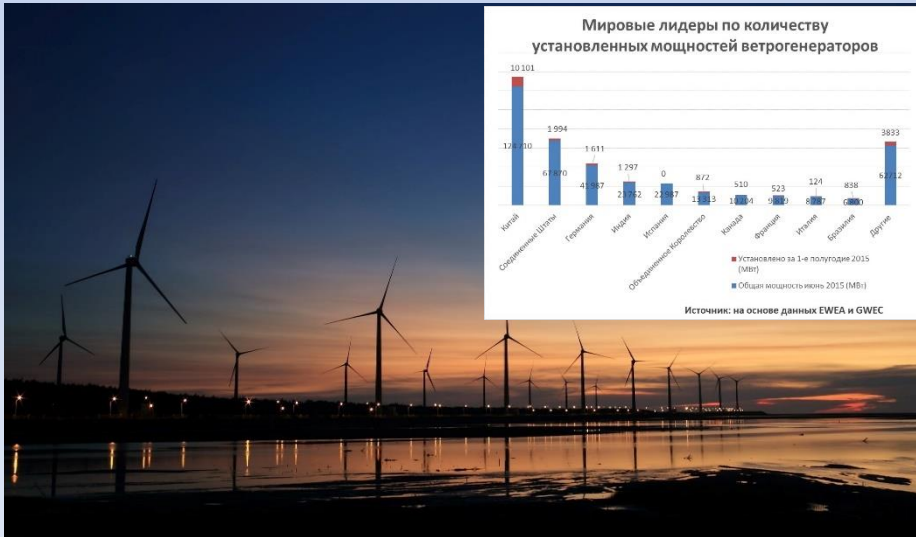
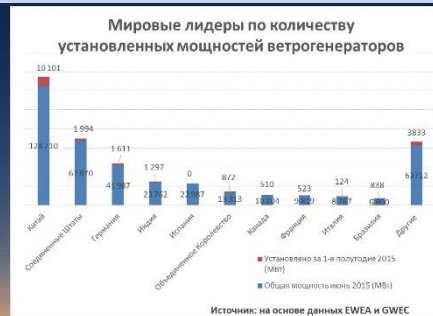
Onshore	MW	Offshore	MW
France	523	UK	931
Sweden	459	Denmark	374
Germany	287	Belgium	370
Italy	286	Germany	252
Ukraine	262		

• *Україна потрапила в ТОП-5 країн Європи за кількістю вітроелектростанцій. За першу половину 2019 р. вона виробила 262 МВт «зеленої» вітряної енергії. Перше місце зайняла Франція, де вироблено найбільшу частку енергії - 523 МВт. У п'ятірці свої місця займають також Швеція - 459 МВт, Німеччина - 287 МВт і Італія - 286 МВт. Всього в Європі за останні півроку виробили 2,97 ГВт вітрової електроенергії.*

• Європа інвестувала 8,8 млрд євро в будівництво нових вітроелектростанцій за перше півріччя 2019 р. За ці кошти повинні встановити електростанції потужністю 5,9 гігават протягом декількох років.

• В ЄС планують, що до 2030 року поновлювана енергетика складе 32% від всієї енергетики в Європі.

• **Головний недолік ВЕС** для українських користувачів - *їх вартість вище в порівнянні з сонячними панелями.* Так, вартість споруди під ключ 1 кВт вітроустановки становить близько 3,5 тис. дол. (СЕС обходиться в 700-1000 дол. за 1 кВт). Тобто ВЕС потужністю 1 МВт обходиться в 1200000 дол. Відповідно, *термін окупності відсувається і досягає 5-7 років.*

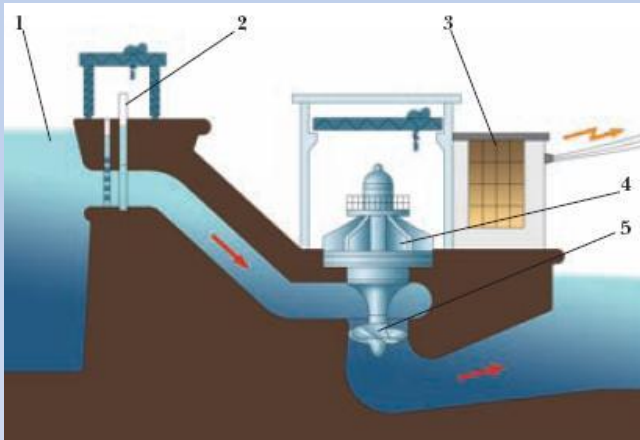


ГІДРОЕНЕРГЕТИКА

Частка гідроенергетичних ресурсів в світовому виробництві електроенергії досягає 15%. Потенційні гідроенергетичні ресурси річок оцінюються величиною потужності 1000 ГВт. Сумарно економічні гідроенергетичні ресурси, використання яких в даний час виправдано, складають 9800 млрд. кВт · год.

Найбільші в світі ГЕС, що експлуатуються, за їх встановленою потужністю:

1. **"Три ущелини"** ("Санься", Китай) на річці Янцзи. Її потужність - 22,5 ГВт, річний виробіток до 100 млрд кВт-год. Проект зі створення обійшовся державі в \$22,5 млрд. При будівництві було переселено близько 1,3 млн осіб, під водою залишилося 1300 історичних пам'яток.



2. **"Ітайпу"** на кордоні між Бразилією і Парагваєм, є спільним проектом цих країн. Потужність 14,0 ГВт, річний виробіток 95 млрд кВт-год. Забезпечує 90% потреб в електроенергії Парагваю і 19% - Бразилії. Остаточна вартість споруди становила \$ 15.3 млрд.

3. **ГЕС імені Сімона Болівара** ("Гурі", Венесуела). Потужність 10,3 ГВт, річний виробіток 40 млрд кВт-год. На станції виробляється близько 80% всієї електрики в країні.

4. **"Тукуруї"** (Бразилія). Потужність 8,3 ГВт, річний виробіток 21 млрд кВт-год.

ГІДРОЕНЕРГЕТИКА

5. *"Гранд-Кули"* (США). Найбільша ГЕС в Північній Америці, розташовується на річці Колумбія. Потужність 6,8 ГВт.

6. *Красноярська ГЕС* (Росія) входить до Енисейського каскаду ГЕС. Потужність 6,0 ГВт. При її проектуванні *були допущені екологічні помилки*. Зокрема, передбачалося, що незамерзаюча ополонка матиме довжину 20 км, але вона досягає 200 км, це вплинуло на екологію і клімат регіону.



7. *«Черчилль-Фолс»* (Канада). Потужність 5,43 ГВт, річний виробіток 35 млрд кВт-год. Це дериваційна ГЕС, споруджена на місці водоспаду Черчилл висотою 75 м.

8. *"Робер-Бурасса"* (Канада). Потужність 5,6 ГВт. Частина комплексу гідроелектростанцій, побудованих на річці Ла-Гранде.

9. *Братська ГЕС* (Росія), частина Ангарського каскаду. Потужність 4,5 ГВт. Велика частина електрики, близько 75%, споживається Братським алюмінієвим заводом. В ході заповнення водосховища було затоплено близько 100 сіл і 70 господарсько освоєних островів.

10. *Усть-Ілімська ГЕС* (Росія), частина Ангарського каскаду. Потужність 3,84 ГВт.

НАЙБІЛЬШІ ГЕС УКРАЇНИ

На кінець 2015 р. потужність всієї генерації України оцінювалася в 55904 МВт, в тому числі ГЕС - 5884 МВт (10,5% від загальної). На власне ГЕС припадало 4698 МВт, ГАЕС - 1186 МВт. У країні експлуатуються 10 великих ГЕС і три ГАЕС (дві з них поки не досягли проектної потужності). У країні також працює близько 80 так званих малих ГЕС (потужність яких менше 10 МВт), загальною встановленою потужністю 110 МВт. Найбільша з них - Ладжинська ГЕС на річці Південний Буг. Її потужність 7,5 МВт, середньорічне вироблення 36,2 млн кВт · год.

Найбільші ГЕС України

Найбільші ГЕС України	Встановлена потужність, МВт	Середнє вироблення, млн кВт·год	Рік введення останнього блоку
Дніпровська	1 462	4 008	2008
Дністровська-1	702	865	1983
Кременчугська	625	1 506	1960
Канівська	444	972	1975
Київська	409	790	1968
Дніпродзержинська	352	1 328	2008
Каховська	351	1 489	1956
Дністровська-2	41	--	2000
Теребля-Рика*	27	133	1956
Олександрівська	12	30	1999

Гідроакumuлюючі електростанції

Назва	Встановлена потужність, МВт, турбінна/насосна	Рік введення останнього блоку
Дністровська*	972/1248	2015
Ташликівська**	300/460	2007
Канівська***	1000/1040	-
Київська	236/135	1972



* Перша черга, три агрегати; ** перша черга, два агрегати; ***будівництво

МАЛА ГІДРОЕНЕРГЕТИКА

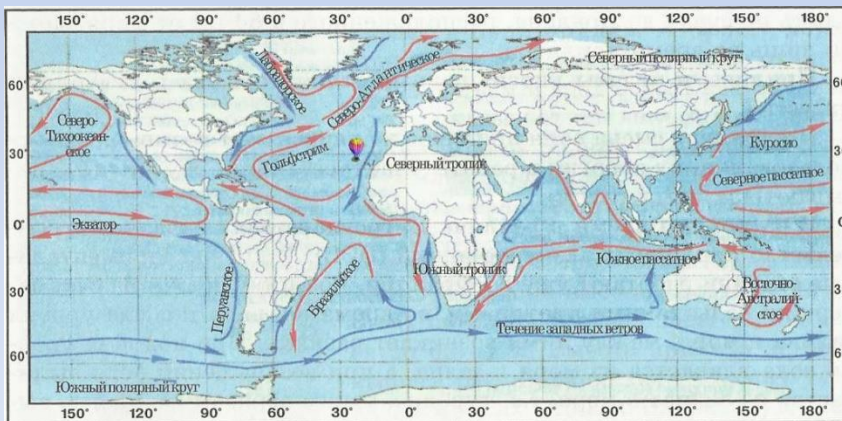
- *Мала гідроенергетика, яка є найбільш освоєним з нетрадиційних відновлюваних джерел електроенергії.* Вона дозволяє використовувати великий гідроенергетичний потенціал малих річок та приток, систем водопостачання, іригації з видачею електроенергії в енергосистему, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів, особливо в слаборозвинених і країнах, що розвиваються, з обмеженою системою централізованого електропостачання. До переваг малих ГЕС відносяться відносно невеликий обсяг інвестицій і короткий термін будівництва, що дозволяє прискорити отримання прибутку, мінімальний вплив на навколишнє середовище, надійність електропостачання та близькість до споживача.
- *До об'єктів малої гідроенергетики відносяться малі ГЕС відповідно до міжнародної класифікації потужністю до 30 МВт (у Швейцарії, Україні не більше 10 МВт), міні-ГЕС - від 0,1 до 1,0 МВт, мікро-ГЕС - не більше 0,1 МВт.*
- *Залежно від умов створення напору ГЕС використовуються основні схеми: **зреблева, дериваційна, змішана.***
- *У більшості розвинених країн досягнутий високий рівень освоєння ресурсів малої гідроенергетики. Так, **потужність експлуатованих малих ГЕС (2007 р.) становить: в Австрії - 1,1 млн. кВт, у Франції - 2,1 млн. кВт, у Німеччині - 1,6 млн. кВт, Норвегії - 1400000 . кВт, в Іспанії - 1,8 млн. кВт, у Швейцарії – 0,8 млн кВт, в Японії - 3,5 млн. кВт, у Канаді - 2 млн. кВт.** Їх широке освоєння спостерігається в країнах, що розвиваються. **Світовим лідером у використанні малої гідроенергетики є Китай,** де потужність малих ГЕС становить близько 35 млн. кВт з виробленням 110 млрд. кВт·год (2007 р.) і ведеться їх розгорнуте будівництво.*
- ***В Україні загальна потужність малих ГЕС, що експлуатуються, становить понад 100 МВт,** ще більше 100 малих і міні-ГЕС вимагають відновлення та реконструкції. Загальний економічно ефективний потенціал малих ГЕС України оцінюється в більш ніж 3,0 млрд. кВт·год. Велика частина неосвоєного потенціалу знаходиться в Карпатському регіоні, де передбачається будівництво малих ГЕС з водосховищами комплексного призначення. Будується каскад малих ГЕС на р. Тересві потужністю 16 МВт. **У відповідності зі стратегією розвитку малої гідроенергетики планується довести потужність малих ГЕС до 2020 р. до 700 МВт, а до 2030 р. до 1040 МВт.** Прийняті законодавчі акти (закони «Про альтернативні джерела енергії», «Про зелений тариф») створюють сприятливий інвестиційний клімат для будівництва малих ГЕС.*



- Більшості фахівців, що займаються енергоефективністю та відновлювальною енергетикою достеменно відомо, що в загальному балансі генерації з ВДЕ, входить і гідроелектростанції. Незважаючи на те, що при використанні енергії падаючої води для вироблення електрики немає вуглецевого сліду, сама споруда ГЕС завдають шкоди природі. Крім того, що такі електростанції змінюють річковий ландшафт, вони ще й смертельно небезпечні для риб, які разом з потоком потрапляють в турбіни, а крім того, змінюють звичні шляхи міграції та місця проживання річкової фауни.
- Одне з технічних рішень, обраних в цьому напрямку - це створення міні і мікро ГЕС. Однак, німецькі гідробудівники запропонували своє оригінальне технічне рішення, - гідроелектростанцію нового типу, розроблену в Мюнхенському технічному університеті, яка забезпечує електрикою близько 800 будинків і майже не завдає шкоди природі.
- Німецькі вчені стверджують, що розроблена ними шахтна ГЕС позбавлена недоліків, які є у великих станцій щодо шкоди природі. Оригінальним рішенням є те, і це зрозуміло з назви, що турбіна і генератор такої станції розташовуються в шахті перед греблею нижче рівня дна річкового русла. Вода протікає через шахту, обертає турбіну і випливає знизу під греблею. Невелика частина води проходить зверху - вище шахти і греблі. Механізм станції влаштований таким чином, що не дивлячись на високу ефективність, потік води в шахті досить слабкий, і як показали дослідження на різних прототипах, більшість риб здатні проплисти через неї без будь-яких пошкоджень. Спуститися вниз за течією вони можуть також і через два спеціальних отвори в греблі, а піднятися назад - по сходовому проїжджати. Крім того, шахтна ГЕС не затримує валуни і деревину, які рухаються за течією і важливі, зокрема, для нересту. Вони залишаються на решітці, що закриває шахту, а потім просто скидаються спеціальним механізмом вниз з греблі.

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ТЕЧІЙ

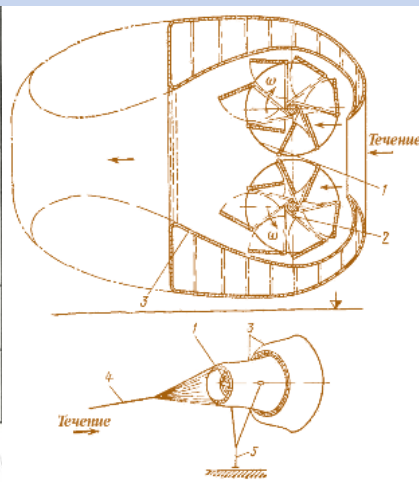
• В останній час ведуться широкомасштабні дослідження щодо практичного використання великого потенціалу течій в морях і океанах, які поділяють на неперіодичні, мусонні (пасатні) і припливно-відливних. З них в першу чергу розглядається можливість використання енергії головних неперіодичних течій (Гольфстрім, Куросіо та ін.), **сумарний енергетичний потенціал яких за різними методиками оцінюється від 5 до 300 млрд. кВт.** Такі різкі розбіжності в оцінках можна пояснити відмінностями в методиках розрахунку, відсутністю достатньо практичного досвіду, обґрунтованих уявлень про можливі параметри використання енергії течії та екологічні наслідки. **Попередньо оцінюється можливість використання до 1-2% енергії течій в морях і океанах без негативних екологічних наслідків.** Істотними позитивними факторами використання їх енергії є висока забезпеченість їх потужності, закономірність змін потужності в часі протягом року. Так, **течії Гольфстрім і Куросіо несуть відповідно 83 і 55 млн. м³/с води, а, наприклад, енергетична потужність флоридської течії (частина Гольфстріму) біля східного узбережжя США з витратою 30 млн. м³ оцінюється потужністю близько 20 млн. кВт.** Запропоновано різні типи великих енергетичних установок для використання енергії безнапірних потоків океанської течії (рис.), а також невеликих установок для використання енергії течій в річках, каналах.



Тепле течення
Холодне течення



<http://islatenerife.ru>



Установка для перетворення енергії океанської течії: 1 - лопатеве робоче колесо; 2 - механічна система повороту лопатей; 3 - струміне-спрямовуюча труба; 4 - анкерні розчалування; 5 - якірне кріплення

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ТЕЧІЙ



•В Японії успішно проведено перші великі випробування новітньої мобільної електростанції, що **виробляє енергію за допомогою течій в океані**. Роботи тривали близько п'яти днів в районі дії сильної течії Куросіо біля острова Кутіносіма на південному заході країни. Електростанція має вигляд трьох з'єднаних між собою циліндрів довжиною приблизно по 20 метрів. У торцях двох з них знаходяться генератори з лопатями діаметром близько 11 метрів. Середній циліндр є свого роду поплавком, а два інших виробляють електрику, яка передається за кабелями на берег. **Потужність установки - 100 кВт**. Система, яку розробники назвали **«Кайра»** - дітище Організації розвитку нової енергетики і промислових технологій, а також підприємства INI Corporation. **Електростанція пройшла випробування на глибинах від 20 до 50 метрів, досягнувши вироблення близько 30 кВт в момент максимуму**. Вчені заявили, що продовжать роботу в цих водах, оскільки течія Куросіо тут відрізняється стабільністю і інтенсивністю. **Розробники назвали випробування першими успішними в історії людства в цій галузі електроенергетики. Використання енергії океанічних течій, за їхніми словами, набагато вигідніше сонячних електростанцій.** Участь у комерційних проектах з новими установками можливі вже до 2020 року.

ХВИЛЬОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

- В даний час знаходять практичне застосування установки з використання енергії хвиль у морях і океанах, сумарна потужність яких за різними методиками оцінюється в більш ніж **100 млрд. кВт**.
- При середній висоті хвиль у Світовому океані 2,5 м і періоді 8 с питомий потік енергії, який припадає на 1 м фронту хвилі, **становить 75 кВт/м**. Питомий потік енергії вітрових хвиль, наприклад, в морях країн СНД (кВт/м): Азовському - 3, Чорному - 6-8, Каспійському - 7-11, Охотському - 12-20, Японському - 21-31, а сумарна потужність хвиль, що набігають на узбережжі (в межах СНД), становить (млн. кВт): на Чорному морі - 14,7; Каспійському 67,5; Баренцовому - 56, Охотському - 129.
- До позитивних факторів хвильової енергії відносяться значний сумарний потенціал, збільшення потужності в осінньо-зимовий період, коли зростає споживання електроенергії, а до недоліків - її уривчастість.
- У різних країнах експлуатується велика кількість навігаційних буїв, що використовують енергію хвиль. У 1985 р. в Норвегії були введені в дію і підключені до енергосистеми **дві перші в світі дослідно-промислові хвильові електростанції**.



КОНСТРУКЦІЯ ХГЕС

• **Хвильові гідроенергетичні установки** складаються з трьох основних частин - робочого тіла (або водоприймача), силового перетворювача з генератором електроенергії та системи кріплення.

• **Робоче тіло** (тверде, рідке або газоподібне), безпосередньо контактує з водою, переміщується під дією хвиль або змінює тим чи іншим чином умови їх розповсюдження. Як робоче тіла можуть використовуватися **поплавці, хвилеприймальні камери, еластичні труби, хвилевідбійні споруди та інші**.

• **Силовий перетворювач** призначений для перетворення енергії, що запасена, робочим тілом (механічної енергії руху твердого тіла, перепаду рівнів води в басейнах, тиску повітря або рідини), в енергію, придатну для передачі на відстань або для безпосереднього використання. Як силові перетворювачі можуть застосовуватися гідравлічні і повітряні турбіни, водяні колеса, зубчасті або ланцюгові передачі та інші пристрої. **Система кріплення** забезпечує утримання на місці хвильової установки. Різні типи хвильових установок відрізняються тієї складової енергії вітрових хвиль (різновидом кінетичної або потенційної енергії), яку робоче тіло установки перетворює в інший вид енергії. **Однією з найбільш ефективних вважається пневматична хвильова електростанція (рис.)**. Основною частиною такої установки є камера, нижня відкрита частина якої занурена під найнижчий рівень води (улоговину хвилі). При піднятті і опусканні рівня води в морі в камері відбувається циклічне стиснення і розширення повітря, рух якого через систему клапанів приводить в обертання повітряну турбіну. **Така система широко застосовується у світі для живлення електроенергією навігаційних буїв**.

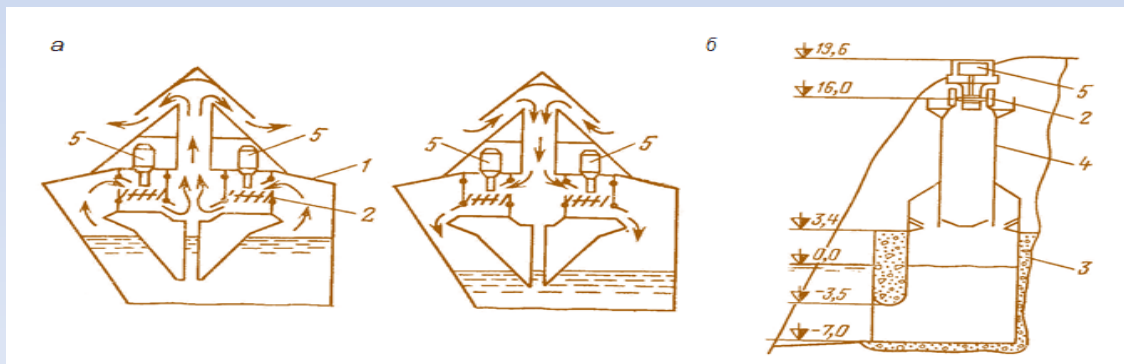
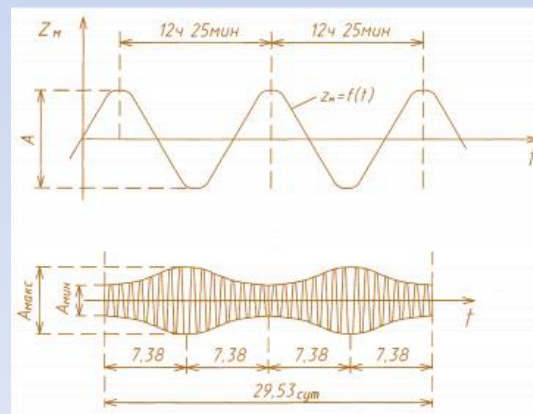


Схема пневматичної хвильової електростанції: а - схема руху повітряного потоку; б - схема хвильової електростанції; 1 - корпус; 2 - повітряна турбіна; 3 - повітряна камера; 4 - сталева вежа; 5 - генератор

ПРИПЛИВНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

• Енергія припливів використовувалася людьми здавна шляхом влаштування приливних млинів на узбережжі Англії, Франції, Іспанії, Росії, Канади, США та інших країн.

• *Особливістю приливних електростанцій (ПЕС) є використання ними природно відновлюваної енергії морських припливів, природа яких пов'язана з приливоутворюючою силою, що виникає при гравітаційній взаємодії Землі з Місяцем і Сонцем.* Для водяної оболонки Землі практичне значення має лише горизонтальна складова приливоутворюючої сили. *Через близькість Місяця до Землі величина припливу під впливом Місяця в 2,2 рази більша сонячного.* На узбережжях морів і океанів найбільш часто зустрічається півдобовий прилив, у якого за місячну добу (24 години 50 хв.) максимальна хвиля припливу приходить двічі (рис. а). *Величина припливу A визначається різницею рівня води при максимальному підйомі і мінімальному зниженні за період припливу. Максимальне відхилення від середнього рівня моря називають амплітудою припливу, вона дорівнює $0,5 A$.* Нерівномірність приливних коливань протягом місячного місяця характеризується зміною величини припливу від $A_{\text{макс}}$ (*сизигія*) до $A_{\text{мін}}$ (*квадратура*). Зміну величини припливу протягом місячного місяця (29,5 діб) наведено на рис. б. Закономірність зміни припливів всередині місяця, викликана рухами Місяця і Сонця, залишається практично незмінною для всіх місячних місяців.



Графіки приливних коливань рівня моря:

а - напівдобового припливу;

б - місячної зміни величини припливу

ПРИПЛИВНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

- Амплітуди і форми припливів-хвиль на різних узбережжях Світового океану істотно розрізняються, що пов'язано і з такими факторами, як глибина, конфігурація берегової лінії та ін. *Так, **максимальна величина припливу $A_{\text{макс}}$ що складає 19,5 м, спостерігалася в Канаді в затоці Фанді на узбережжі Атлантичного океану, 16,3 м - в Англії в гирлі р. Северн, 14,7 м - на півночі Франції, 11,0 м - в Росії в Пенжінском затоці Охотського моря.***
- *Для створення ПЕС необхідні сприятливі природні умови, які включають: великі припливи ($A > 3-5 \text{ м}$); контур берегової лінії (бажано з утворенням затоки), що дозволяє відокремити від моря басейн для роботи ПЕС при мінімальній довжині і висоті перегороджує греблі, сприятливих геологічних умовах її заснування.*
- *Загальний потенціал можливої для використання приливної енергії в усьому світі орієнтовно оцінюється за потужністю в 1 млрд. кВт, а з вироблення - в 2000 млрд. кВт·год.*



*Перша в світі приливна електростанція «**Ля Ранс**», Франція. ПЕС, побудована в естуарії (широкому воронкоподібному гирлі) р. Ранс (Північна Бретань), має велику греблю, її довжина становить 800 м. Гребля також служить мостом, по якому проходить високошвидкісна траса, що з'єднує міста Св. Мало і Дінард. Потужність станції становить 240 МВт.*

СУЧАСНІ ПЕС

• В даний час в світі експлуатуються з 1967 р. ПЕС «Ля Ранс» (Франція) потужністю 240 МВт, з 1968 р. Кислогубська ПЕС (Росія) потужністю 0,4 МВт, з 1984 р. ПЕС Аннаполіс (Канада) потужністю 20 МВт, 5 невеликих ПЕС в Китаї загальною потужністю 4,3 МВт, у тому числі побудована в 1985 р. ПЕС «Цзянсянь» потужністю 3 МВт, завершується будівництво ПЕС на озері Сихва в Південній Кореї потужністю 254 МВт.

• Проекти великих ПЕС розробляються: в Англії - ПЕС Северн потужністю 8,6 млн. кВт, у Канаді - Кемберленд (1,15 млн. кВт) і Кобекуїд (4 млн. кВт), в Індії - ПЕС потужністю 7,4 млн. кВт в Камбейській затоці, а в Росії - Мезенська (8 млн. кВт) і Тугурська (3,6 млн. кВт), початок будівництва яких передбачається в період до 2020 р. У перспективі розглядається можливість створення гігантської Пенжинської ПЕС потужністю до 87 млн. кВт.

• Для ПЕС в основному застосовується найбільш ефективна **однобасейнова схема з односторонньою і двосторонньою дією**. До складу споруд приливних електростанцій входять будівля ПЕС, водопропускні споруди і глуха гребля.

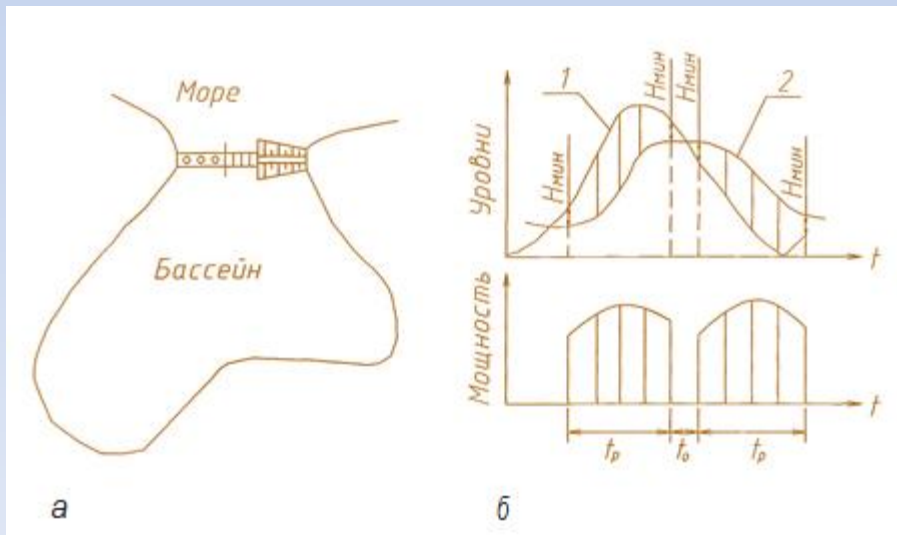


Схема ПЕС з одним басейном (а) і графік роботи ПЕС двосторонньої дії (б): 1 - рівні моря; 2 - рівні басейну; t_p - періоди видачі потужності; t_0 - період відкриття затворів для вирівнювання рівнів води в басейні і морі

РІЗНОВИДИ ПЕС

• При роботі приливних електростанцій в енергосистемі, де спостерігається надлишок електроенергії в провальній частині графіка навантажень, можливе застосування **однобасейнової** схеми двосторонньої дії з **насосною підкачкою**, що вимагає установки **оборотних агрегатів**. Ці агрегати, працюючи в насосному режимі в період провалу у графіку навантажень, збільшують об'єм води в басейні і дозволяють збільшити вироблення електроенергії при відпливі, спрацьовуючи додатковий обсяг води при збільшеному напорі. Основний ефект такої роботи досягається за рахунок кращого вписування циклу роботи ПЕС в графік навантаження енергосистеми. За такою схемою працює ПЕС «Ля Ранс».

• При однобасейній схемі односторонньої дії спрощується цикл роботи ПЕС і її робота відбувається в одному напрямі під час спорожнення або наповнення басейну, при цьому більш ефективною є робота турбін за схемою з випорожненням басейну. При такій схемі також може використовуватися насосна підкачка з установкою **оборотних агрегатів**. В залежності від конкретних умов для одних ПЕС більш ефективною може бути схема **односторонньої дії**, для інших - **двосторонньої дії**.

• Режим роботи ПЕС характеризується специфічними особливостями, пов'язаними з циклічністю припливів. ПЕС виробляє електроенергію протягом доби **переривчасто в періоди припливів**, які, однак, не збігаються в часі з піком в добовому графіку навантаження енергосистеми. У зв'язку з цим **більш ефективна робота ПЕС в енергосистемах може бути досягнута при установці на них оборотних агрегатів**, що дозволяє краще вписати цикл роботи ПЕС в графік навантаження енергосистеми. У цьому випадку ПЕС можуть також брати участь у покритті пікової частини графіка навантаження.

• В умовах низьких напорів на ПЕС знайшли застосування **горизонтальні капсульні оборотні агрегати** (ПЕС «Ля Ранс»). Останнім часом на проєктованих великих ПЕС розглядається ефективність використання горизонтальних агрегатів з **ортогональними (поперечно-струминними) гідротурбінами**.

• Тривалий досвід експлуатації ПЕС «Ля Ранс» потужністю 240 МВт підтвердив її ефективність при роботі в енергосистемі Франції спільно з іншими електростанціями. Тому у багатьох країнах, узбережжя яких омивається океанами, ведуться роботи з використання приливної енергії.

• Виконані широкомасштабні роботи по створенню нових технологій та обладнання для ПЕС, застосування наплавного методу будівництва і **нового гідроагрегату з ортогональної турбіною із ККД до 70%**, яка представляє собою поперечноструйну турбіну, здатну обертатися в одну сторону при приливі і відливі, дозволяють значно знизити капітальні вкладення і підвищити економічну ефективність ПЕС.

НОВІ РОЗНОВИДИ ПЕС

•*Інший варіант ПЕС дозволяє взагалі обходитися без греблі - на дні моря неподалік від берега встановлюються генератори з лопатями (на зразок вітряків), які обертаються рухливою водою під час припливів/відливів. Перша в світі комерційна приливна електростанція «SeaGen», розроблена компанією «Marine Current Turbines» (МСТ), встановлена в Північній Ірландії у вузькій морській затоці Лох-Стренгфорд, швидкість потоку води при припливі і відливів в якому може перевищувати чотири метри в секунду, і підключена до національних енергомереж. Її потужність 1,2 МВт.*

•*Ефективність використання відновлюваної енергії великих ПЕС може бути досягнута в умовах об'єднаних енергосистем при спільній роботі з ТЕС, АЕС, ГЕС і ГАЕС, завдяки чому при переривчастій роботі ПЕС в добовому циклі може забезпечуватися її оптимальне вписування в графік навантаження енергосистеми. Так, в період видачі максимальної потужності ПЕС (при максимальній величині припливу) ГЕС з регулюючими водосховищами можуть відповідно знижувати свою потужність і за рахунок цього збільшити потужність і вироблення в період пікової частини графіка навантажень, в період роботи в насосному режимі ПЕС використовує надлишкову енергію ТЕС і АЕС.*



*Приливна
електростанція
в Північній
Ірландії*

ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА

• **Вираз «геотермальна енергія» буквально означає, що це енергія тепла Землі** («гео» - земля, «термальна» - теплова). Основним джерелом цієї енергії служить постійний потік теплоти з розжарених надр, спрямований до поверхні Землі. Земна кора отримує теплоту в результаті тертя потоків магми в ядрі, радіоактивного розпаду елементів (торію і урану), хімічних реакцій. Постійні часу цих процесів настільки великі щодо часу існування Землі, що неможливо оцінити, збільшується або зменшується її температура.

• Запаси геотермальної енергії величезні. Геотермальна енергія в ряді країн (Угорщини, Ісландії, Італії, Мексики, Нової Зеландії, Росії, США, Японії) широко використовується для теплопостачання, вироблення електроенергії. **Так, в Ісландії за рахунок геотермальної енергії забезпечується 26,5% вироблення електроенергії. У 2004 р у світі сумарна потужність геотермальних електростанцій склала близько 9 млн. кВт, а геотермальних систем теплопостачання - близько 20 млн. кВт (теплових). За прогнозами потужність гео- ТЕС може скласти близько 20 млн. кВт, а вироблення електроенергії - 120 млрд. кВт год.**

• **Розрізняють п'ять основних типів геотермальної енергії:**

- нормальне поверхнєве тепло Землі на глибині від декількох десятків до сотень метрів;
- гідротермальні системи, тобто резервуари гарячої або теплої води, в більшості випадків самовиливної;
- парогідротермальні системи - родовища пари і самовиливної пароводяної суміші;
- петрогеотермальні зони або теплота сухих гірських порід;
- магма (нагріті до 1300 ° С розплавлені гірські породи).



Гейзери в Ісландії

ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА

•Серед родовищ глибинної теплоти Землі існують термоаномальні зони родовищ теплоти, які мають підвищений геотермальний градієнт у водонасичених проникаючих гірських породах. Таким чином, проявом геотермальної теплоти, що має практичне значення, є запаси гарячої води і пари в підземних резервуарах на відносно невеликих глибинах і гейзери, які виходять на поверхню.

•*Геотермальні води класифікують за температурою, кислотністю, рівнем мінералізації, жорсткістю.*

•Основним показником придатності геотермальних джерел для використання є їх природна температура, згідно з якою вони поділяються на **низькотермальні води з температурою 40-70 °С**; **середнетермальні води з температурою 70-100 °С**; **високотермальні води і пара з температурою 100-150 °С**; **парогідротерми і флюїди з температурою вище 150 °С.**

•Як приклад на рис. наведена одна зі схем використання геотермальних вод для опалення та гарячого водопостачання, при цьому розглядаються води особливої агресивності, які безпосередньо використовувати неможливо.

•*У США в Долині гейзерів розташовано 19 гео- ТЕС загальною потужністю 1300 МВт. Найпотужніша в світі гео- ТЕС (50 МВт) побудована теж в США – гео- ТЕС Хебер.*

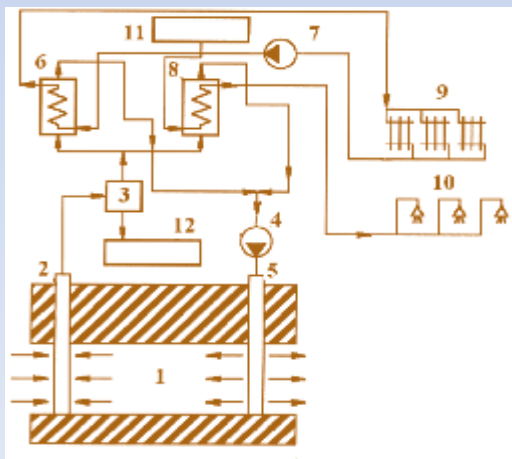


Схема геотермального теплопостачання з використанням агресивних геотермальних вод: 1 - підземний колектор; 2 - приймальна свердловина; 3 - газошламовідокремлювач; 4 - нагнітальний насос; 5 - нагнітальна свердловина; 6 - теплообмінник системи опалення; 7 - насос системи опалення; 8 - теплообмінник системи гарячого водопостачання; 9 - опалювальна система; 10 - система гарячого водопостачання; 11 - джерело води гарячого водопостачання; 12 - система утилізації газів і шламів

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ДОВКІЛЛЯ

• Джерелом теплопостачання можуть служити **телові насоси**, які перетворюють низькопотенціальну теплову енергію навколишнього середовища (води, ґрунту, повітря), а також теплові відходи промислових підприємств і комунальних служб в теплову енергію потрібного потенціалу. Перенесення теплоти від джерела низького потенціалу на більш високий температурний рівень здійснюється **підведенням механічної енергії або додатковим підведенням теплоти**. Найбільш простою конструкцією є тепловий насос парокомпресійного виду, схема якого наведена на рис.

• **Конструкція парокомпресійного теплового насоса** включає два теплообмінних апарати - випарник, в якому відбувається випаровування рідкого холодильного агента за рахунок підведення теплоти при невисокому тиску від середовища з низьким потенціалом, і конденсатор, в якому відбувається конденсація пароподібного холодильного агента при підвищеному тиску за рахунок віддачі теплоти теплоприймачу. У схемі передбачений компресор для відсмоктування з випарника і стискування пари холодильного агента до тиску конденсації.

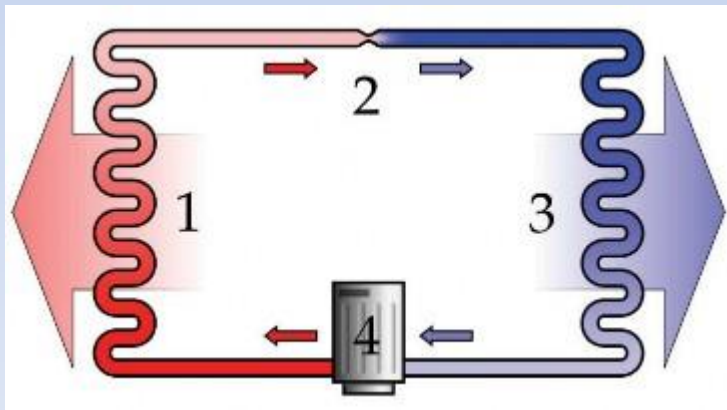


Схема парокомпресійного теплового насоса: 1 - конденсатор; 2 - дросель; 3 - випарник; 4 - компресор

ТЕПЛОВІ НАСОСИ

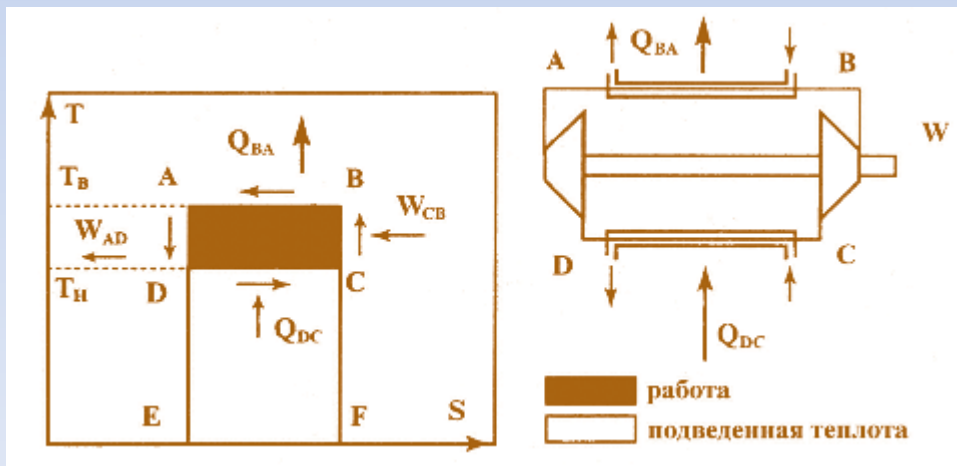
• Рівняння **теплого балансу** парокомпресійного теплового насоса має вигляд

$$Q_B = Q_H + W,$$

де Q_B - енергія, яка передається від конденсатора до робочого середовища високого потенціалу; Q_H - енергія середовища низького потенціалу, яка передається випарнику; W - механічна енергія, витрачена компресором на стискання холодильного агента.

• **Цикл Карно теплового насоса** (рис.) складається з таких процесів:

- ізотермічний процес DC підведення теплоти Q_{DC} (Q_H) на низькому температурному рівні T_H , що відповідає умовам теплообміну з навколишнім середовищем;
- ізентропічне стискання CB, в процесі якого до робочого тіла підводиться робота W_{CB} ;
- ізотермічний процес BA відведення теплоти Q_{BA} (Q_B) на високому температурному рівні T_B , що відповідає умовам теплообміну з середовищем, яке нагрівається;
- ізентропічне розширення AD, в процесі якого робоче тіло повертає енергію W_{AD} , внаслідок чого до компресора подається зовнішня енергія W , що дорівнює різниці енергій W_{CB} і W_{AD} .



Цикл Карно і схема ідеального теплового насоса

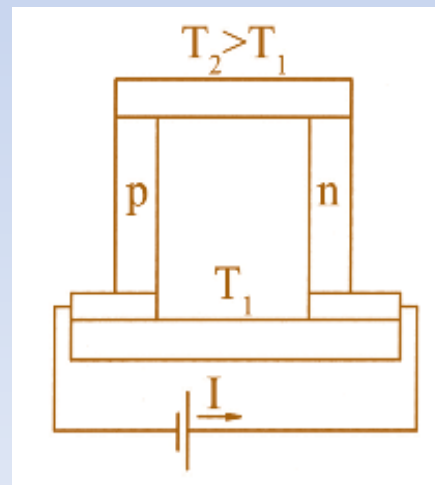
ТН НА ЕФЕКТІ ПЕЛЬТЬЄ

•Інший принцип роботи мають **термоелектричні теплові насоси**, дія яких базується на **ефекті Пельтьє**. Якщо взяти напівпровідниковий пристрій, конструкція якого показана на рис. 2.33, то при проходженні постійного струму через пристрій на $n - p$ переході виділяється теплота, а на переході $p - n$ вона поглинається. Таким чином, **зміною напрямку електричного струму і його величини можна регулювати величину отриманої теплоти або відповідного охолодження спая**.

•Теплові насоси такого типу знаходять широке застосування як кондиціонери в приміщеннях, для підігріву води на фермах і в багатьох інших випадках.

•Існують також теплові насоси, дія яких ґрунтується на використанні **ефекту Ранка-Хілша** (<http://shlif.by/index.php?mact=News,cntnt01,detail,0&cntnt01articleid=26&cntnt01returnid=20>), **подвійного циклу Ренкіна**, що працюють за циклом **Стірлінга**, **Брайтона** та інших видів. Ці теплові насоси мають обмежене застосування і специфічні умови використання.

•В цілому **теплові насоси дозволяють одночасно вирішувати такі проблеми, як енергозбереження, зменшення ендегенного впливу на довкілля, економія енергетичних ресурсів і поліпшення умов роботи теплоенергетичних виробництв.**



Принцип роботи термоелектричного теплового насоса

ДЖЕРЕЛА НИЗКОПОТЕНЦІАЛЬНОЇ ТЕПЛОТИ

• *Джерелами низкопотенціальної теплоти*, що забезпечують енергетично ефективну і економічно доцільну роботу теплонасосних установок, можуть бути:

- ґрунтова вода, яка зберігає протягом року постійну температуру на рівні плюс 8-12 °С;
- підземний ґрунт на глибині від 2 до 50 м при температурі плюс 10-14 °С;
- морська вода з мінімальною температурою в зимовий період плюс 5-8 °С;
- технічна вода систем охолодження ТЕС, АЕС, промислових та інших установок;
- стічні води очисних споруд населених пунктів та ін.

• *Застосування теплових насосів перспективно в комбінованих схемах в поєднанні з іншими технологіями використання поновлюваних джерел енергії* (сонячна, вітрова, біоенергетична) і в локальних системах. Так, ґрунтові теплові насоси з тепловою потужністю до 16 кВт (ККД до 6%) застосовуються для опалення будинків і кондиціонування.

• У багатьох розвинених країнах використання теплових насосів є одним з ефективних напрямів політики енергозбереження. *Значного поширення набули теплові насоси в локальних системах опалення США (600 тис.), Канади (136 тис.), Швеції (200 тис.), Німеччини (40 тис.), Японії та інших країн*, їх потужність буде швидко рости для теплопостачання (комунального та виробничого) в розвинених країнах.

• *За прогнозом Світового енергетичного комітету до 2020 р. використання теплових насосів для опалення та гарячого водопостачання складе 75%.*



ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ БІОМАСИ

• **Біомаса** є одним з найдавніших джерел енергії, однак її використання донедавна зводилося до прямого спалювання на відкритому вогні або в печах і топках з відносно низьким ККД.

• **Під біомасою** розуміють органічні речовини, які утворюються в рослинах у результаті фотосинтезу і можуть бути використані для отримання енергії, включаючи всі види рослинності, рослинні відходи сільськогосподарства, деревообробної та інших видів промисловості. У більш широкому розумінні до біомаси відносять також побутові та промислові відходи не завжди рослинного походження, але для яких характерні однакові принципи їх утилізації.

• Використання біомаси для отримання енергії на основі сучасних технологій є екологічно значно більш безпечним порівняно з енергетичним використанням традиційних органічних ресурсів, таких як вугілля.

• **Потенційні ресурси рослинної біомаси, які можуть використовуватися як джерело енергії, досягають 100 млрд. т у. п.** В даний час у світовому енергобалансі рослинна біомаса (в основному дрова) не перевищують 1 млрд. т у. п. (близько 12%). При застосуванні сучасних технологій частка біомаси у світовому енергобалансі може значно вирости.

• Біомаса відіграє істотну роль у енергобалансах промислово розвинених країн: у США її частка становить 4%, в Данії - 6%, у Канаді - 7%, в Австрії - 14%, у Швеції - 16% загального споживання первинних енергоресурсів цих країн.

• У плані використання біомасу можна розділити на дві основні групи: **первинна біомаса і вторинна.**

• Джерелом **первинної біомаси** є наземний і водний рослинний світ; **вторинної** - відходи біомаси, що утворюються після збору і переробки первинної біомаси в товарні продукти, і відходи, обумовлені життєдіяльністю тварин і людей.

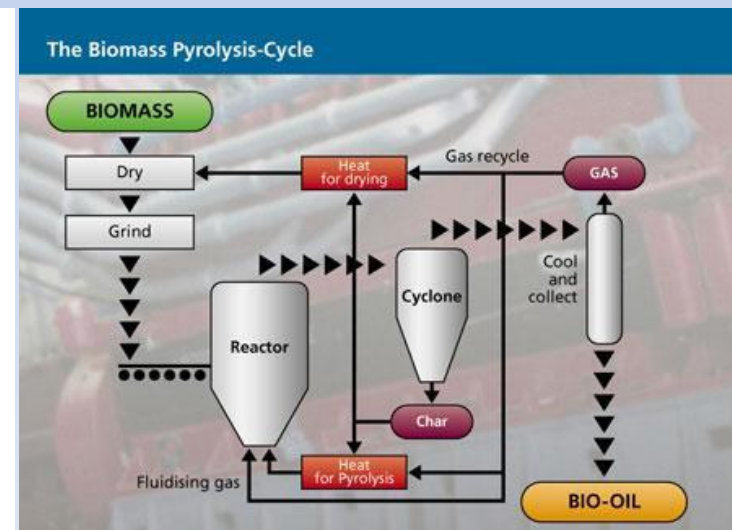
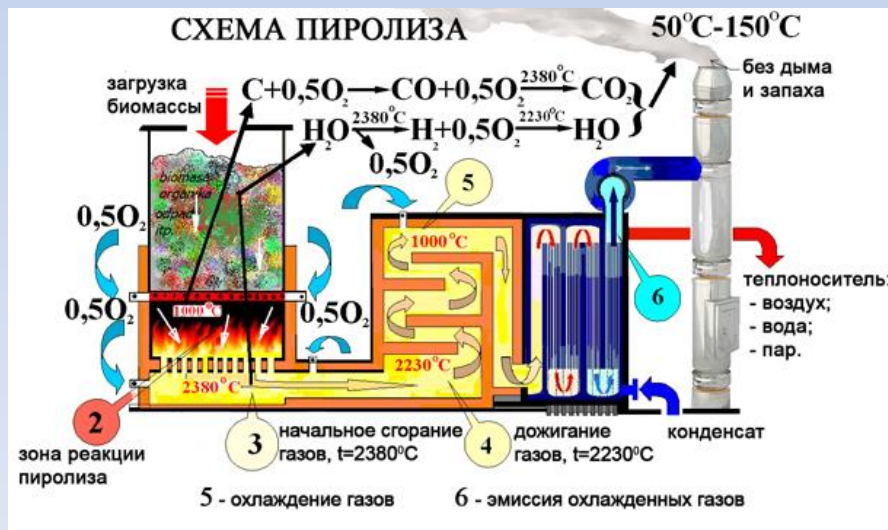
• Відповідно до цього біоенергетика забезпечує отримання енергії за рахунок використання біомаси, включаючи:

- продукти лісу у вигляді відходів лісозаготівель і лісопереробки;
- сільськогосподарські відходи, що підрозділяються на рослинні відходи сільськогосподарських культур (солоне злакових культур, стебла кукурудзи, соняшника та ін.) і тваринницькі відходи (гній і гнойові стоки та ін.);
- водну рослинну біомасу (водорості, макрофіти та ін.).

ПІРОЛІЗ БІОМАСИ

• **Пряме спалювання біомаси в атмосфері повітря або кисню** - один з найбільш старих методів отримання теплової енергії. Проте є ряд проблем при його практичному використанні, головною з яких є досягнення найбільш повного згоряння палива, в результаті якого утворюються діоксид вуглецю і вода, що не приносять шкоди навколишньому середовищу. До технічних пристроїв, що застосовують для прямого спалювання біомаси, відносяться *печі, топки, камери згоряння*. Біомаса може використовуватися за допомогою прямого спалювання в енергетичних установках у *факелі, киплячому або ущільненому шарі з подальшим отриманням теплової та електричної енергії*. Основна промислова технологія цього напрямку - пряме спалювання в котлі і генерування електроенергії в паротурбінній установці.

• **Піроліз біомаси** - *хімічне перетворення одних органічних сполук в інші під впливом теплоти або так звана суха перегонка без доступу окислювачів (кисню, повітря)*. Розроблено ряд технологічних процесів піролізу біомаси, експлуатаційні умови кожного з них визначаються природою сировини, методами переробки і заданими продуктами виробництва. Характеристика продуктів піролізу залежить від типу сировини та умов проведення процесу. Основними продуктами піролізу можуть бути *вуглиста речовина, паливна рідина, паливні гази*, причому часто технологічний процес орієнтований на переважне отримання одного з продуктів піролізу.



ГАЗІФІКАЦІЯ БІОМАСИ

•Газифікація біомаси - це перетворення твердих відходів біомаси в горючі гази за допомогою неповного їх окислення повітрям (киснем, водяною парою) при високій температурі. Газифікувати можна практично будь-яке паливо, в результаті чого отримують генераторні гази, що мають великий діапазон використання – як паливо для отримання теплової енергії в побуті та різних процесах промисловості, у двигунах внутрішнього згоряння, як сировину для отримання водню, аміаку, метилового спирту і синтетичного рідкого палива. Незважаючи на велику різноманітність способів газифікації, всі вони характеризуються тими самими реакціями. Газифікатори мають різну продуктивність з різним виходом енергії в паливному газі. Низькокалорійний газ може бути отриманий газифікацією різних видів біомаси - органічних компонентів твердих міських відходів, відходів лісу, сільськогосподарських відходів.

•Ефективним є використання установок газифікації біомаси на газотурбінних і парогазових електростанціях.

Порівняльні енергетичні показники традиційних енергоносіїв та біогазу

Продукт	Одиниці вимірювання	Еквівалент 1 м ³ неочищеного біогазу 23 МДж/м ³	Еквівалент 1 м ³ очищеного біогазу 35,2 МДж/м ³
Електроенергія	кВт·ч	0,62	0,94
Природний газ	м ³	0,61	0,93
Вугілля	кг	0,82	1,25

ФЕРМЕНТАЦІЯ БІОМАСИ

• **Анаеробна ферментація біомаси.** У процесі анаеробної ферментації складні органічні речовини розкладаються. У середньому 1 кг органічної речовини, що біологічно розкладається на 70%, виробляє 0,18 кг метану, 0,32 кг вуглекислого газу, 0,2 кг води та 0,3 кг нерозкладного залишку.

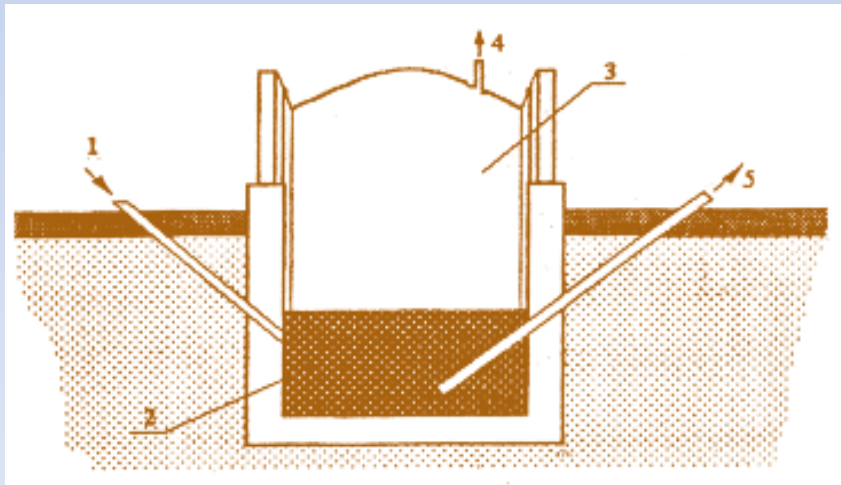
• Технологічний процес анаеробного зброджування біомаси проводиться **без доступу кисню** в спеціальних **реакторах-метантенках**, конструкція яких забезпечує максимальне виділення метану. Особливо важливим у процесі анаеробного зброджування є створення оптимальних технологічних умов в реакторі метантенка: температури, доступу кисню, достатньої концентрації поживних речовин, допустимого значення рН, відсутності або низької концентрації токсичних речовин.

• **Найбільш ефективними вважаються біореактори, які працюють в термофільному режимі 43-62 °С.** На таких установках з триденною ферментацією гною вихід біогазу становить 4,5 л на кожен літр корисного об'єму реактора.

• **Сучасні біогазові анаеробні установки складаються з таких основних систем:**

- системи підготовки та подачі сировини в біореактор;
 - біореактору (метантенку) з системою підтримки постійної температури та іншими комплектуючими пристроями;
 - системи збереження та використання біогазу;
 - системи вивантаження і транспортування шламу.
- **Схема найпростішої біогазової анаеробної установки для індивідуального господарства зображена на рис.**

Принципова схема біогазової анаеробної установки:
1 - приймальний пристрій; 2 - біореактор (метантенк); 3 - простір для збору біогазу;
4 - патрубок, що з'єднує метантенк з газгольдером;
5 - пристрій відведення газу

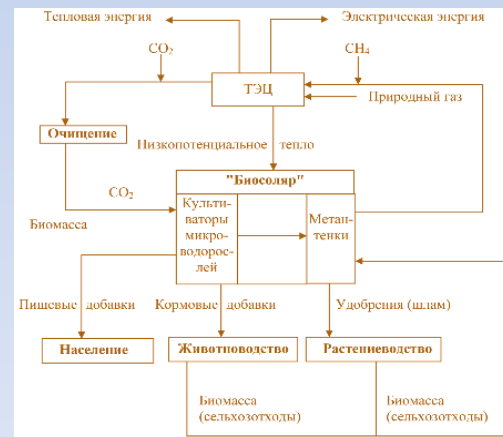


БІОГАЗОВІ УСТАНОВКИ

- Застосування біогазу забезпечує можливість отримання теплової та електричної енергії, що є особливо привабливим для фермерських господарств. При масовому поширенні біогазових технологій в сільських регіонах можна досягти значної економії органічного палива (рис.).
- Представляє інтерес вирощування і використання в метантенках водної рослинної біомаси для отримання біогазу. Однією з найбільш продуктивних водоростей є бура водорість *макроцистіс*, яка поширена в прибережній зоні морів і океанів і її врожайність становить 450- 1200 т сирової маси з 1 га. З кожної тони широко відомої *хлорели* можна отримати 22 млн. кДж енергії. Високою врожайністю характеризуються морські водорості *дуналиела*, *водяний гіацинт*, *червона водорість та ін.*
- Існує гібридна *енергосистема «Біосоляр»* - ТЕЦ, яка є замкнутою для всіх біогенних елементів, крім вуглецю, який спалюється (рис.). Система «Біосоляр» являє собою комплекс по культивуванні мікробіодоростей, з яких виділяються харчові та кормові добавки, а інші є одним з елементів наповнення метантенків. Для культивування мікробіодоростей необхідний CO_2 , який подається до них після очищення в результаті спалювання біогазу в котлах ТЕЦ. Для отримання біогазу використовуються також відходи тваринництва і рослинності. У схемі передбачене додаткове джерело енергії у вигляді природного газу, який використовується в разі необхідності в зимовий період при відсутності рослинної біомаси.



Схема біогазової установки



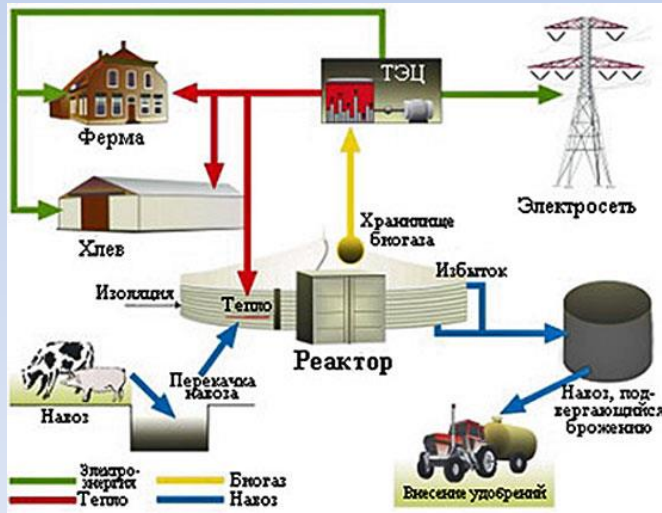
Блок-схема гібридної енергосистеми «Біосоляр» - ТЕЦ

ПОТЕНЦІАЛ БІОГАЗУ

• У більшості країн світу виробництво біогазу поставлено на промислову основу. **В Європі на поновлювані джерела в 2016 р. припадало 16%, а на одну лише біомасу - 10%**, там експлуатуються близько 1000 біогазових установок середнього розміру. **Кілька мільйонів установок присадибного типу є в Індії.**

• В міському господарстві Стокгольма, Швеція біогаз виробляється на трьох заводах по очищенню та переробці стоків міської каналізації. Загальний обсяг виробництва, перевищує 4,5 млн. м³ газу на рік, що дозволило організувати мережу заправок і перевести на біогаз близько 3000 автомобілів. Таким чином, одночасно була скорочена залежність від закордонних постачальників нафти і газу та вирішена проблема утилізації міських стоків. **До 2020 року Швеція планує здобути незалежність від імпорту нафти і газу, повністю перейшовши на різні види біопалива та альтернативні джерела енергії.** В ЄС щорічний приріст виробництва біогазу становить 6,4%, а в Іспанії в 2003 р. він склав цілих 25,4%. 95% від загального виробництва біогазу в країнах Євросоюзу отримують з промислових і побутових відходів. При цьому установки, організовані на базі сміттєвих полігонів забезпечують 38% виробництва біогазу, міські стічні води - 33%, а промислові стічні води - 24%. До 2010 р. в країнах ЄС виробництво біогазу планується на рівні не менше 15 млн. тон у нафтовому еквіваленті.

• Особливий інтерес представляє **досвід Китаю.** Тут нині працює майже 10 млн. установок з виробництва біогазу. Близько 60% всього автобусного парку країни вже працює на газі, а в сільській місцевості ця частка сягає 80%. **Фактично Китай повністю забезпечує свої потреби в газі за рахунок переробки органіки.** На досягнення цього результату було витрачено понад 30 років цілеспрямованих зусиль держави.



Частка відновлюваної енергії в Україні оцінюється в 5%, а біомаси - в 3-3,5%. Сьогодні за рахунок біомаси країна заміщує ~ 3 млрд м³ газу, з якої половина - звичайні дрова, які також є відновлюваною біомасою. Однак **в останні роки обсяги використання біомаси в енергетиці швидко ростуть, десь на 40% щорічно.** За минулу 2 роки тільки за програмою т. з. теплих кредитів встановлено близько 20 тис. індивідуальних котлів. З огляду на те, що за допомогою в рамках цієї програми звертається приблизно п'ята частина тих, хто змінює індивідуальні котли, загальна кількість може досягти 100 тис. Ефективним шляхом є виробництво і використання біогазу при переробці рослинної і тваринницької біомаси. Іншим джерелом біогазу служать звалища сміття. **Потенційні можливості отримання біогазу із звалищ можуть становити 2,3·10⁹ м³/рік, що еквівалентно 1,6 млн. т у. п. тобто половині всього імпорту газу.** Сировиною, з якої можна отримувати біогаз, можуть бути практично всі відходи, що містять органічні компоненти.

ПЕРЕРОБКА СМІТТЯ В ЄВРОПІ

РІВЕНЬ ПЕРЕРОБКИ СМІТТЯ У ЄВРОПІ

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ НІМЕЦЬКОГО ІНСТИТУТУ ЕКОНОМІКИ (IW)



ЧИМ БІЛЬШИЙ РІВЕНЬ ДОБРОБУТУ В КРАЇНІ – ТИМ БІЛЬШЕ СМІТТЯ ВОНА ВИРОБЛЯЄ

НІМЕЧЧИНА - 66%

це лідер із переробки сміття в Євросоюзі: кількість сміття, яке після переробки повертається в корисний обіг, тут найвища порівняно з іншими країнами Європи.

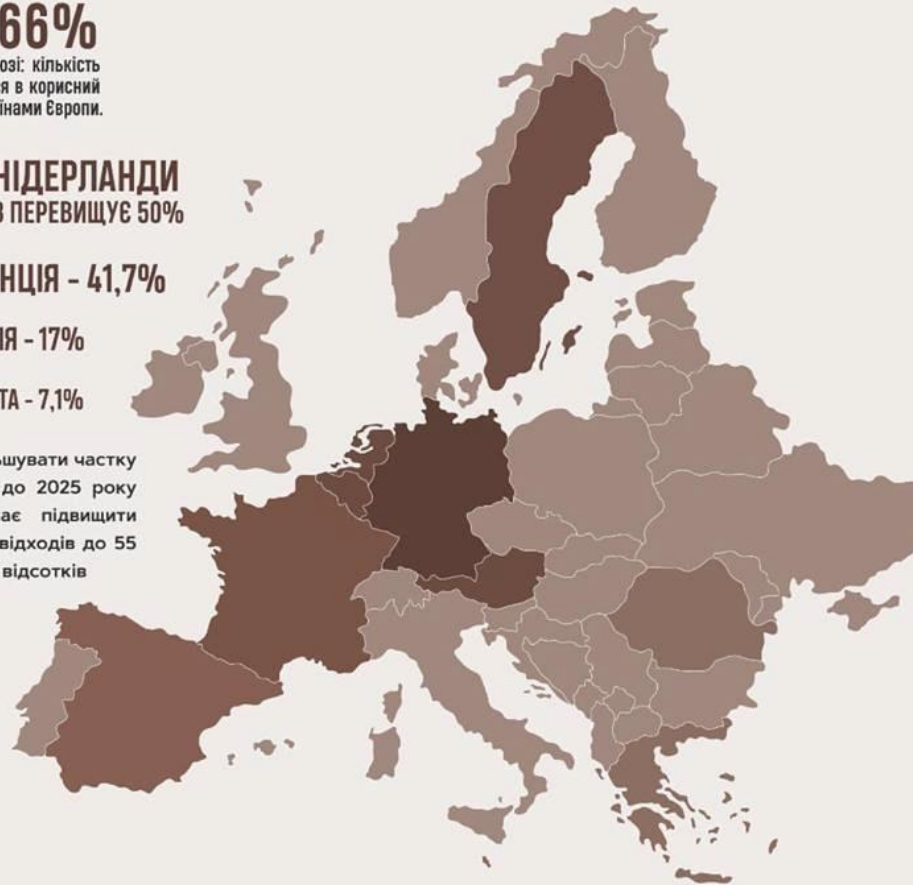
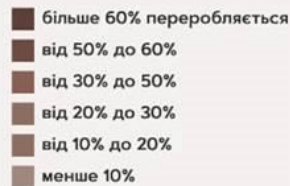
АВСТРІЯ, БЕЛЬГІЯ ТА НІДЕРЛАНДИ ЧАСТКА ПОВЕРНЕННЯ ВІДХОДІВ ПЕРЕВИЩУЄ 50%

ШВЕЦІЯ - 48,9% ФРАНЦІЯ - 41,7%

ІСПАНІЯ - 29,7% ГРЕЦІЯ - 17%

РУМУНІЯ - 13,3% МАЛЬТА - 7,1%

У Євросоюзі хочуть і надалі збільшувати частку корисної утилізації сміття. Так до 2025 року кожна держава Євросоюзу має підвищити нормативну частку повернення відходів до 55 відсотків, а до 2035 року - до 65 відсотків



БІОГАЗОВІ КОМПЛЕКСИ УКРАЇНИ

•Виробництво електроенергії з біогазу починає динамічно розвиватися в Україні. *В 2017 році були добудовані і почали виробляти біогаз відразу 4 біогазових комплекси, із загальною встановленою потужністю 7,33 МВт.* У 2018 р. біогазові потужності зросли ще на третину: із 34 МВт (21 установка) на кінець 2017 року до 46 МВт (33 установки) на кінець 2018 р. Особливо перспективним є виробництво біогазу зі сміття.

•*В Україні щорічно утворюється близько 10 млн тон відходів та налічується майже 5,5 тис. сміттєзвалищ.* Із одного полігону, де зібрано понад 1 млн тон сміття, можна видобути близько 3 млн м³ у рік звалищного газу, який містить близько 50 % чистого біометану. *на сміттєзвалищах вже працюють 20 біогазових установок загальною потужністю 18 МВт. Найбільше таких установок розміщено у Київській області, а саме – 3 об'єкти потужністю 4,1 МВт.* Один із успішних проектів - біогазовий комплекс потужністю 659 кВт на сміттєзвалищі у Хмельницькому. У проект інвестовано 34 млн гривень. Комплекс може виробляти близько 5 млн кВт/год електроенергії в рік за «зеленим» тарифом 12,4 євроценти/кВт/год. Для порівняння - цього обсягу електроенергії достатньо для вуличного освітлення міста. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України спільно з SEC Biomass та органами місцевого самоврядування проводить аналіз потенціалу видобутку біогазу на сміттєзвалищах. *Наразі виявлено можливості для встановлення біогазових установок потужністю 14 МВт на суму близько 20 млн євро.* Наприклад, на Дніпровському міському полігоні потенційно можна встановити біогазовий комплекс потужністю 3,7 МВт для виробництва електроенергії. Прогнозований обсяг інвестицій – 3 млн євро із терміном окупності від 3 до 6 років.

22 грудня 2017 року на території Теофіпольського цукрового заводу в Хмельницькій області відбулося офіційне відкриття першої черги біогазової станції потужністю 5,109 МВт. А друга черга, потужністю 10,5 МВт, запрацювала в тестовому режимі з червня 2018 р. *«Тепер це перша в Україні та найбільша в світі станція з вироблення біогазу, яка працює за технологією високонавантажених реакторів».*



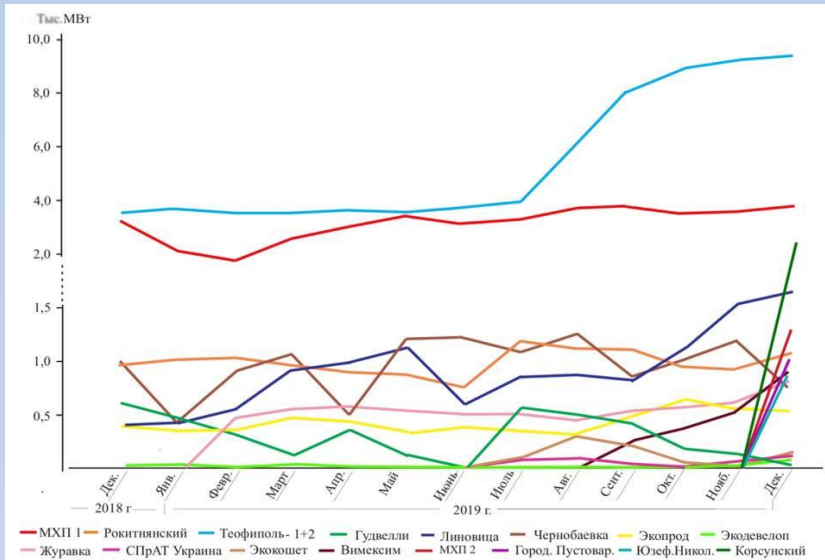
БІОГАЗОВІ КОМПЛЕКСИ УКРАЇНИ



• У грудні 2019 р. агроіндустріальний холдинг МХП ввів в експлуатацію першу чергу комплексу з виробництва біогазу “Біогаз Ладизжин” встановленої енергетичної потужності 12 МВт. Об’єкт знаходиться неподалік м. Ладизжин - в селі Василівка Тульчинського району Вінницької області. Проект будівництва біогазового комплексу реалізовується в дві черги із запланованою встановленою енергетичною потужністю 24 МВт, що робить його **найбільшим біогазовим комплексом з переробки органічних відходів від курчат-бройлерів в світі**. Повідомляється, що обсягів електроенергії, що виробляється на першій черзі комплексу вистачить для одночасного енергозабезпечення 35 000 сімей. Лише перша черга проекту “Біогаз Ладизжин” може забезпечити електроенергією всіх побутових споживачів Тульчинського та Гайсинського районів Вінницької області. А в промисловому масштабі виробленої енергії першою чергою біогазового комплексу вистачить для забезпечення електрикою близько 40% потужностей агроіндустріального кластеру МХП. Також біогазовий комплекс виробляє органічні біодобрива, які мають високий вміст необхідних для рослин елементів живлення. Повідомляється, що експлуатація першої черги комплексу “Біогаз Ладизжин” дозволить скоротити викиди парникових газів орієнтовно на 100 тис. т CO₂-еквіваленту щорічно, а після повної реалізації двох черг комплексу — до 200 000 т CO₂-еквіваленту щорічно.



БІОГАЗОВІ КОМПЛЕКСИ УКРАЇНИ



•2019 р. став для вітчизняної біогазової енергетики найбільш урожайним за всі роки її існування. *Станом на 1 січня 2020 р. в Україні були зареєстровані в якості власників зеленого тарифу на вироблену електроенергію 33 компанії - власника 45 біогазових комплексів, 5 з яких склалися з 2-х черг. У сільському господарстві - 18, на полігонах ТПВ - 23, інші - 4. Отримали зелений тариф в 2019 р. і відпрацювали тільки частину року - 20, не генерували електроенергію - 4, мали добавку до зеленого тарифу 10% за використання вітчизняного обладнання - 2*

•Найбільш великими компаніями - власниками біогазових комплексів в сільському господарстві в 2019 році були Миронівський Хлібопродукт (17,692 МВт), Україна - 2001 (15,6 МВт), Панда (7,5 МВЖТ), Галс - Агро (6,015 МВт).

Серед володарів біогазових комплексів, які працюють на звалищному газі полігонів ТПВ *безперечними лідерами були Кліар - Енерджі (9,6 МВт) та ЛНК (5,3 МВт)*. Коефіцієнт використання встановленої потужності генеруючих об'єктів Кліар - Енерджі і ЛНК в 2019 р. склав 60% і 53%, відповідно. *Основний приріст біогазових потужностей в порівнянні з попереднім 2018 р. (87%) можна віднести за рахунок введення в дію 3-х біогазових комплексів: Ладизинського - 12 МВт, 2-ої черги Теофіпольського - 10,5 МВт і Корсунського - 7,5 МВт. Безперечним лідером з вироблення електричної енергії в 2019 р. став біогазовий комплекс Оріль - Лідер з КВВП 77% (85% в 2017 році і 93% в 2018 році).*

Що стосується інших біогазових проектів, які знаходяться на стадії завершення, то до них відносяться об'єкти, що будуються, комплекси підприємств I & Q Group (6 МВт), Галс - Агро (1,5 МВт), Персей - Агро (1,5 МВт) та Північ - 2006 (0,4 МВт) із загальною встановленою потужністю **9,4 МВт**. Основний вид використовувався сировини - цукровий жом, кукурудзяний силос, пташиний послід. *Загальна встановлена потужність біогазових комплексів на кінець 2019 року - 94 МВт, з яких 62 МВт (66%) - сільське господарство і 25 МВт (27%) - полігони ТПВ.* Основна категорія замовників - власники цукрових заводів.

СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

• Сонячна енергія може бути перетворена в електричну двома основними шляхами: *термодинамічним і фотоелектричним.*

• *При термодинамічному методі* електричну енергію за рахунок використання сонячної енергії можна отримувати з використанням традиційних схем теплових електроустановок, в яких теплота від згоряння палива замінюється потоком концентрованого сонячного випромінювання. Принципова схема отримання електричної енергії в сонячній теплоелектростанції представлена на рис.

• *Існують сонячні теплоелектростанції трьох типів:*

- *баштового типу* з центральним приймачем-парогенератором, на поверхні якого концентрується сонячне випромінювання від плоских дзеркал-геліостатів;
- *параболічного (лоткового) типу*, де у фокусі параболо-циліндричних концентраторів розміщуються вакуумні приймальні труби з теплоносієм;
- *тарілкового типу*, коли у фокусі параболічного тарілкового дзеркала розміщується приймач сонячної енергії з робочою рідиною.

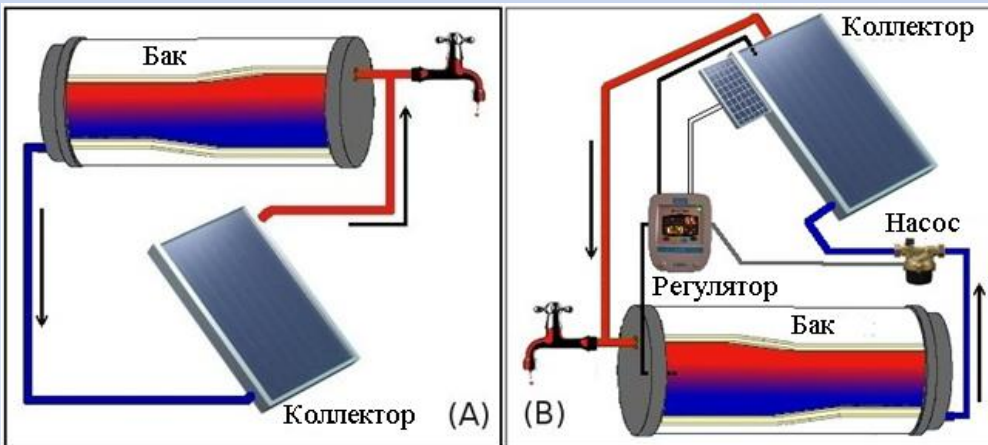
СОНЯЧНА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА

- У сучасному світі сонячна енергія широко використовується для теплопостачання, включаючи гаряче водопостачання та опалення, а також для холодопостачання, кондиціонування повітря, сушіння та в інших технологічних процесах.
- Системи сонячного теплопостачання класифікуються наступним чином:
 - системи «активного» сонячного теплопостачання, що використовують «активні» установки на основі сонячних колекторів з циркуляцією теплоносія, в якості якого можуть застосовуватися рідина (вода, розчини солей) і газ (повітря);
 - системи «пасивного» сонячного опалення, в яких різні конструкційні елементи споруди служать як теплоприймачі сонячної енергії;
 - комбіновані системи сонячного теплопостачання, в яких використані елементи «пасивного» і «активного» сонячного теплопостачання.
- У сучасних *низько і середнетемпературних системах теплопостачання* (до 100 °С), що застосовуються для перетворення сонячної енергії в низькопотенціальне тепло для гарячого водопостачання, опалення та інших теплових процесів, основним елементом є **плоский сонячний колектор (СК)**, що представляє собою геліоприймач абсорбер, в якому циркулює теплоносій, конструкція плоского сонячного колектору теплоізольована з тильного і зашклена з лицьового боку. Його принципова схема наведена на рис.
- Особливістю плоского колектору є те, що *він вловлює як пряму, так і розсіяну сонячну радіацію*. Об'єми таких систем розраховуються в м² сонячних колекторів.

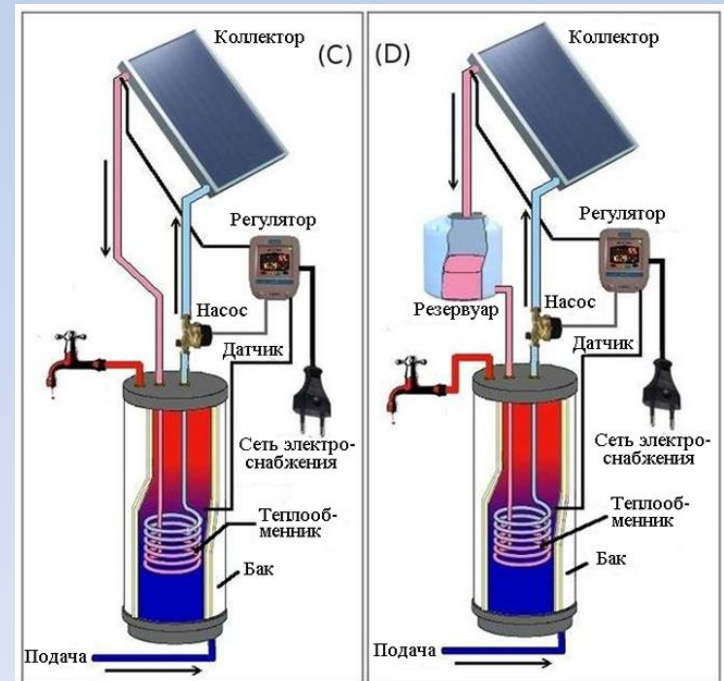
ОСНОВНІ КОНСТРУКЦІЇ КОЛЕКТОРІВ

•Плоскі сонячні колектори є найбільш поширеним типом сонячних теплових технологій. Вони складаються з темної плоскої панелі, покритої антивідбивним покриттям, через яке проходить сонячне випромінювання і поглинається абсорбером, зробленим з термостійких полімерів, алюмінію, сталі або міді. З абсорбера сонячне тепло передається рідині, яка циркулює в трубах колектору. Вода проходить через абсорбер по безлічі тонких трубок і нагрівається. Конфігурація труб варіюється залежно від конструкції, проте домінуюча модель ("арфа") використовує дві великі горизонтальні труби у верхній і нижній частині колектору і численні дрібні трубки, що з'єднують їх (так звані «магістральні труби» і «стояки» відповідно). Стояки пов'язані з «ребрами абсорбера». Під час роботи рідина, що переносить тепло, подається з накопичувального бака гарячої води (пряма система) або теплообмінника (непряма система) в нижню магістральну трубу колектору, проходить вгору по стояках, де тепло збирається з ребер абсорбера і виходить з верхньої магістральної труби колектора.

Альтернативною «арфі» є конструкція труб «змійовик», який складається з однієї центральної труби, що з'єднує верхню і нижню частину колектору (проте, слід зазначити, що змієподібні плоскі колектори не можуть використовуватися в водостічних системах, які мають низькі експлуатаційні витрати на непрямі активні сонячні теплові колектори).



Прямі сонячні системи



Непрямі сонячні системи

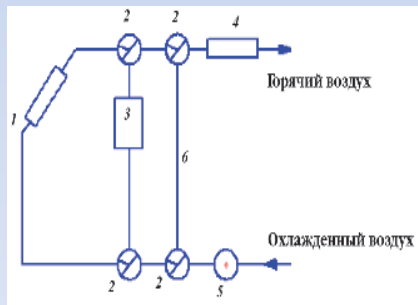
СХЕМИ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ

• Принципові схеми водяного і повітряного опалення приміщень за допомогою колекторів наведені відповідно на рис. 1 і рис. 2. **Пасивні сонячні системи** є більш простими і дешевими в порівнянні з активними, так як не вимагають додаткових пристроїв поглинання, перетворення і розподілу сонячної енергії. Пасивне використання енергії Сонця для опалення будівель здійснюється за рахунок планувальних, архітектурно-конструктивних рішень, засклення, коли вся будівля може бути розглянута як колектор сонячної теплоти.

• У **пасивній системі** має бути оптимальна орієнтація будівлі приблизно уздовж осі схід-захід, на південній стороні повинно бути не менше 50-70% всіх вікон, на північній - не більше ніж 10%, житлові кімнати повинні розташовуватися з південної сторони і т. ін. Крім того, передбачаються спеціальні пристрої - дахи-теплонакопичувачі, конвекційні системи та ін.

• **Активне використання сонячної енергії** може бути здійснено за допомогою **сонячного соляного ставка**. Такі ставки є хорошими акумуляторами сонячної енергії. Завдяки тому, що щільність соляового розчину в нижніх шарах в порівнянні з верхніми значно вище, **в таких ставках практично відсутня конвективний тепломасообмін, в результаті чого в придонній зоні ставка створюється шар води з високою температурою**. Така властивість соляних ставків може бути використано для отримання електричної енергії, як це показано на рис. 2.5.

• **На активному використанні теплової дії сонячних променів** базуються сонячні енергетичні печі, обігрів басейнів, опріснення морської і засоленої води, отримання дистильованої води, сонячні побутові печі, сушіння сільськогосподарських продуктів та ін.



Принципова схема активної повітряної ССО: 1 - сонячний повітряний колектор; 2 - триходова заслінка; 3 - гальковий акумулятор теплоти; 4 - додаткове джерело енергії; 5 - вентилятор; 6 - байпасна лінія акумулятора

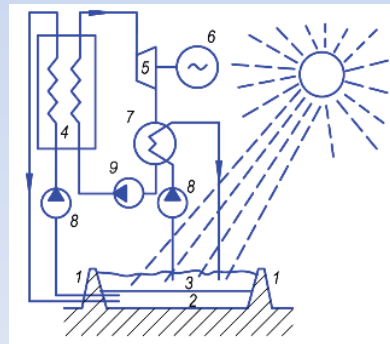
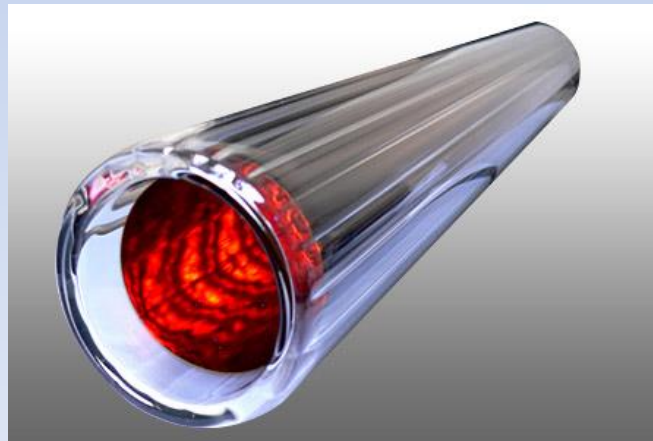


Схема використання сонячного соляного ставка для отримання електричної енергії: 1 - дамби; 2 - гаряча вода з високою концентрацією солі; 3 - охолоджуюча вода з низькою концентрацією солі; 4 - тепло-обмінний апарат; 5 - турбіна; 6 - генератор; 7 - конденсатор; 8 - циркуляційні насоси; 9 - живильний насос

ВАКУУМНІ СК

• У звичайних плоских колекторах практично неможливо отримати температуру теплоносія вище 100 °С. *Збільшення робочої температури теплоносія до 250-300 °С* можна досягти за допомогою **вакуумних скляних сонячних колекторів**. Як теплоносії у колекторі можуть використовуватися вода, розчин етиленгліколю та пропіленгліколю, силіконове масло, а також повітря.

• Основним компонентом вакуумних СК є **скляні вакуумні труби**. Кожна вакуумна труба складається з двох скляних труб. Зовнішня труба зроблена з прозорого надміцного боросилікатного скла, яке витримує попадання граду діаметром 25 мм. Внутрішня труба також зроблена з прозорого боросилікатного скла, покритого спеціальним селективним покриттям (Al-N/Al), яке забезпечує прекрасне поглинання тепла з мінімальним віддзеркаленням. Щоб уникнути кондуктивних і конвективних тепловтрат з простору між двома трубами викачане повітря і **створений вакуум**. Для підтримки вакууму між двома скляними трубами використовується барієвий газопоглинач (такий же, як у телевізійних трубках). Цей шар барію поглинає CO, CO₂, N₂, O₂, H₂O і H₂, які виділяються з труби в процесі зберігання і експлуатації, підтримуючи таким чином стан вакууму. Шар барію також є чітким візуальним індикатором стану вакууму. Коли вакуум зникає, барієвої шар з срібного стає білим. Це дає можливість легко визначити, чи справна труба. Див. рис. нижче.



КЛАСИФІКАЦІЯ СЕС

• *Таким чином всі **сонячні електростанції** (СЕС) підрозділяють на кілька типів:*

- СЕС баштового типу
- СЕС тарілчастого типу
- СЕС, які використовують параболічні концентратори
- СЕС, що використовують фотоелектричні модулі (сонячні батареї)
- Комбіновані СЕС
- Аеростатні сонячні електростанції
- Сонячно-вакуумні електростанції

• **СЕС баштового типу**

• *Дані електростанції засновані на принципі отримання водяної пари з використанням сонячної радіації. У центрі станції стоїть вежа висотою від 18 до 24 метрів (в залежності від потужності і деяких інших параметрів висота може бути більшою або меншою), на вершині якої знаходиться резервуар з водою. Цей резервуар пофарбований в чорний колір для поглинання теплового і видимого випромінювання. Також в цій вежі знаходиться насосна група, що доставляє воду в резервуар від турбогенератора, який знаходиться поза вежею. По колу від вежі на деякій відстані розташовуються геліостати. **Геліостат** - дзеркало площею в кілька квадратних метрів, закріплене на опорі і підключений до загальної системи позиціонування. Тобто, в залежності від положення сонця, дзеркало буде міняти свою орієнтацію в просторі. Основне і найважче завдання - це позиціонування всіх дзеркал станції так, щоб в будь-який момент часу всі відбиті промені від них потрапили на резервуар. У ясну сонячну погоду температура в резервуарі може досягати 700 °С. Такі температурні параметри використовуються на більшості традиційних теплових електростанцій, тому для отримання енергії використовуються стандартні турбіни. Фактично на станціях такого типу можна отримати порівняно великий ККД (близько 20%) і високі потужності.*

• https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_электростанция

ГЕЛІОСТАНЦІЇ БАШТОВОГО ТИПУ

- Станції баштового типу складаються з п'яти основних елементів: *оптичної системи, автоматичної системи управління дзеркалами і станцією в цілому, парогенератора, вежі, яка утримує геліоприймач і системи перетворення енергії, що включає теплообмінники, акумулятори енергії і турбогенератори.*
- Принципова схема сонячної електростанції баштового типу показана на рис.
- Оскільки в такій електростанції використовується пряме сонячне випромінювання, *геліосистеми, що концентрують, повинні мати систему спостереження за сонцем, при цьому кожен з геліостатів орієнтується в просторі індивідуально.*
- *В одному модулі можна отримати потужність, що не перевищує 200 МВт,* що пов'язано зі зниженням ефективності перенесення енергії від найбільш віддалених концентраторів на вершину вежі.
- Світова практика експлуатації станцій баштового типу довела їхню технічну здійсненність і працездатність. *Основними недоліками* таких установок є їх *висока вартість і значна площа, яку вони займають.* Так, для розміщення баштової електростанції потужністю 100 МВт необхідна *площа 200 Га.*

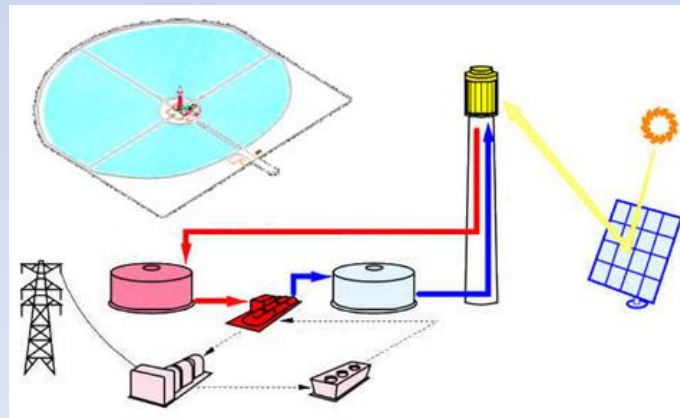


Схема та принцип роботи сонячної електростанції баштового типу

ГЕЛІОСТАНЦІЇ БАШТОВОГО ТИПУ

• *Демонстраційна сонячна термодинамічна електростанція «Solar Two»* (рис.) працювала і розвивалася з 1981 до 1999 року в пустелі Мохаве (Каліфорнія, США). Сонячну вежу цієї станції оточує тисяча дев'яносто двадцять шість геліостатів загальною площею 83000 м². Цікаво, що сонячне світло гріє не воду, а *проміжний теплоносій* - розплавлену суміш нітратів натрію і калію. Від неї вже закипає вода, що дає пар для турбін. На цей час СЕС складається з 9-ти черг, її загальна потужність 354 МВт.

• *Запуск сучасної сонячної електростанції баштового типу відбувся 30 березня 2007 року в районі Санлукар-ла-Майор недалеко від Севільї (Іспанія)*. Красива бетонна башта вишиною 115 м з 624 дзеркалами геліостатів площею 120 м² кожне забезпечують паром паротурбінну установку *потужністю 11 МВт*, що достатньої для постачання електроенергією 6000 будинків, економлячи тим самим 18000 тон вуглецевих викидів на рік.

• Поруч з даної станцією вже йде будівництво ще однієї подібної станції (PS2), але більш потужною. Там буде встановлено приблизно 1 255 дзеркал. *Розрахункова потужність електростанції - 20 МВт*. Запуск другої станції скоротить викиди CO₂ в атмосферу на 54 000 тон на рік і забезпечить електроенергією близько 18000 будинків. А всього до 2013 року різні за принципом дії сонячні установки, які будуть встановлені на майданчику в Санлукар-ла-Майор, матимуть сумарну електричну потужність 300 МВт, що достатньо для задоволення потреб в електроенергії такого міста, як Севілья.

• Найбільша в світі СЕС баштового типу ([Айвонпа](#)) знаходиться в [Сан-Бернардіно, Каліфорнія](#) (пустеля Мохаве), її потужність 392 МВт.



Сонячна термодинамічна електростанція «Solar Two»

Сонячна електростанція в Севільї (PS1), Іспанія

СЕ ПАРАБОЛІЧНОГО ТИПУ

- У сонячних електростанціях **параболічного типу** (рис.) використовуються параболічні дзеркала (лотки), що концентрують сонячну енергію на прийомних трубках, які розташовані у фокусі конструкції і містять в собі рідинний теплоносіє. Ця *рідина нагрівається приблизно до 400 °С і прокачується через ряд теплообмінників, при цьому виробляється перегріта пара, яка приводить в дію звичайний турбогенератор для вироблення електричної енергії.*
- Станції параболічного типу застосовуються усе ширше завдяки *більш простій системі стеження за Сонцем і меншій матеріаломісткості.* Питома вартість станцій параболічного типу близька до питомої вартості АЕС.
- В установках **тарілкового типу** (рис.) використовуються параболічні тарілкові дзеркала (схожі за формою на супутникову тарілку), які фіксують сонячну енергію на приймачі, розташованому у фокусі кожної тарілки. *Питома вартість сонячної електростанції тарілкового типу може бути менше, ніж електростанцій баштового і параболічного типів.*



Сонячна установка тарілкового типу: а - схема сонячної установки тарілкового типу; б - сонячна установка потужністю 10 кВт на сонячній електростанції в Almeria (Іспанія)

КЛАСИФІКАЦІЯ СЕ

•**Сонячні елементи (СЕ)** - це електронні прилади, що здійснюють пряме перетворення сонячного світла в електричну енергію. Кілька фотоперетворювачів, з'єднаних в певній послідовності на одній підкладці, утворюють так званий **сонячний модуль** (СМ). СЕ можна класифікувати за інтенсивністю збирання світла, за хімічним складом, товщиною і кристалічною структурою шарів, кількістю суміщених на одній підкладці елементів тощо.

•За інтенсивністю збирання світла СЕ поділяються на **одиначні і концентраторні**. **Одиначні СЕ не мають спеціальних пристроїв для збирання світла і поглинають тільки ту кількість світлового потоку, яка падає на площу поверхні, що вони займають. Концентраторні СЕ мають спеціальні світлові пристрої (лінзи або дзеркала), які дозволяють збільшувати густину світлового потоку на поверхню елементів в кілька разів.** Як правило, концентраторні елементи виготовляються з дорогих світлопоглинаючих матеріалів з найкращими показниками фотовольтаїчного перетворення світла. У позначенні таких СЕ обов'язково **вказується коефіцієнт збирання світла, вимірюваний в сонцях (suns). Коефіцієнт збирання показує, у скільки разів збільшиться густина потоку падаючого на СЕ випромінювання після його збирання оптичними системами.**

•За кристалічним складом поглинаючого матеріалу СЕ розділяються на **монокристалічні, мультікристалічні, полікристалічні, мікрокристалічні, нанокристалічні**. Монокристалічні СЕ являють собою елементи з поглиначем у вигляді цілісного кристала напівпровідникової речовини. Мульти-, полі-, мікро- і нанокристалічні СЕ мають в якості поглинаючої речовини суміш напівпровідникових кристалітів з різною орієнтацією, структурою і формою, розмір яких і визначає тип елемента: **при розмірах кристалітів від 1 до 100 мкм речовину називають мультікристалічною, від 1 до 1000 мкм - полікристалічною, менш 1 мкм - мікрокристалічною, менш 1 нм - нанокристалічною.**

В залежності від товщини світопоглинаючого матеріалу СЕ підрозділяються на **тонкоплівкові і товстоплівкові**. **Тонкоплівкові СЕ мають товщину в декілька мкм, товстоплівкові - в десятки або сотні мкм.** Залежно від складу поглинаючого матеріалу СЕ поділяються на кремнієві, на основі сполук A^3B^5 , A^2B^6 (в основному $CdTe$), $A^1B^3C^6_2$ (халькоперитні) та змішані. Як правило, для зручності конструкції і підвищення ККД СЕ прагнуть домогтися поглинання світла в одному з його шарів. Цей шар називають **поглинаючим**. **Другий напівпровідник служить лише для створення потенціального бар'єру і збирання генерованих світлом носіїв заряду (гетероперехідні СЕ).**

РІЗНОВИДИ СЕ

Плоскі
панелі

Моно-, полі- та
 α -кремній

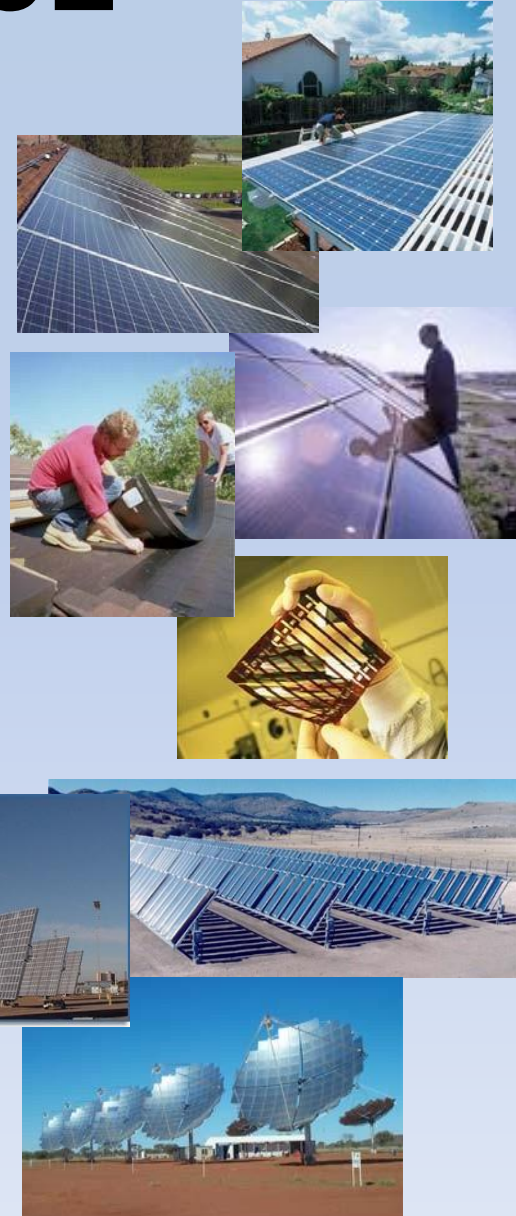
Тонкі
плівки

Нові технології

Одноперехідні

СЕ з концентра-
торами

Багатоперехідні



ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Перетворення енергії у фотоелектричних перетворювачах (ФЕП) засноване на *фотовольтаїчному ефекті, який виникає в неоднорідних напівпровідникових структурах при дії на них сонячного випромінювання.*

Неоднорідність структури ФЕП може бути отримана шляхом легуванням одного і того ж напівпровідника різними домішками (*створення p–n - переходів*) або шляхом з'єднання різних напівпровідників з неоднаковою шириною забороненої зони (*створення гетеропереходів*).

Використовуються також *МДП структури.*

ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІ

• **ФЕП** дозволяють проводити пряме перетворення сонячного світла в електроенергію. При характерній для ФЕП рівноважній температурі 300-350 К і температурі сонця $T \sim 6000$ К **їх граничний теоретичний ККД > 90%**. Це означає, що, в результаті оптимізації структури і параметрів перетворювача, спрямованої на зниження необоротних втрат енергії, цілком реально підняти практичний ККД до 50% і більше (в лабораторіях вже досягнуто ККД 38,8%, 5 перехідних СЕ).

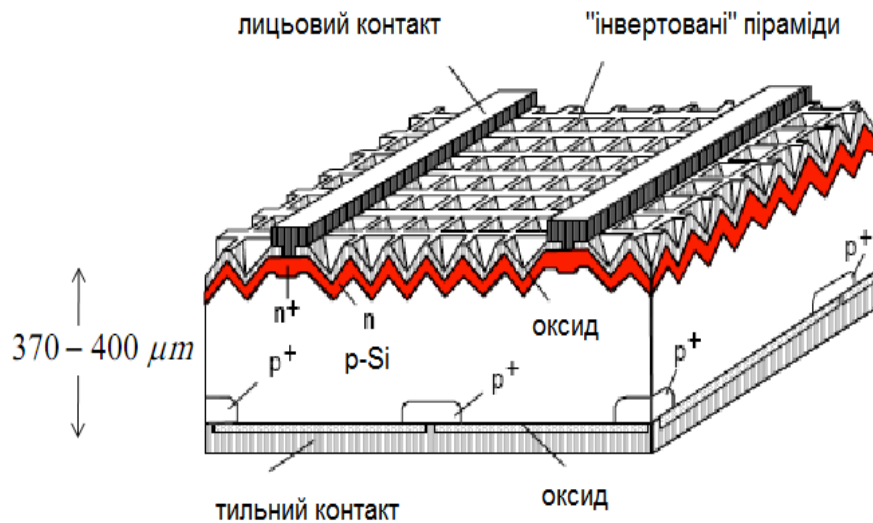


Переваги

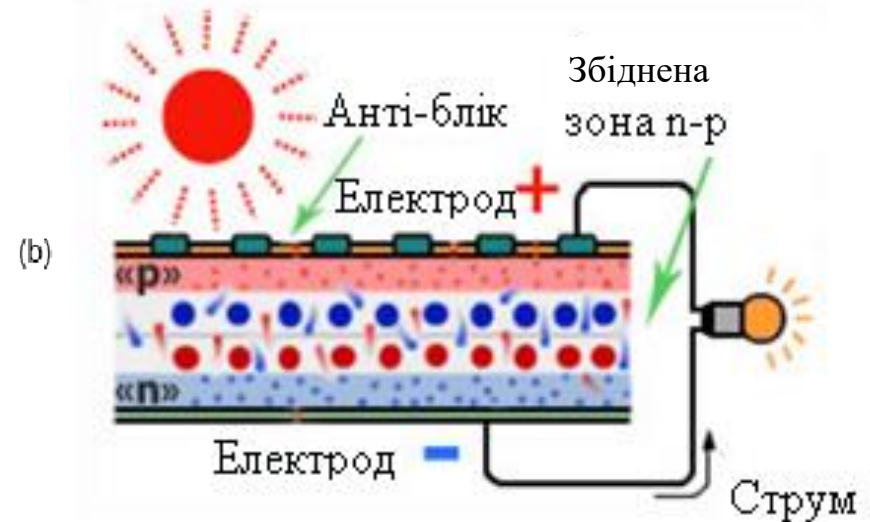
- *Модульний принцип побудови*
- *Відсутність рухливих частин*
- *Відсутність шуму і забруднення*
- *Надійність; низькі експлуатаційні витрати*
- *Використовують розповсюджений природний ресурс*

КОНСТРУКЦІЯ СЕ

Принцип роботи СЕ можна пояснити на прикладі перетворювачів з $p-n$ -переходом, які широко застосовуються у сучасній геліоенергетиці.



а

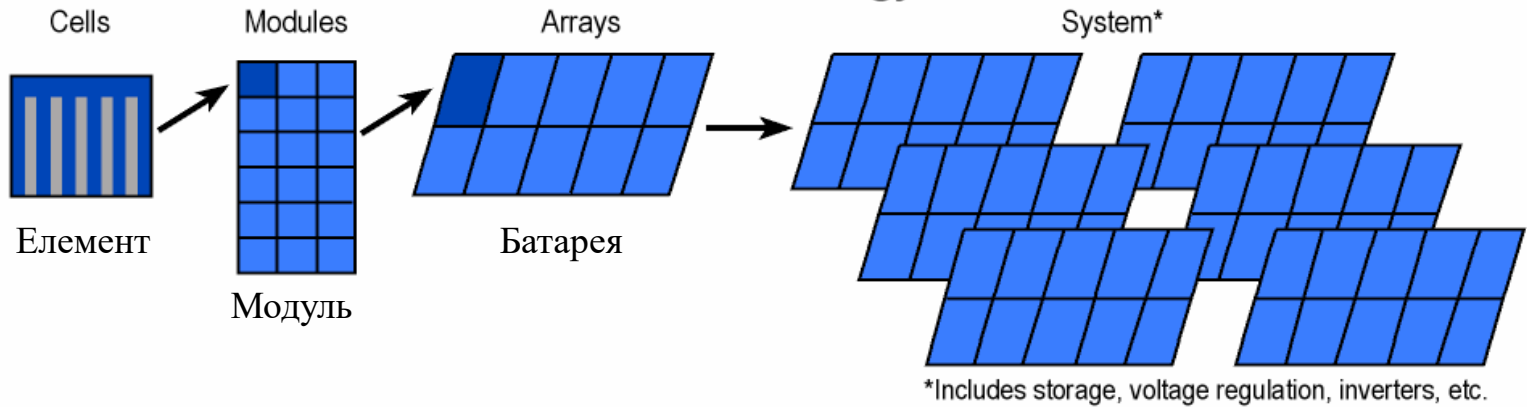


б

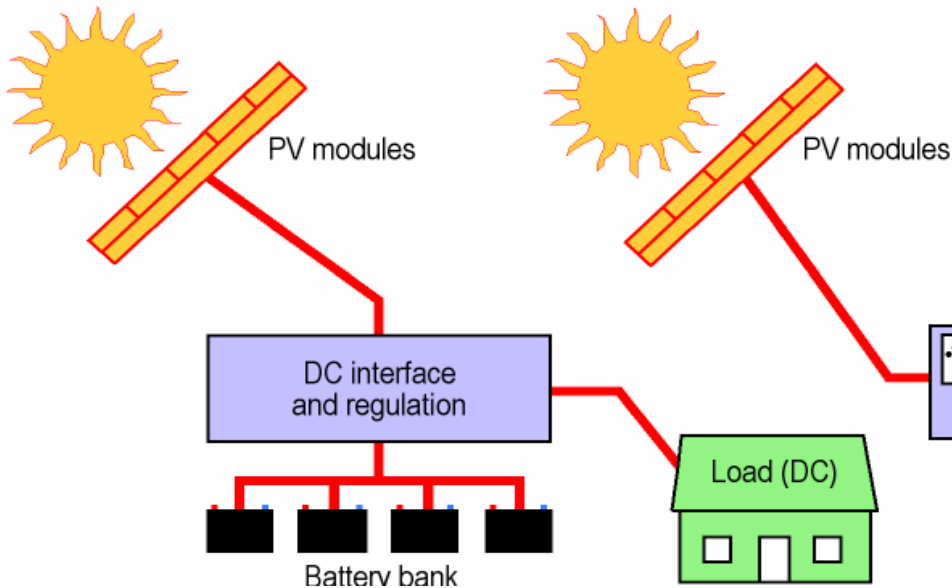
Конструкція (а) та принцип дії (б) фотоперетворювача

ОРГАНІЗАЦІЯ СОНЯЧНИХ УСТАНОВОК

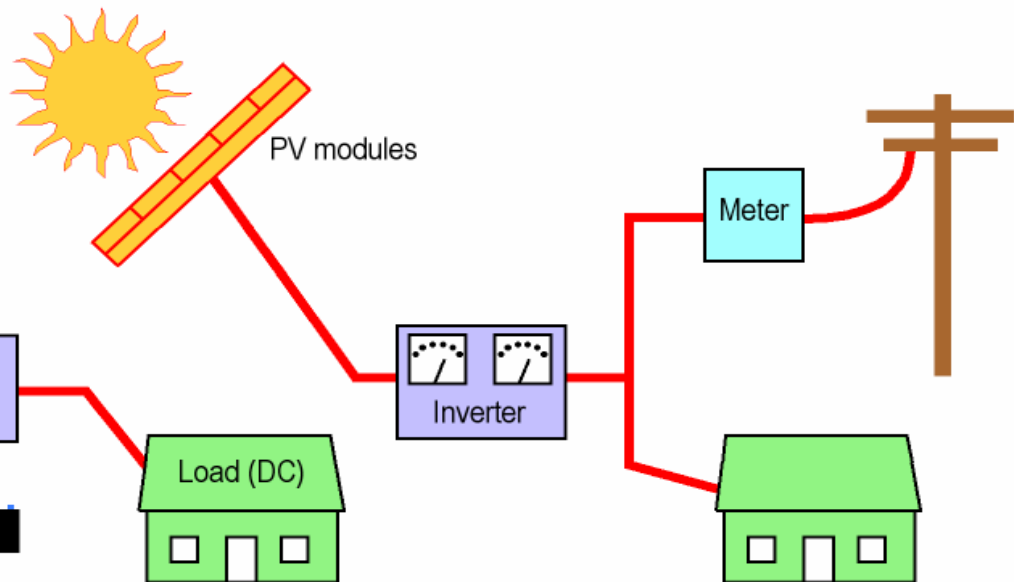
PV Terminology



Simple DC System



Line Tie or Utility Interface

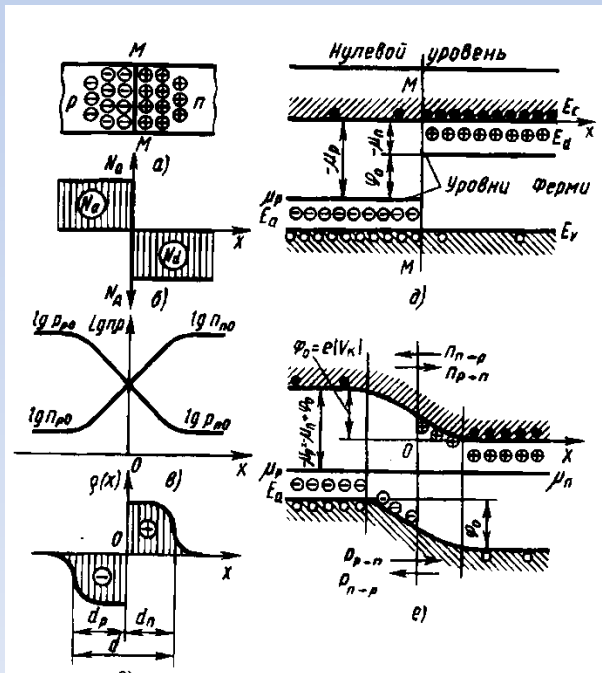


P-N - ПЕРЕХІД В СТАНІ РІВНОВАГИ

• Одним з найбільш широких класів твердотільних приладів, що знайшли застосування в електроніці, є прилади, які містять контакт двох домішкових напівпровідників з різним типом провідності. Такий контакт називають *електронно-дірковим переходом або p-n-переходом*.

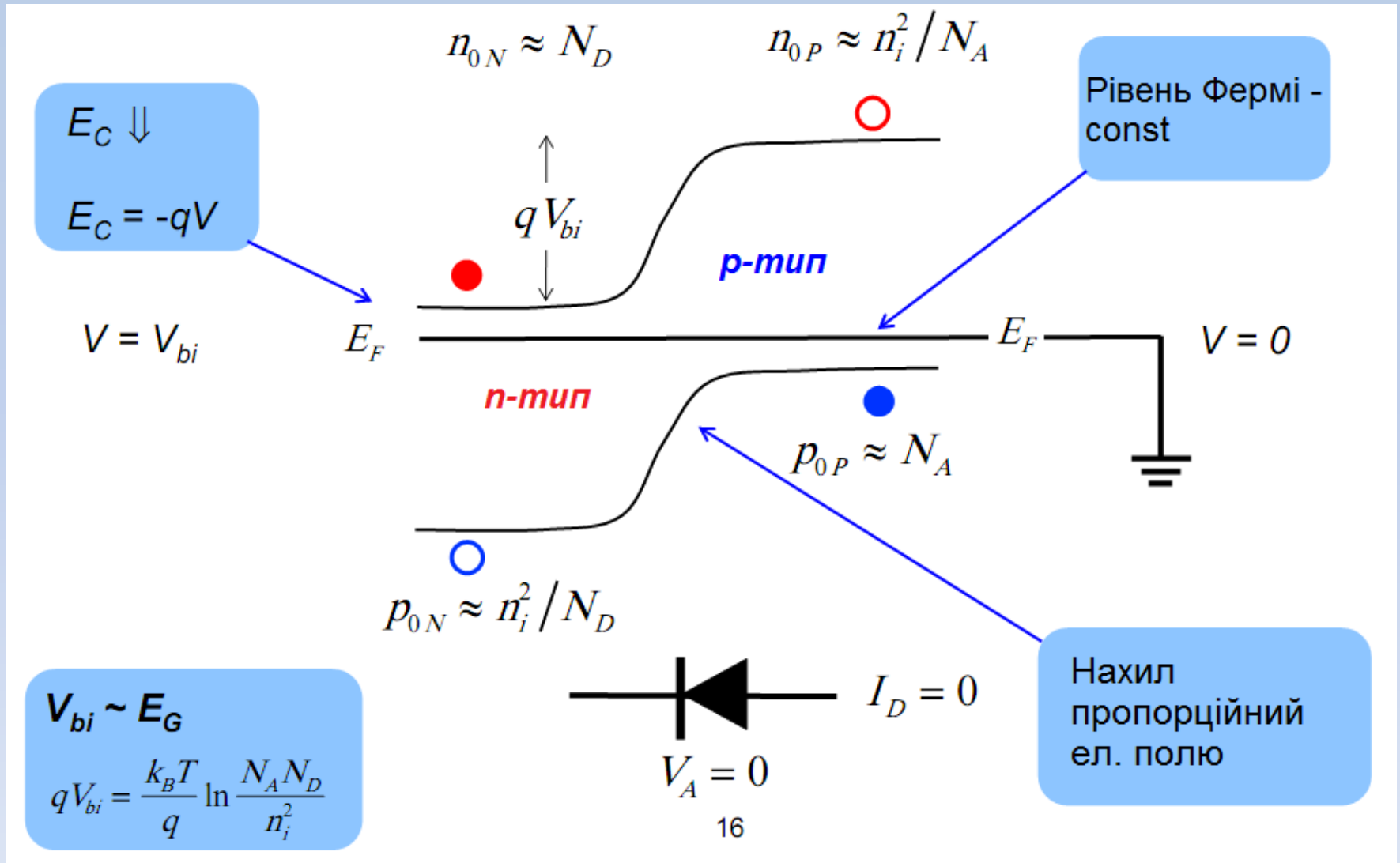
• Розглянемо процеси, що проходять на межі p-n - переходу. Нехай зовнішня напруга на різькому переході $U = 0$. Оскільки в одній частині напівпровідника (n) існує більша концентрація електронів, а в іншій (p) - дірок, відбувається їх взаємна дифузія в області з іншим типом провідності. Різниця концентрацій носіїв однойменних зарядів викликає дифузію дірок з p-області до n-області, а електронів – з n-області до p-області. Густина загального дифузійного струму через перехід визначають за формулою

$$j = j_{\text{диф}n} + j_{\text{диф}p} = eD_n \frac{dn}{dx} - eD_p \frac{dp}{dx}, \quad (\text{рівняння повного струму}).$$



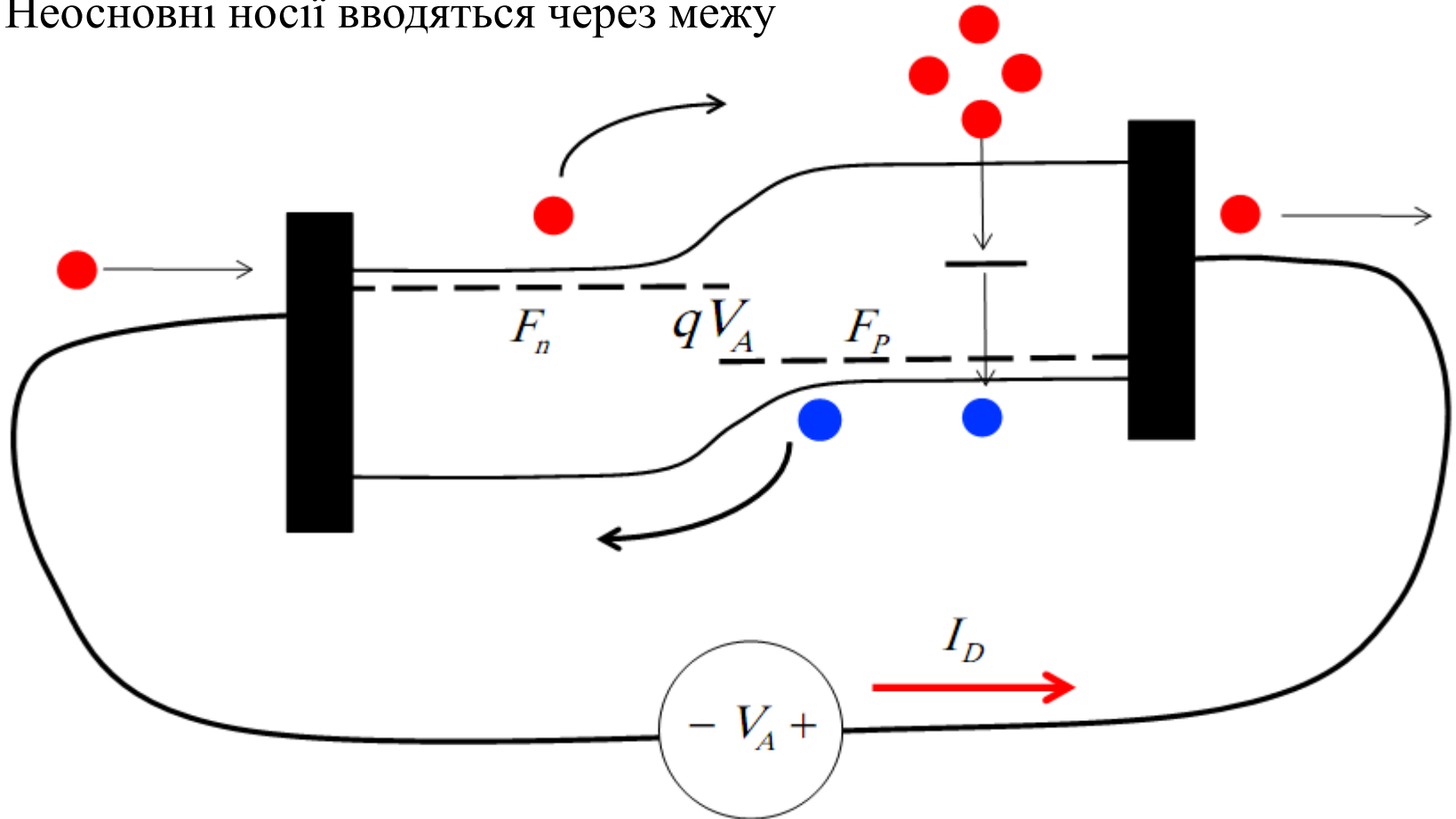
У приконтатному шарі n - області в результаті дифузії формується нерухомий об'ємний (додатний) заряд іонізованих донорів, аналогічно в приконтатному шарі p - області формується нерухомий об'ємний (негативний) заряд іонізованих акцепторів. Виникає *подвійний заряджений шар* (типова товщина прошарку 0,1 мкм), поле якого направлено від n - області до p - області. Ці заряди є нерухомими, в той же час концентрація рухомих вільних носіїв біля контакту зменшується. В результаті прошарок біля p-n-переходу збіднюється носіями заряду і набуває великого опору, який значною мірою і визначає загальний опір напівпровідникового приладу. За межами області об'ємного заряду напівпровідникові області p- та n- типів залишаються *електрично нейтральними*. Збіднена вільними носіями область називається *областю просторового заряду (ОПЗ), або запірним шаром*.

P-N - ПЕРЕХІД В СТАНІ РІВНОВАГИ



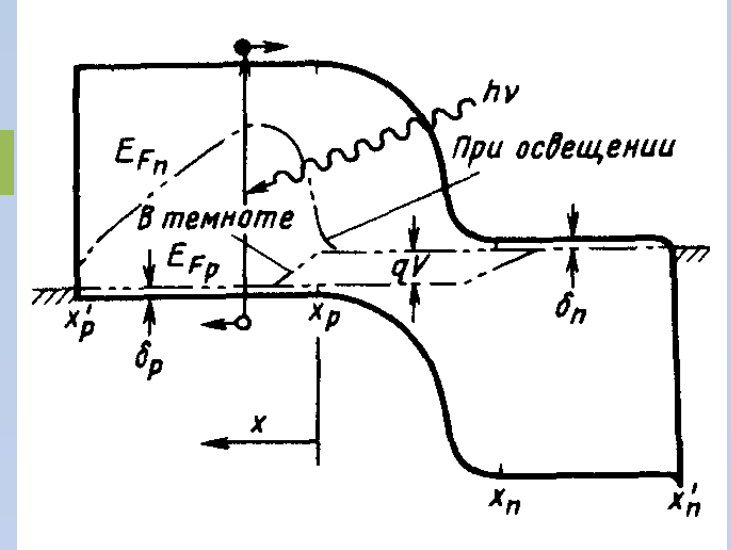
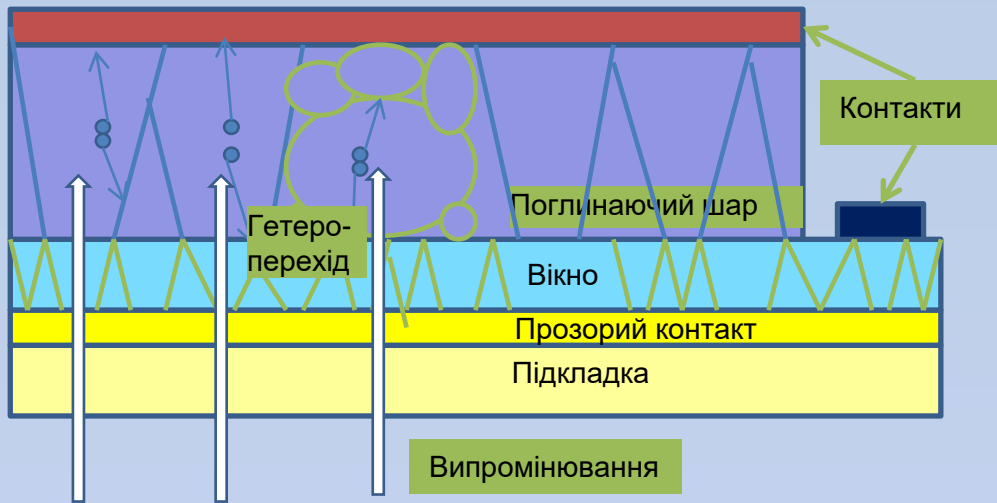
ПОЯВА СТРУМУ ПРИ ОСВІТЛЕНІ

Неосновні носії вводяться через межу



Кожного разу, коли неосновний носій-електрон рекомбінує на р-стороні, один електрон протікає у зовнішньому колі

ПРОЦЕСИ У ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧАХ



При роботі СЕ приладів відбуваються наступні процеси:

1. Генерация електронно-діркових пар під дією випромінювання;
2. Дифузія неосновних фотогенерованих носіїв до р-п, гетеро- або переходу напівпровідник-метал;
3. Розділення носіїв переходом;
4. Збирання носіїв омичними контактами.

Процеси рекомбінації характеризуються часом життя неосновних носіїв заряду

τ - час життя неосновних носіїв заряду; v - їх теплова швидкість; S_r - переріз захвату носіїв рекомбінаційними центрами.

Дифузійна довжина неосновних носіїв заряду пов'язана з їх часом життя де k – стала Больцмана; μ - рухливість носіїв заряду; e – заряд електрона.

$$\tau = (\nu S_r N_t)^{-1}$$

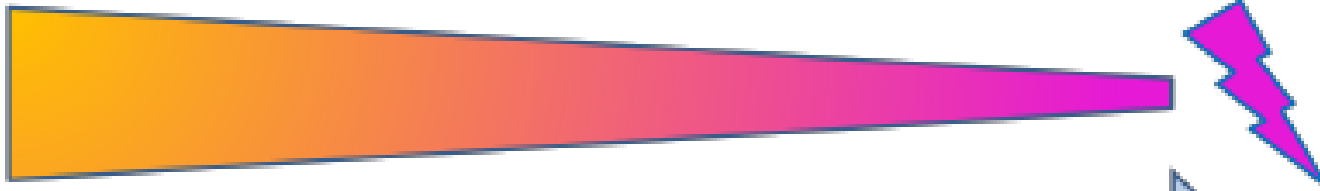
$$L_{dif}^2 = k\mu\tau/e$$

$$1/\tau = 1/\tau_{прот} + 1/\tau_{точк}$$

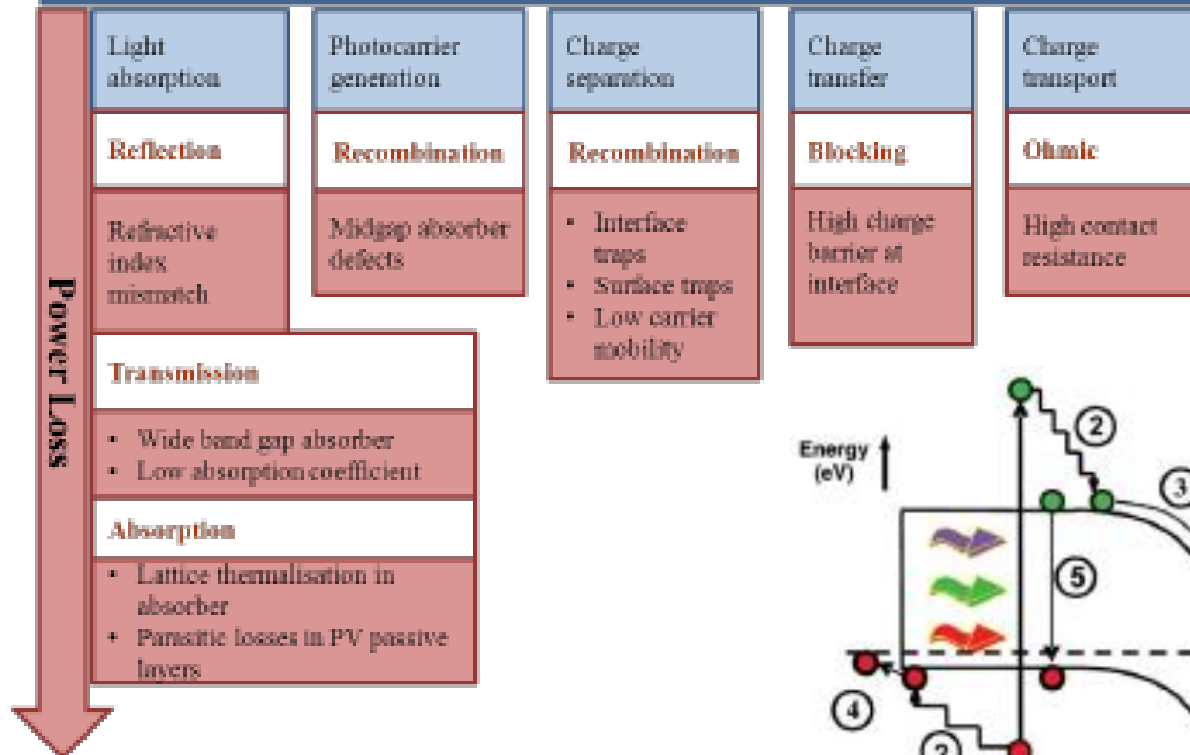
ВТРАТИ ЕНЕРГІЇ У СЕ

$P_{in} = 100 \text{ mW/cm}^2$

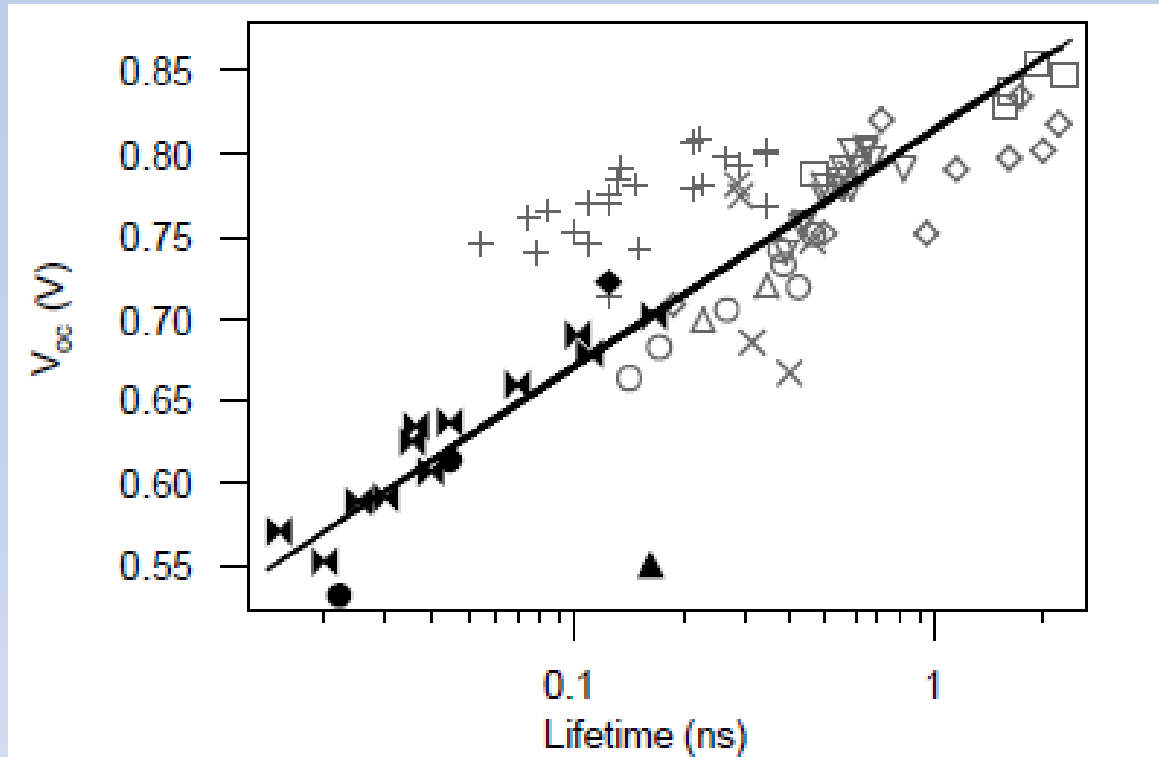
$P_{out} < 45 \text{ mW/cm}^2$



Power conversion

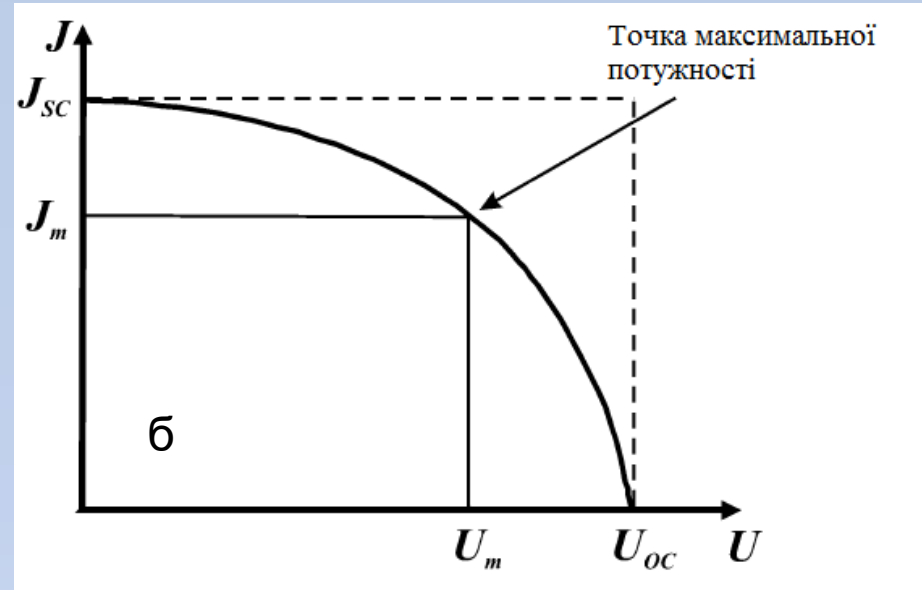
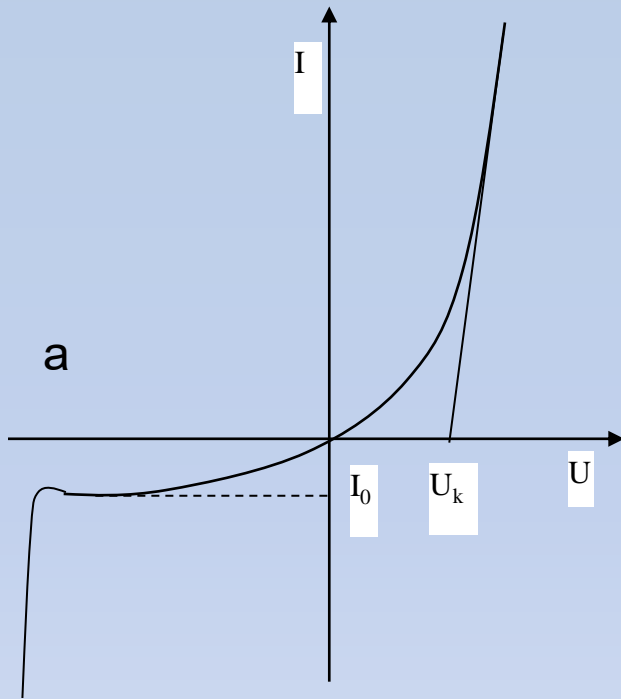


ВПЛИВ ЧАСУ ЖИТТЯ НОСІЇВ ЗАРЯДУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕ



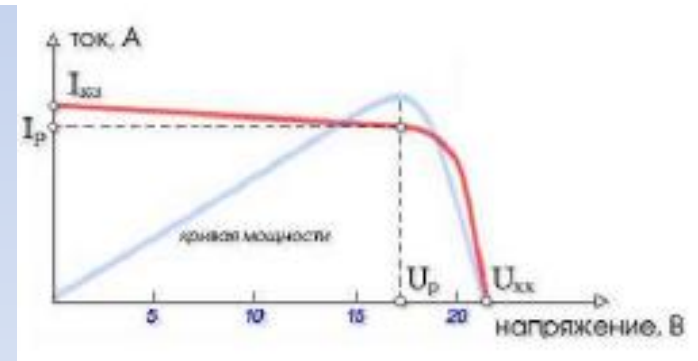
Залежність V_{oc} від тривалості життя носіїв для СЕ на основі CdTe

ВАХ р-n-ПЕРЕХОДУ



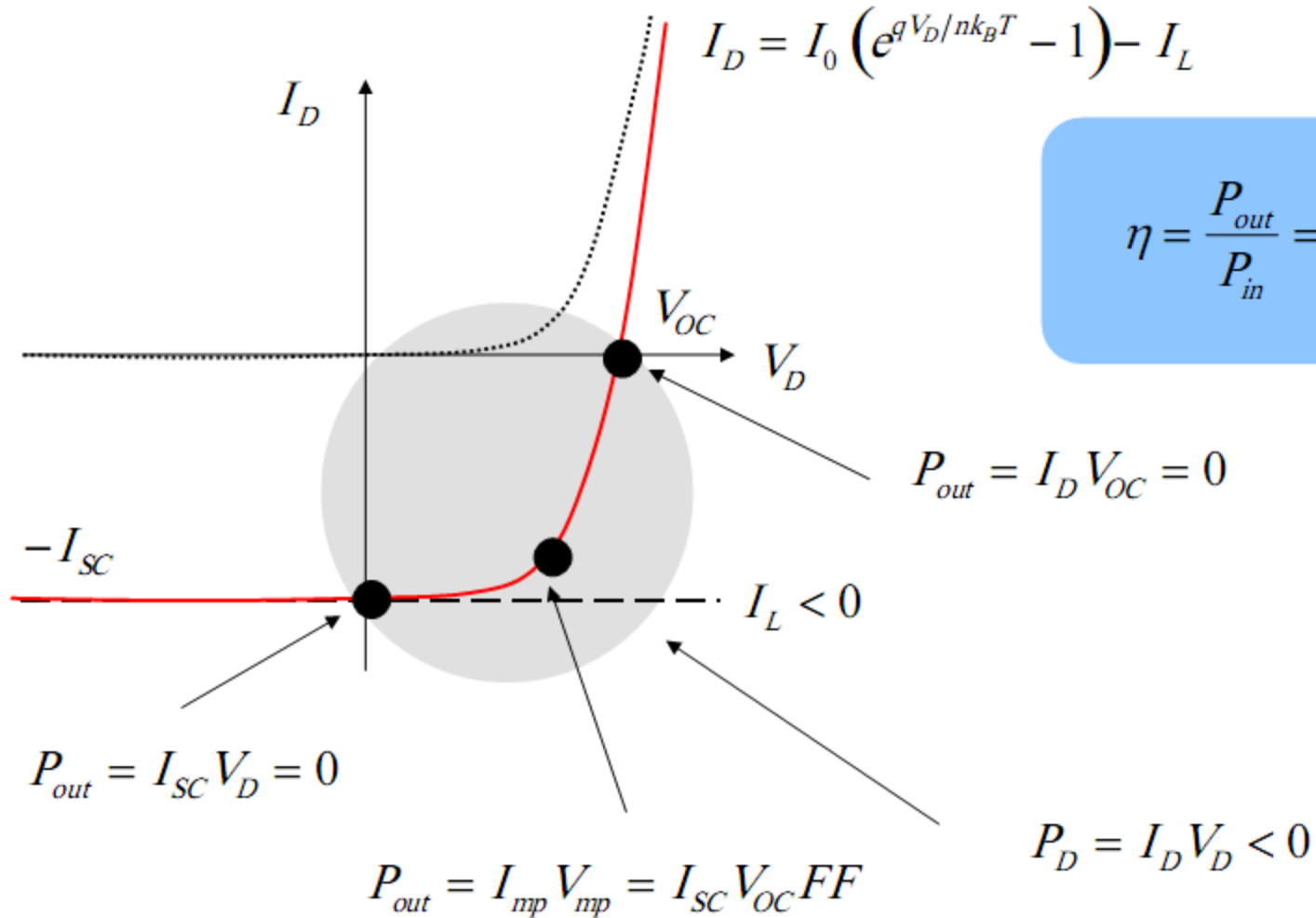
Темнова (а) та світлова (б) ВАХ ідеального СЕ

$$I = I_d - I_c = I_0 \left[\exp\left(\pm \frac{qU}{AkT}\right) - 1 \right]$$



I_0 , A - визначаються механізмом проходження струму через структуру. У випадку дифузійного механізму $A = 2$, емісійного механізму $A = 1$, рекомбінаційного - $1 < A < 2$, тунельного - $1,3 < A < 2$

ТОЧКА МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ



ОБМЕЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕ

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{I_{SC} V_{oc} FF}{P_{in}}$$

1) *Коефіцієнт заповнення ВАХ (fill factor - FF).*

Визначається характеристиками діоду і його послідовним опором.

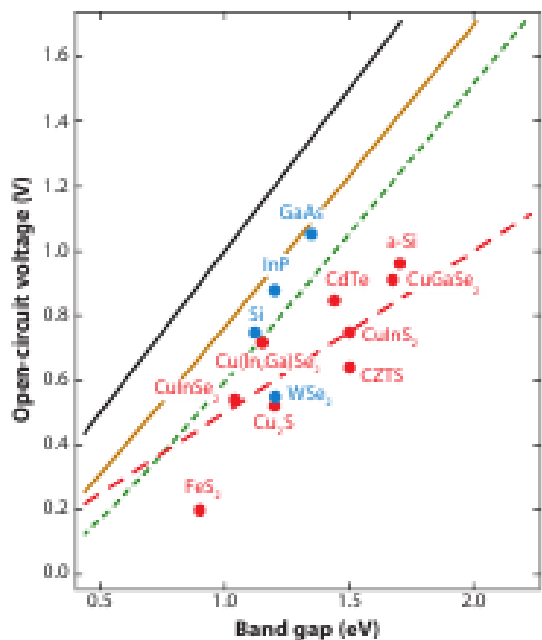
2) *Струм короткого замикання (I_{sc}).*

Зростає при зменшенні ширини забороненої зони матеріалу. Для заданої ширини забороненої зони, визначається відбиттям, абсорбцією світла, рекомбінацією носіїв заряду.

3) *Напруга холостого ходу (V_{oc}).*

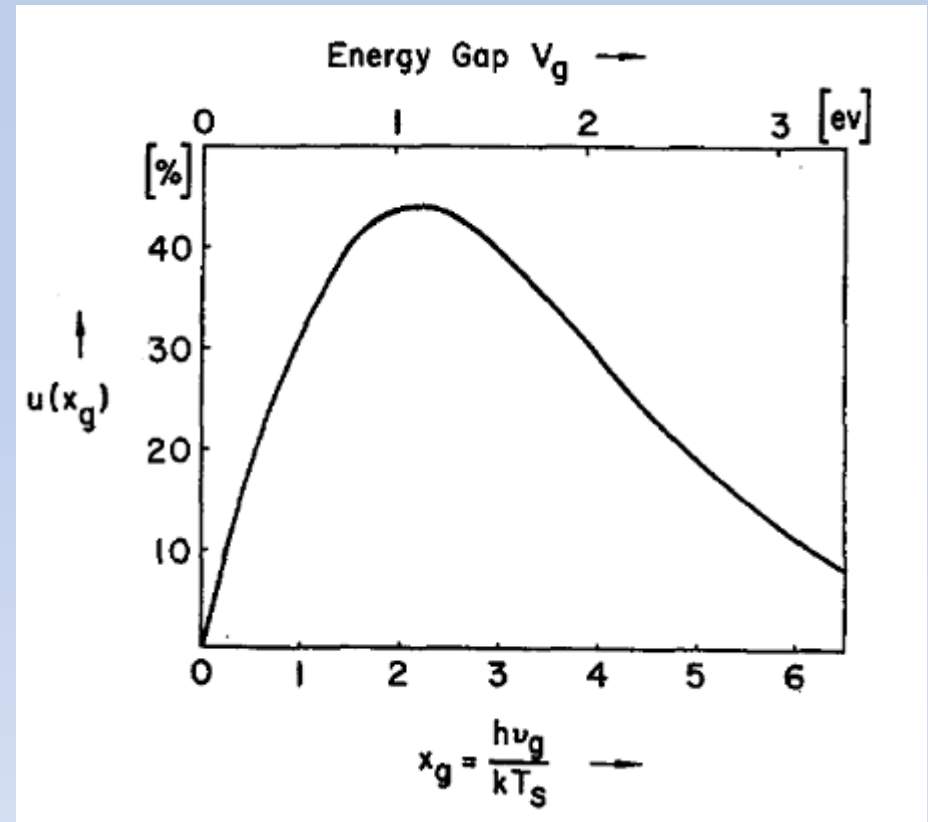
Зростає при зростанні ширини забороненої зони.

Для заданої ширини забороненої зони матеріалу, визначається рекомбінацією носіїв заряду.



ОПТИМУМ ШОКЛІ-КВАЙСЕРА

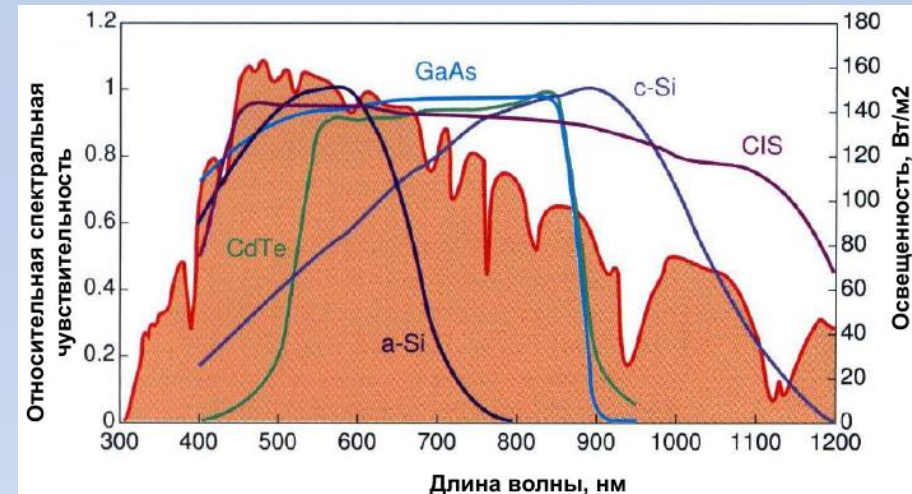
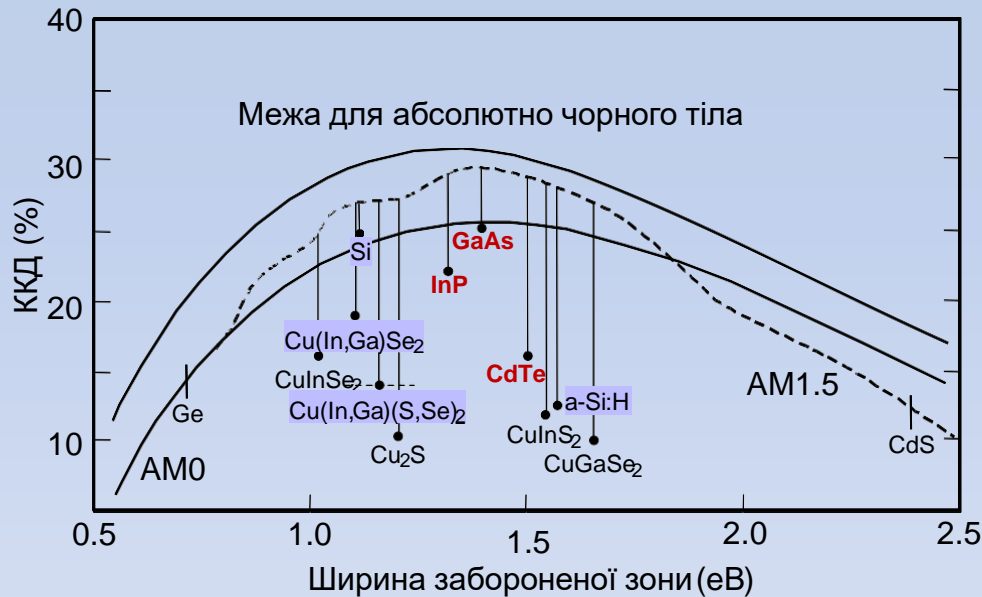
- 1) Мала ширина забороненої зони дає можливість отримувати високі струми короткого замикання I_{sc} ;
- 2) Велика ширина забороненої зони дає можливість отримувати високу напругу холостого ходу V_{oc} ;
- 3) Для даного сонячного спектру, існує оптимальна ширина забороненої зони E_g матеріалу



Shockley W., Queisser H. J. Detailed Balance Limit of Efficiency of p - n Junction Solar Cells // J. Appl. Phys. – 1961. - V. 32. - P. 510.

МАКСИМАЛЬНИЙ ККД СЕ

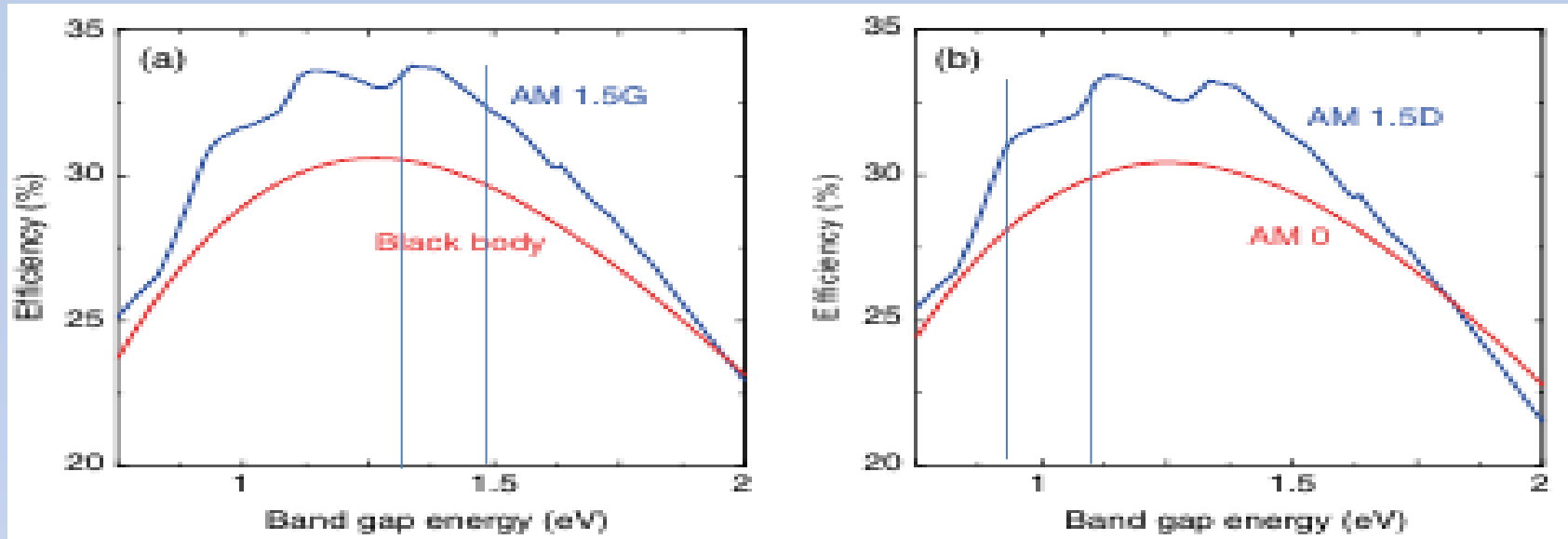
*ККД СЕ визначається шириною забороненої зони поглинального матеріалу.
Оптимальною є ширина забороненої зони $E_g \sim (1,3-1,5)$ eВ ($T = 25$ °С).*



Залежність максимального коефіцієнта корисної дії СЕ від ширини забороненої зони матеріалу: CIS – CuInSe₂, CIGS – Cu(In,Ga)Se₂, CIGSS – Cu(In,Ga)(S,Se)₂. Умова освітлення AM1,5; $T = 25$ °С

Відносна спектральна чутливість ФЕП з поглинаючим шаром з різних напівпровідників

УТОЧНЕНІ РОЗРАХУНКИ

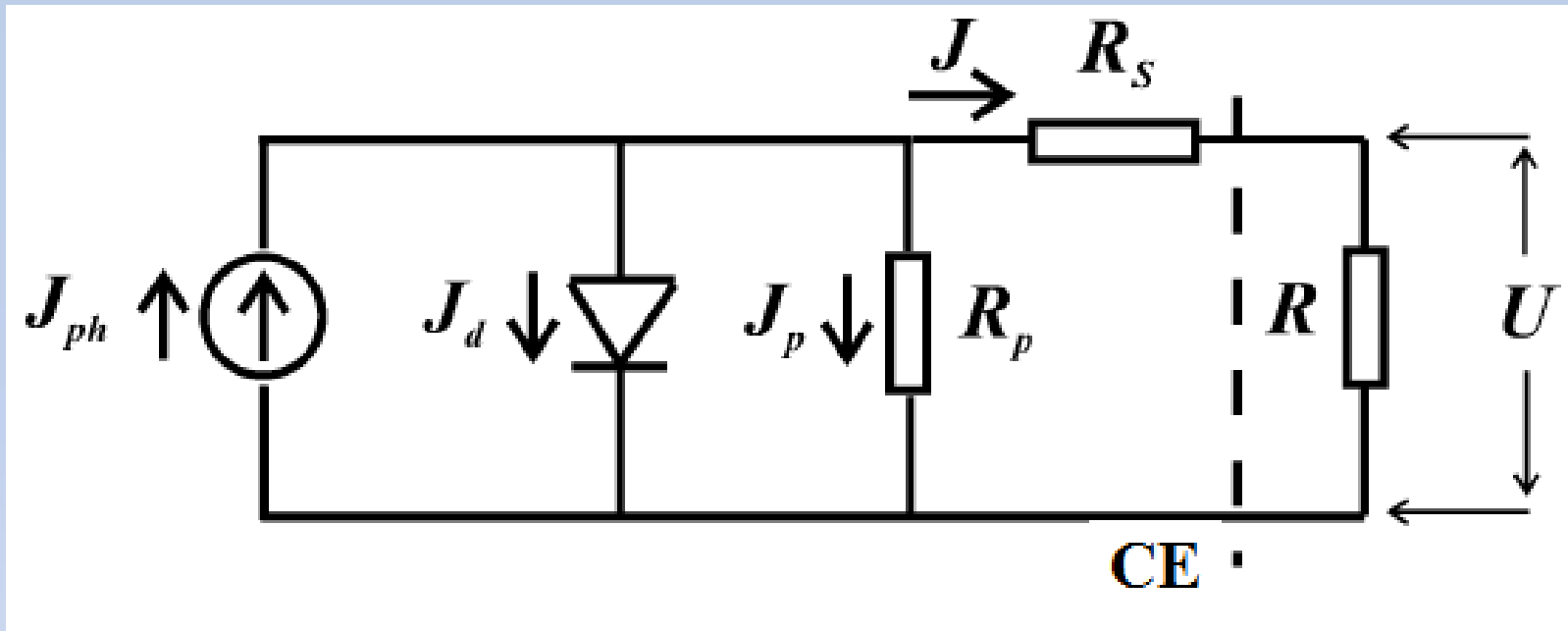


Залежність максимального коефіцієнта корисної дії СЕ від ширини забороненої зони матеріалу

Table 1.1 Effects of the Earth's atmosphere on the performance of an ideal solar cell at 298 K. Theoretical calculations for black body radiation at 5772 K are also shown for reference

Solar radiation	η_{max} (%)	$E_{g,max}$ (eV)	V_{oc} (V)	FF (%)	J_{sc} ($A\ m^{-2}$)	$E_{g,h}$ (eV)	$E_{g,w}$ (eV)	P_i ($kW\ m^{-2}$)
AM1.5G	33.8	1.34	1.08	89.0	351	1.06	1.50	1.00
AM1.5D	33.4	1.14	0.89	87.2	387	1.02	1.47	0.90
AM0	30.4	1.24	0.99	88.2	469	0.99	1.56	1.35
Black body	30.6	1.26	1.02	88.4	462	1.02	1.55	1.36

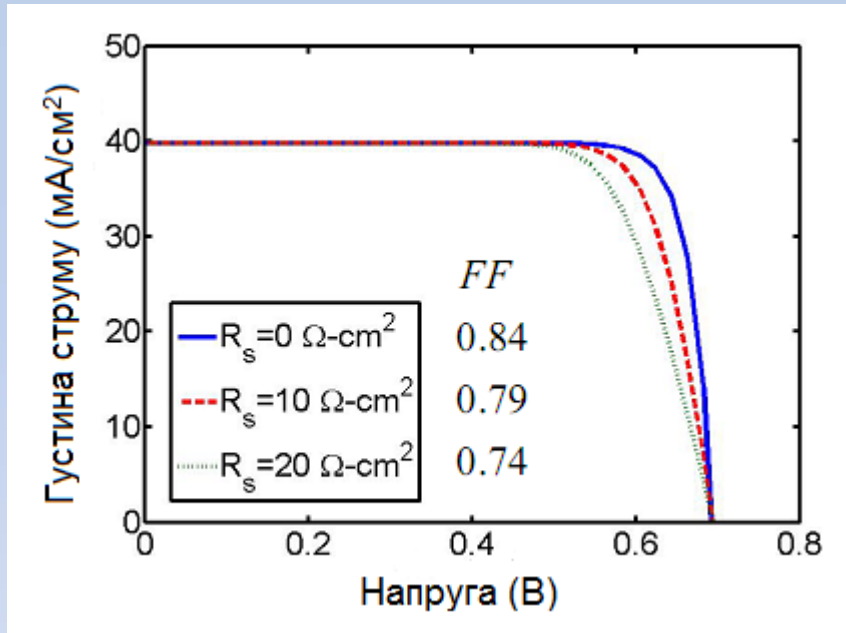
ЕКВІВАЛЕНТНА СХЕМА СЕ



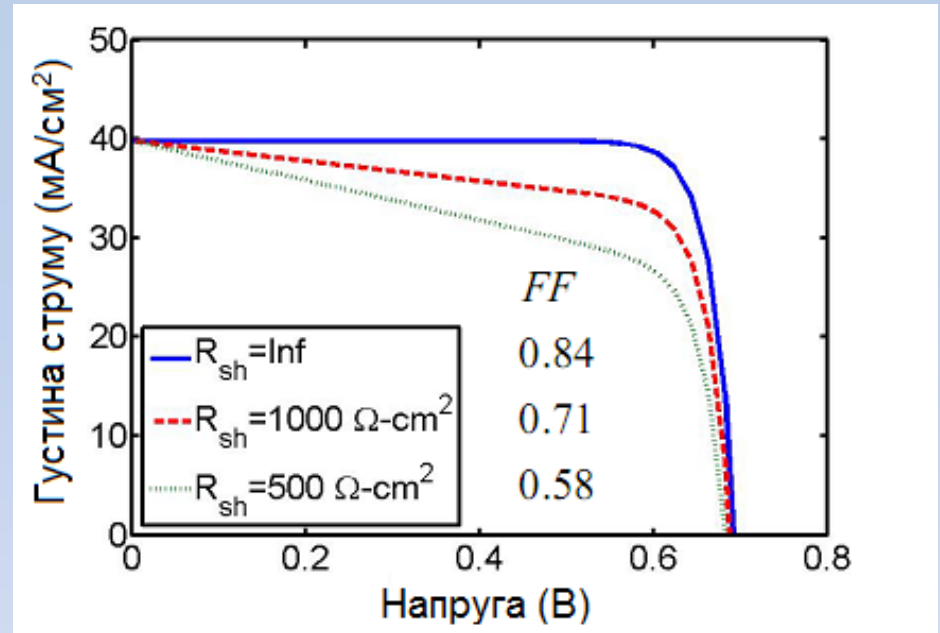
СЕ можна представити як генератор включений паралельно з діодом та послідовним і шунтувальним опорами

ВПЛИВ ПОСЛІДОВНОГО І ШУНТУВАЛЬНОГО ОПОРІВ СЕ

Вплив послідовного опору



Вплив шунтувального опору

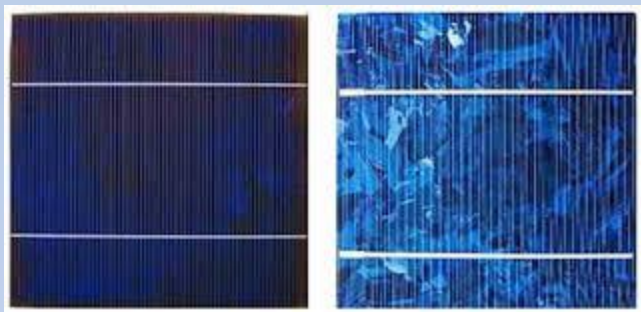


Формула для опису ВАХ реальних СЕ:

$$I = I_L - I_0 \left(e^{q(V + IR_S) / k_B T} - 1 \right) - \frac{V + IR_S}{R_{SH}}$$

ПЕРЕХІД ВІД НЕПРЯМОЗОННИХ ДО ПРЯМОЗОННИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ

Непрямозонні н/п



Кремній (Si)

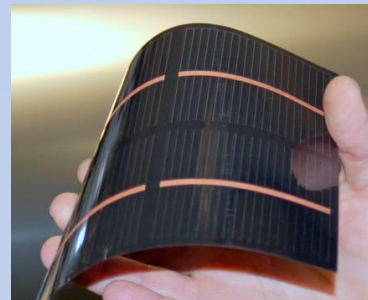
с-Si $d = 180-300$ мкм



Моно - Si

Полі - Si

Прямозонні н/п



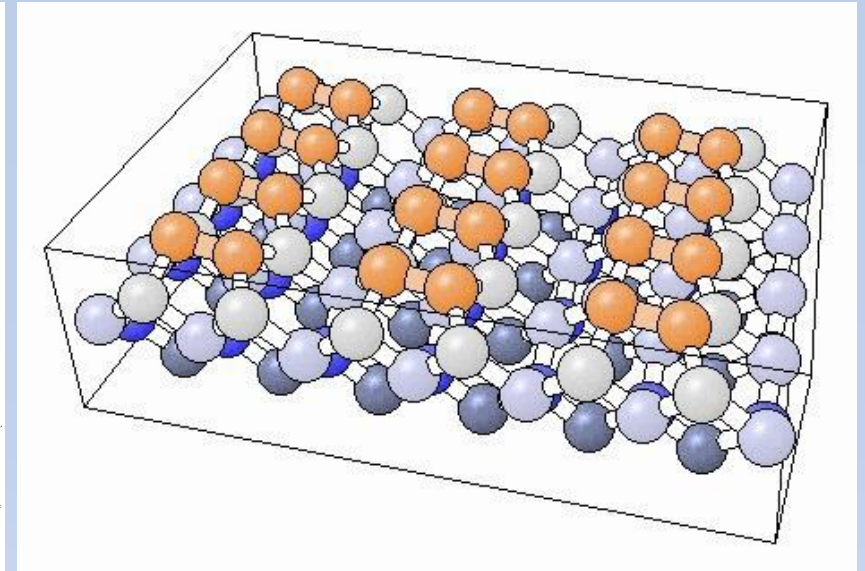
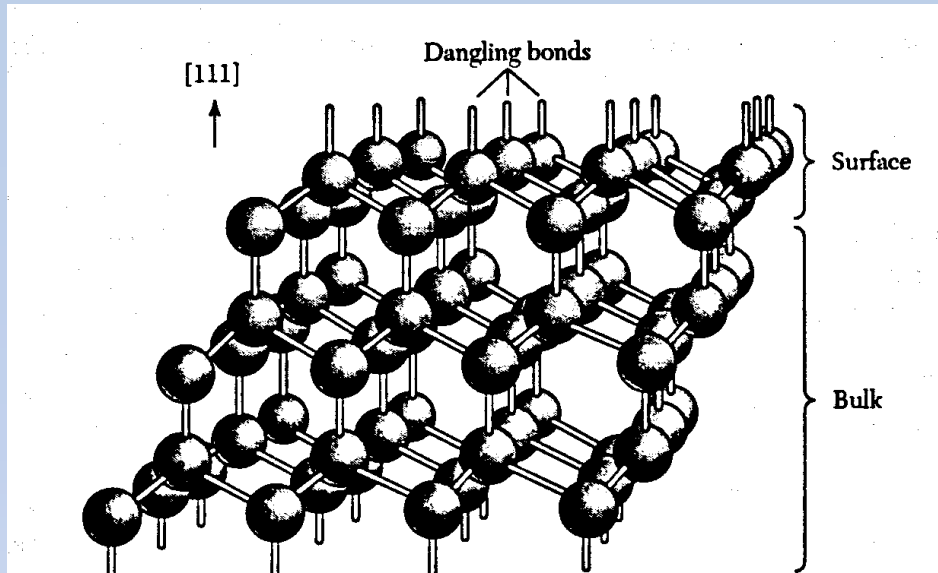
Тонкі плівки

CdTe $d \sim 1-2$ мкм

Cu(In,Ga)(S,Se)₂ $d \sim 1-2$ мкм

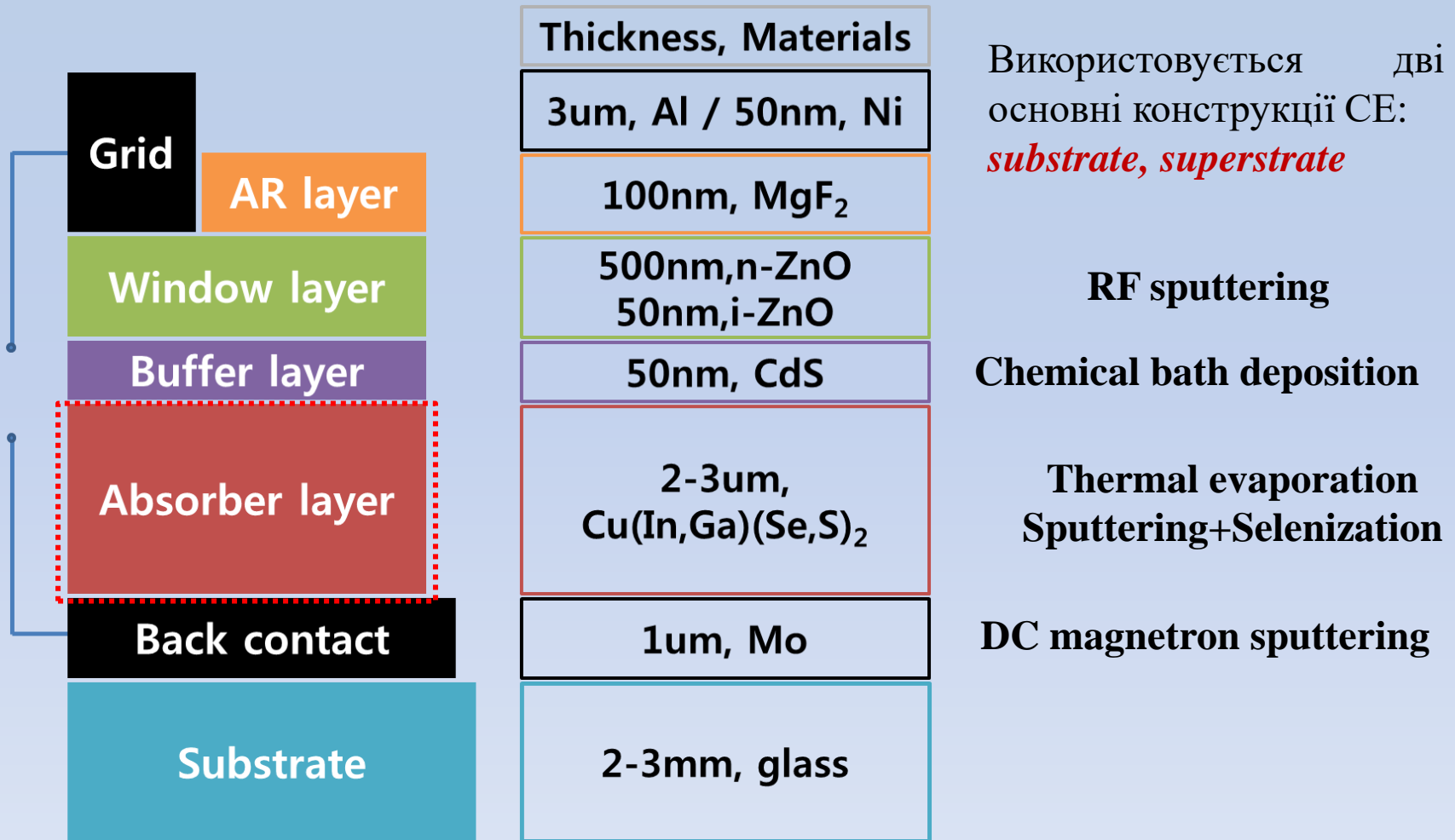
Сьогодні, ефективність ФЕП на основі обох матеріалів перевищує 20%

ПОВЕРХНЕВА РЕКОМБІНАЦІЯ



*Поверхня СЕ є ефективним рекомбінаційним центром. Оскільки р-п-переходи в прямозонних матеріалах повинні бути мілкими, поверхнева рекомбінація суттєво погіршує ККД таких СЕ. Більш **перспективним є використання фотоелементів на основі гетеропереходів з широкозонним віконним шаром.** Вікно відсуває область генерації носіїв від поверхні перетворювача, зменшуючи швидкість рекомбінації неосновних носіїв заряду і тим самим збільшуючи їх час життя.*

ТИПОВА КОНСТРУКЦІЯ СЕ НА ОСНОВІ ГП (CdS/CIGS)



Конструкція substrate

ГЕТЕРОПЕРЕХОДИ

Гетеропереходом (ГП) називають контакт двох напівпровідників, які розрізняються структурними та електрофізичними параметрами: *кристалічною структурою, шириною забороненої зони, величиною електронної спорідненості, діелектричними сталими, ефективною масою тощо.* Внаслідок цього їх експериментальне дослідження та теоретичний опис набагато складніші ніж у випадку *p-n*-переходів. Розрізняють ізотипні і анізотипні гетеропереходи. Якщо гетероперехід утворений двома напівпровідниками одного типу провідності, то говорять про *ізотипний* гетероперехід. *Анізотипні* гетеропереходи утворюються напівпровідниками з різним типом провідності. Найбільш перспективними вважаються СЕ на основі ГП зі сполуками A_3B_5 та A_2B_6 . Гетеропереходи утворенні сполуками цих групи, досліджуються вже більше 40 років. Однак в основному вивчені структури, де на монокристалічну підкладку з однієї сполуки різними методами нанесена епітаксіальна плівка іншої сполуки. *Серед сполук A_2B_6 тільки $ZnTe$ і $CdTe$ у нелегованому вигляді можуть мати діркову провідність, всі інші мають n-тип, тому створення анізотипних гетеропереходів можливе лише з даними матеріалами.*

ГЕТЕРОПЕРЕХОДИ

Оскільки в ГП використовуються різні матеріали, необхідно, щоб у цих матеріалів з великою точністю збігалися два параметри: *температурний коефіцієнт розширення (ТКР) і постійні ґратки матеріалів*. В результаті вдається отримати границю розділу матеріалів вільну від дефектів (дислокацій).

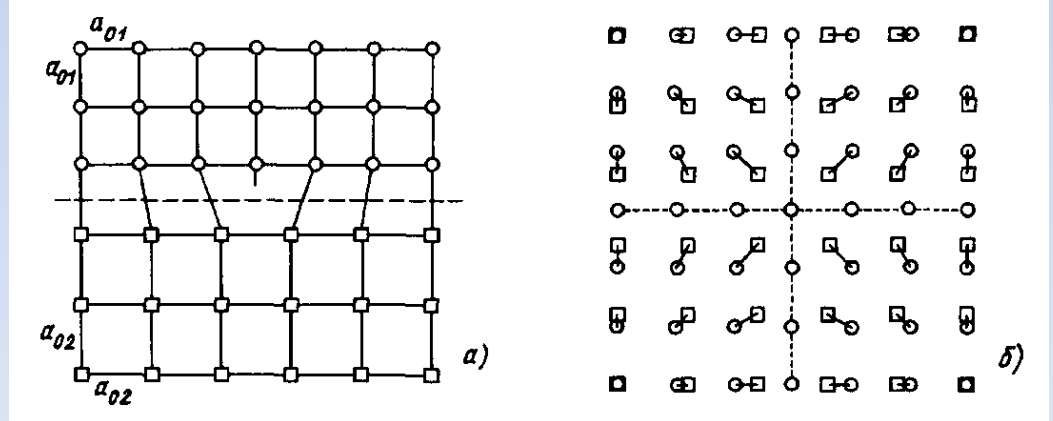
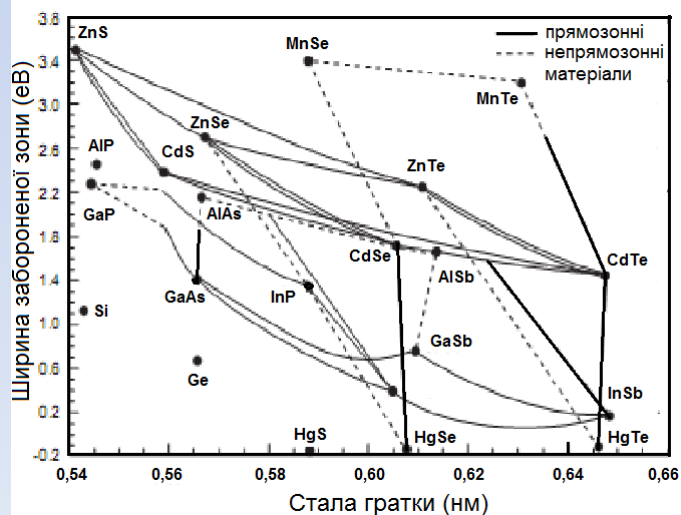
•З урахуванням сказаного, *кількість напівпровідників придатних для створення якісних ГП обмежена*.

•При невідповідності сталих ґратки матеріалів ГП на їх границі виникає *сітка крайових дислокацій*. Поверхневі стани з концентрацією N_s , що виникають внаслідок цього є зарядженими і виступають у ролі ефективних рекомбінаційних центрів. В результаті електричні властивості ГП суттєво погіршуються. Відстань x між поверхневими дефектами і їх концентрація N_s для матеріалів з кубічною ґраткою визначаються виразами

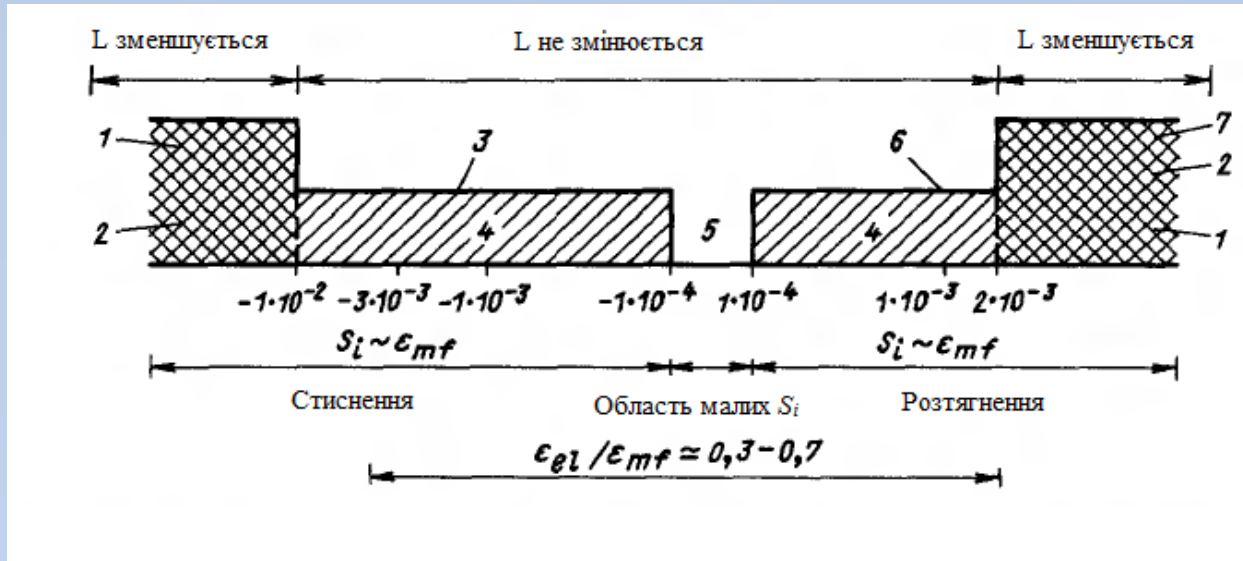
$$x = \frac{a_1 \cdot a_2}{\sqrt{2} (a_1 - a_2)}, \quad N_s = \frac{4 (a_1^2 - a_2^2)}{a_1^2 a_2^2}$$

•Границя розділу матеріалів яка практично не містить поверхневі стани (ідеальний ГП) може бути отримана при невідповідності періодів ґраток матеріалів, що не перевищує декількох відсотків.

•Невідповідність коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів ГП приводить до виникнення мікрореформацій в них та знову ж до утворення дислокаційної сітки. $\varepsilon = (\alpha_1 - \alpha_2)(T_1 - T_2)$.



СТАН ГЕТЕРОГРАНИЦІ



Критичні деформації і напруження і їх взаємозв'язок з механічними і електричними властивостями ГП:

L – дифузійна довжина неосновних носіїв заряду; ϵ_{el} – пружна деформація; ϵ_{mf} – деформація внаслідок невідповідності параметрів решіток; S_i – швидкість рекомбінації носіїв на границі поділу; l – утворення дислокацій невідповідності; 2 – ріст недосконалого кристалу; 3 – критична пружна деформація, яка викликає розмноження дислокацій; 4 – дислокація невідповідності у границі поділу; 5 – дислокації невідповідності відсутні; 6 – критична деформація невідповідності, яка викликає утворення тріщин; 7 – тріщини.

При невідповідності параметрів ґратки матеріалів ГП меншій 1% відбувається їх гетероепітаксіальне спряження, в результаті приповерхневі стани на міжфазній межі не виникають. При більшій невідповідності сталих ґратки матеріалів (>1%) на гетеромежі виникає сітка дислокацій. При неузгодженості періодів ґратки матеріалів більшій 7% на їх межі поділу виникає дуже велика кількість приповерхневих станів ($N_s > 10^{13} \text{ см}^{-3}$)

ЗОННІ ДІАГРАМИ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ГП

• При побудові зонних діаграм ГП, детальному аналізу розподілу електричного поля і потенціалу в ОПЗ, а також величини і компонентів електричного струму необхідно враховувати, що *різні напівпровідники мають різні значення електронної спорідненості χ , роботи виходу Φ , ширини забороненої зони E_g і діелектричної проникності ε* . Внаслідок цього на діаграмах виникають «пічки» та «розриви» зон.

• На рис. наведені відповідні зонні діаграми для різних типів ГП.

• Можна виділити наступні різновиди ГП:

• 1) перехід, що охоплює виникає, коли розрив зони провідності ΔE_c і розрив валентної зони ΔE_v позитивні. Такий випадок реалізується, наприклад, в ГП GaAs/ $Al_xGa_{1-x}As$. У літературі даний тип називають ГП **I туню**, або стандартним.

• 2) у разі ж, коли один з розривів зон позитивний, а інший негативний говорять про перехід **II туню**, або ступінчастий. Цей випадок реалізується в ГП InP/ $In_{0,52}Al_{0,48}As$. (GaAs/GaP).

• 3) також можливий варіант, коли заборонені зони взагалі не перекриваються за енергією. Цей ГП називають переходом **III туню** або розривним ГП. Класичний приклад - ГП InAs/GaSb.

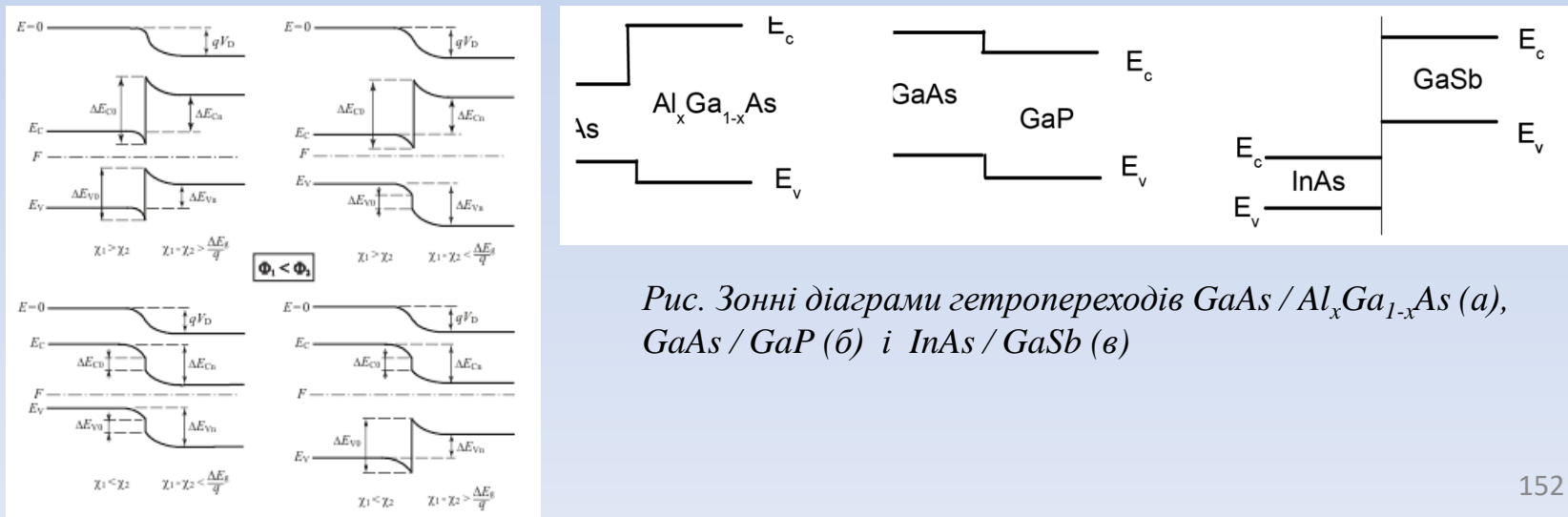


Рис. Зонні діаграми гетропереходів GaAs / $Al_xGa_{1-x}As$ (а), GaAs / GaP (б) і InAs / GaSb (в)

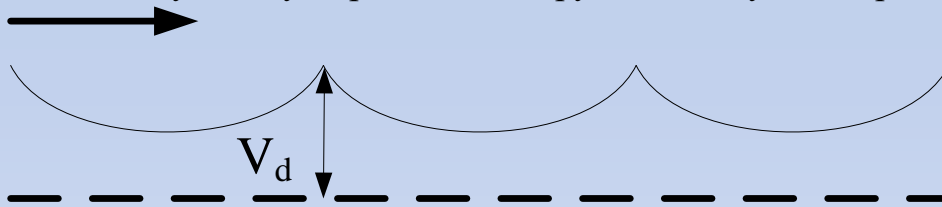
ВПЛИВ ГРАНИЦЬ ЗЕРЕН

• При встановленні впливу міжкристалітних меж на характеристики приладів з сепаруючими бар'єрами (фотодетекторів, СЕ тощо) їх звичайно поділяють на два типи:

• *паралельні цьому бар'єру*

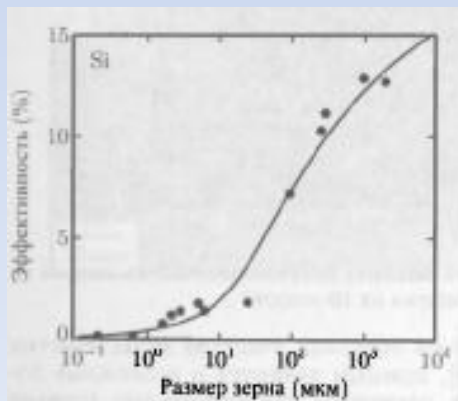
• *перпендикулярні йому.*

• *Носії які генеруються випромінюванням за межею паралельною р-п чи ГП практично повністю рекомбінують на зерномежевих станах і внеску у фотострум не вносять, суттєво погіршуючи характеристики приладів. При цьому міжкристалічні потенціальні бар'єри є суттєвими перепонами для носіїв заряду, які їх все ж перетнули. В результаті в полікристалічних напівпровідниках рухливість носіїв суттєво знижується у порівнянні з їх рухливістю у монокристалічному матеріалі.*



$$\mu = \mu_0 \cdot e^{-V_d/kT}$$

• *Межі перпендикулярні сепаруючому бар'єру призводять до зменшення струмів короткого замикання I_{sc} та напруги холостого ходу U_{oc} , збільшення струмів втрати СЕ та інших приладів в яких генеруються носії заряду.*

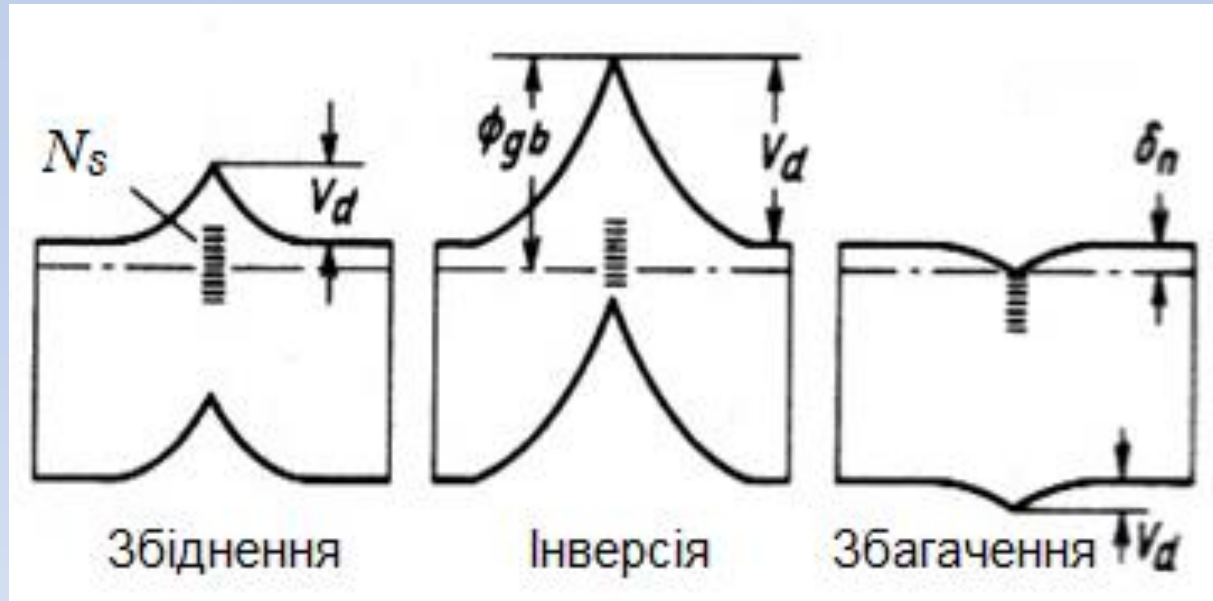


Для мінімізації цих втрат зерна полікристалічних плівок повинні бути стовпчастими з розмірами, що перевищують подвоєну дифузійну довжину носіїв заряду ($D \gg 2L_{dif}$). Границі перпендикулярні р-п переходу потрібно пасивувати з метою зменшення швидкості рекомбінації на них.

Вплив розміру зерна на ККД полікристалічного СЕ на основі кремнію

ТИПИ ПОТЕНЦІАЛЬНИХ БАР'ЄРІВ НА МЕЖІ ЗЕРНА

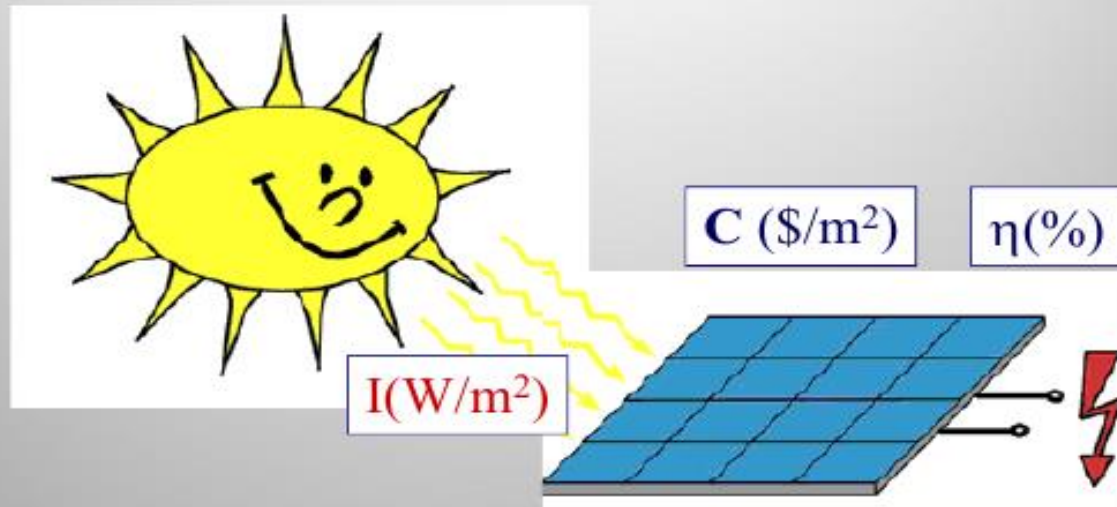
Електрична активність різних меж є різною. Найменшу активність мають межі між когерентними двійниками та ДП, *найбільшу висококутові міжзеренні. Останнім властива висока концентрація дислокацій, велика деформація кристалічної ґратки і суттєва сегрегація домішок. Саме вони в значній мірі визначають електрофізичні характеристики полікристалічного матеріалу.*



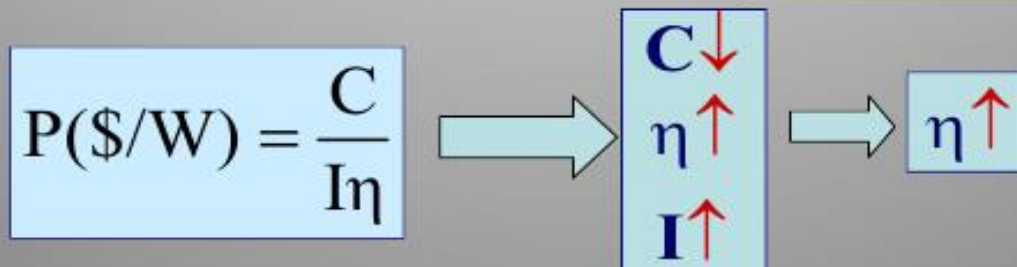
V_d - висота потенціального бар'єра, N_s - густина поверхневих станів

ВАРТІСТЬ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

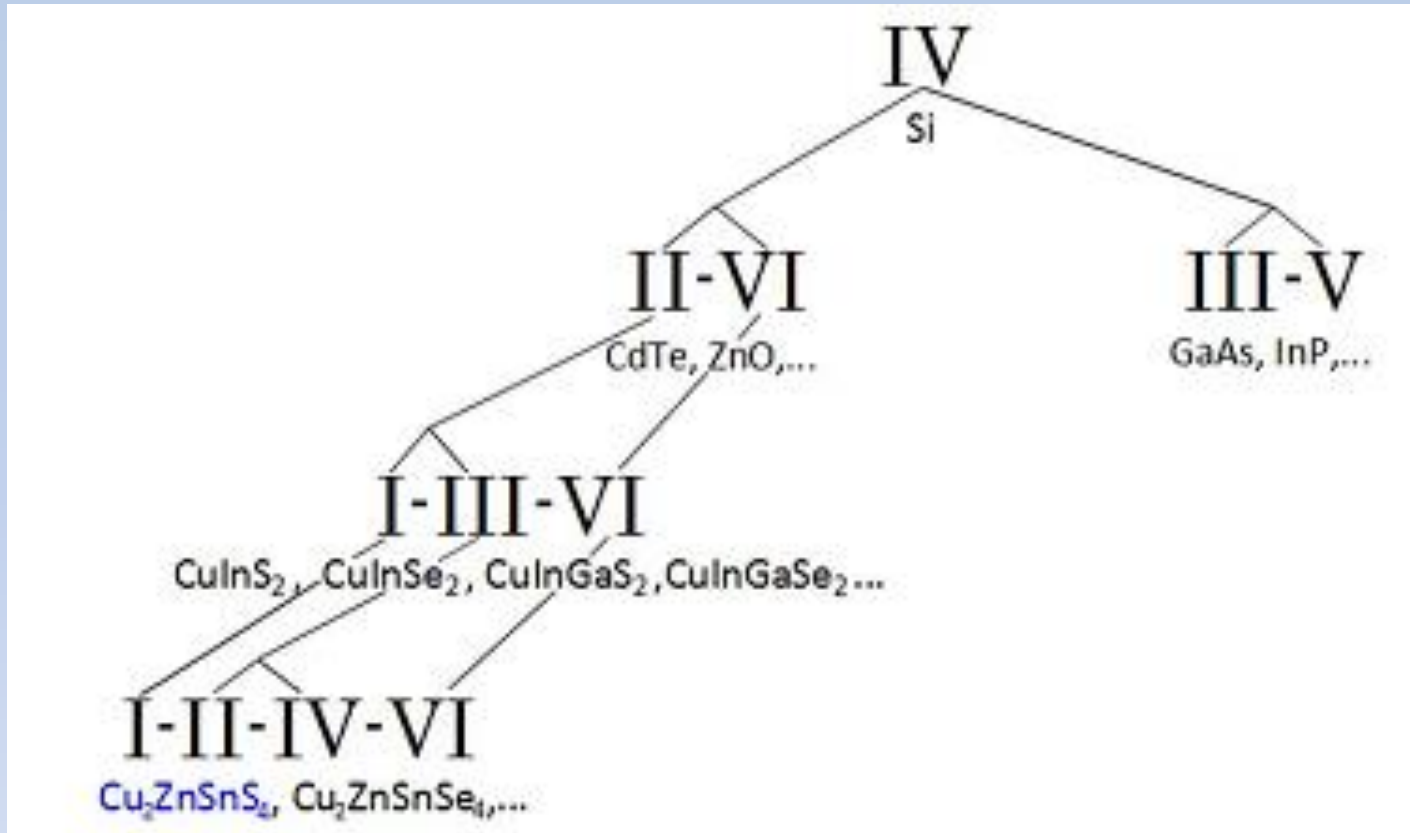
Вартість отримання 1 Вт сонячної енергії



$$N(\text{W}/\text{m}^2) = I(\text{W}/\text{m}^2) \left(\frac{\eta\%}{100\%} \right)$$



СПОЛУКИ ДЛЯ ПОГЛИНАЮЧИХ ШАРІВ СЕ



A_3B_5 , A_2B_6 , A_4B_6 , халькопиритні сполуки CIS, CIGS, CIGSS – $(CuInSe_2, CuIn_{1-x}Ga_xSe_2, Cu(In,Ga)(S,Se)_2)$ та чотирьохкомпонентні сполуки CZTS(Se) (Cu_2ZnSnS_4 та $Cu_2ZnSnSe_4$)

ПОКОЛІННЯ ФЕП

В наш час прийнято виділяти три покоління ФЕП:

Кристалічні (перше покоління):

- монокристалічні кремнієві (**Si**, $\eta = 26,7\%$) та на основі арсеніду галію (**GaAs**, $\eta = 29,1\%$), фосфіду індію (**InP**, $\eta = 24,2\%$);
- полікристалічні (мультикристалічні, $\eta = 21,9\%$) кремнієві;
- технології вирощування тонкостінних заготовок: EFG (Edge defined film-fed crystal growth technique), S-web (Siemens), тонкошаровий полікремній (Arex).

Тонкоплівкові (друге покоління):

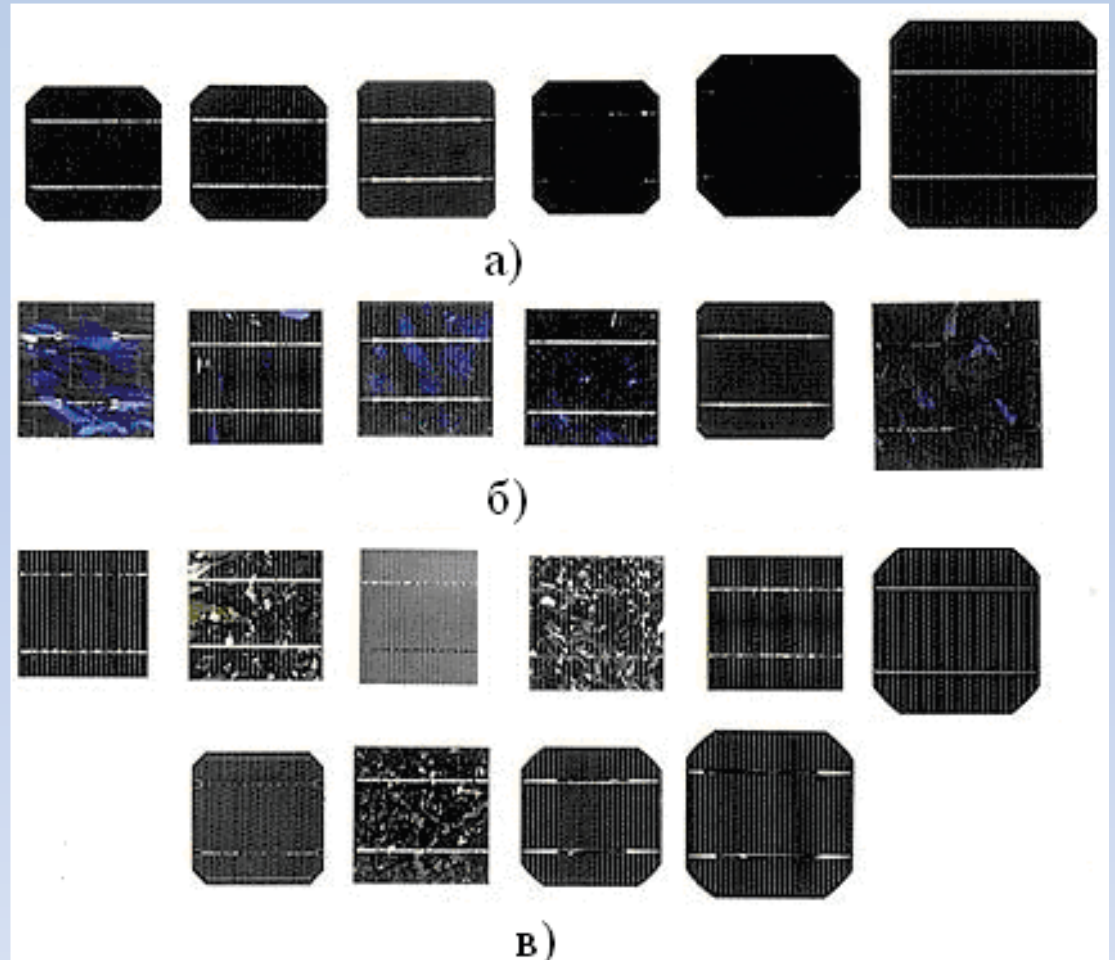
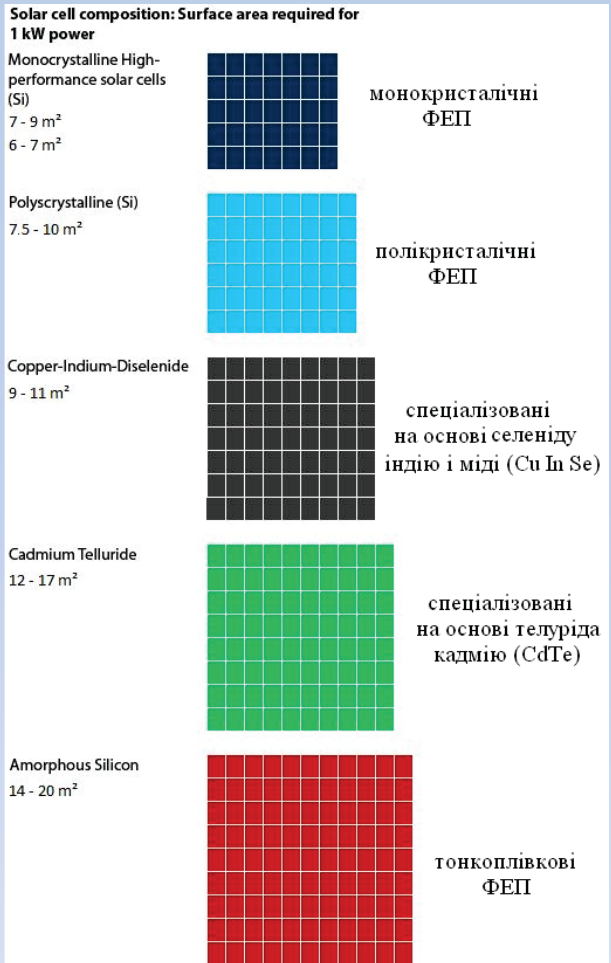
- кремнієві: аморфні ($\eta = 10,2\%$), мікрокристалічні ($\eta = 11,9\%$), нанокристалічні, CSG (crystalline silicon on glass);
- на основі телуриду кадмію (**CdTe**, $\eta = 21,0\%$); Виробник First Solar.
- на основі селеніду міді-індію-галію (**CIGS**, $\eta = 23,35\%$): Solar Frontier, Q-Cells, Solyndra, Miasol.

ФЕП третього покоління:

- неорганічні ФЕП на основі нових матеріалів (**CZTSSe**, $\eta = 11,3\%$; **CZTS**, $\eta = 10,0\%$; Піровскіти, $\eta = 21,6\%$);
- ФЕП на основі каскадних структур ($\eta = 38,8\%$, 5 переходів (2,17/1,68/1,40/1,06/0,73));
- фотосенсибілізовані барвники (dye-sensitized solar cell, DSC, $\eta = 11,9\%$);
- органічні (полімерні) ФЕП (OPV, $\eta = 13,45\%$);
- нові принципи перетворення сонячної енергії. Виробники First Solar, Konarka, Solarmer, IBM, Plextronics.

У 2005 році на тонкоплівковій СЕ припадало 6% ринку. У 2007 році частка тонкоплівкових технологій збільшилася до 8%. У 2009 році вона виросла до 16,8%. *За період з 1999 року до 2006 рік поставки тонкоплівкових ФЕП зростали щороку в середньому на 80%.*

ПОРІВНЯННЯ ПЛОЩ СЕ

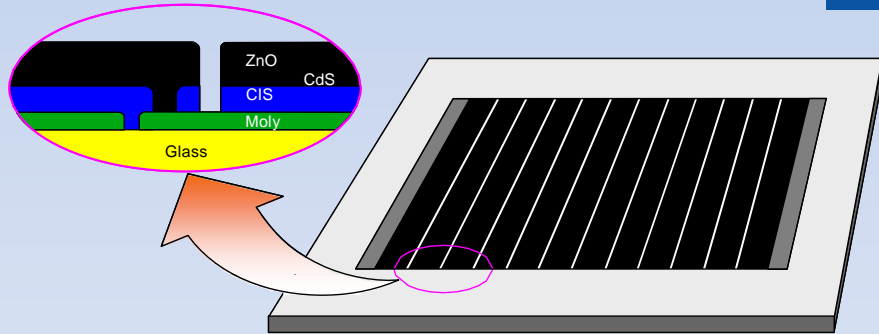


• Порівняння площ сонячних батарей створених з різних матеріалів для отримання 1 кВт електроенергії: для монокристалічного 6-9 м²; полікристалічного 7.5-10 м²; тонкоплівкового 14-20 м²

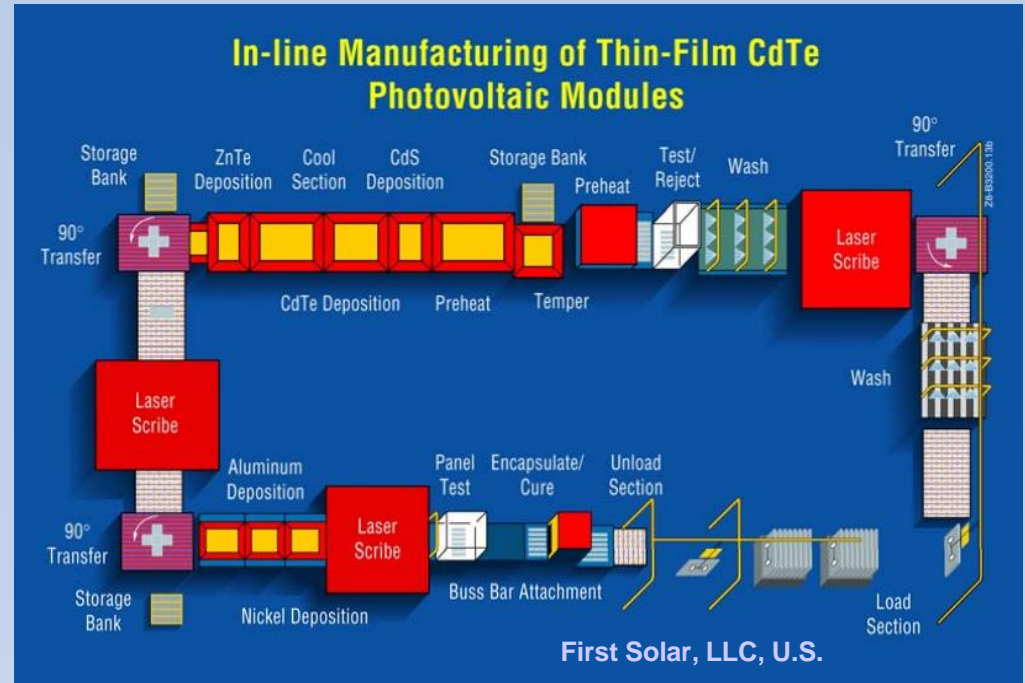
Вигляд різних типів сонячних елементів:
а) монокристалічних;
б) полікристалічних;
в) тонкоплівкових

ТЕХНОЛОГІЯ ТОНКОПЛІВКОВИХ ФЕП

- Як адсорбер використовуються тонкоплівкові прямозонні матеріали ($d \sim 1$ мкм замість ~ 300 мкм для Si)
- Низька вартість підкладки (скло, нержавіюча сталь, пластик)
- Використовуються високопродуктивні процеси осадження (періодичні або безперервні)
- Більш низькі температури обробки (менше використання енергії); безвакуумні методи
- Менше етапів збірки модулів; надійний зв'язок СЕ

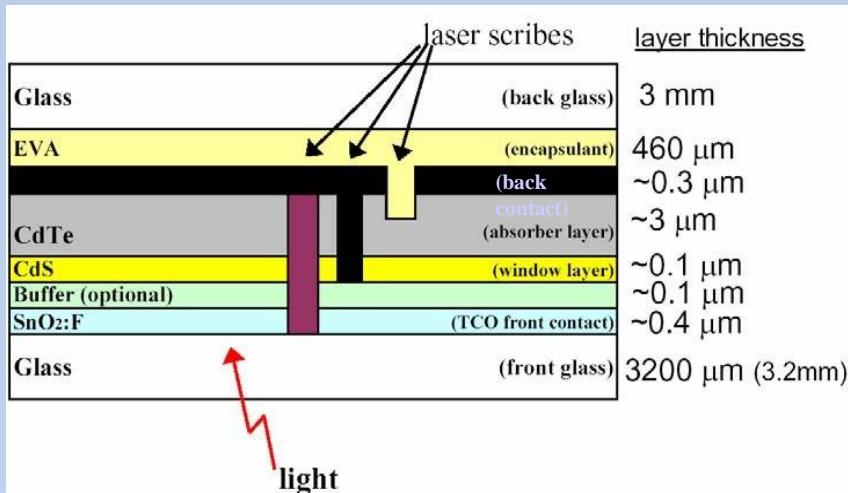


- Ефективність СЕ визначається матеріалом, його доступністю, простотою виготовлення, надійністю модуля, сприйняттям ринком



- **Провідні технології:**
Аморфний кремній (a-Si: H)
CdTe, CIGS, CZTS, Піровскіти
- **Майбутні технології:**
Плівковий (полікристалічний) кремній
Полікристалічні мультипереходи
Нові принципи перетворення енергії

ТОНКОПЛІВКОВІ СЕ НА ОСНОВІ CdTe



Для великомасштабного осадження СЕ з ККД>10% підходять наступні методи – газотранспортний метод, електроосадження, розпилення, сублімація, CVD розпилення, тощо

При великомасштабному виробництві:

- Час осадження CdS/CdTe <1 хв.;
- Створення модуля від початку до кінця ~4 години;
- Створюється СЕ до 25 МВт/рік (First Solar, LLC, U.S.).

• Ключовими питаннями є:

- властивості плівок CdS і пошук альтернативних буферних/віконних шарів;
- зародження і ріст плівок CdTe; товщина шарів
- власні дефекти і легування;
- взаємна дифузія на межі CdS/CdTe;
- **відпал і термообробка (CdCl₂);**
- пошук матеріалів тильного контакту (Cu/Au, Au, Ni, ZnTe:Cu, Sb₂Te₃:Ni); роль дифузії Cu;
- сумісність кроків технологічного процесу; спрощення технологічного процесу.

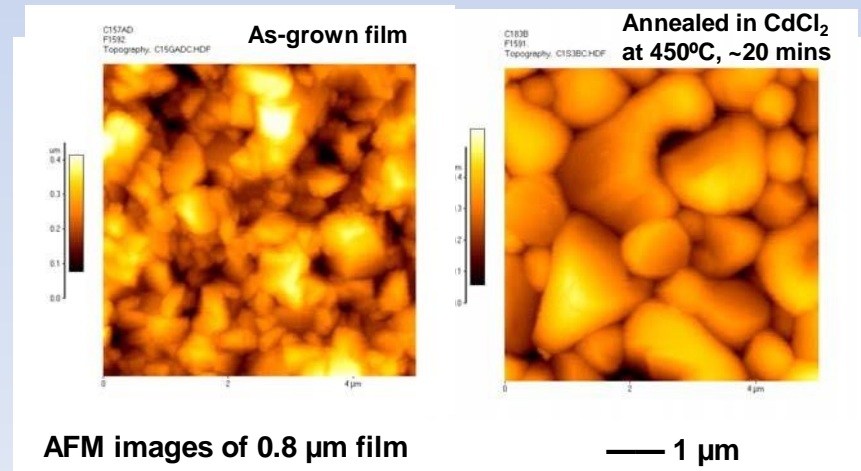
• Питання використання і утилізації Cd.

21,0 % лабораторні СЕ

18,6% кращі прототипи модулів

11-12% комерційні модулі

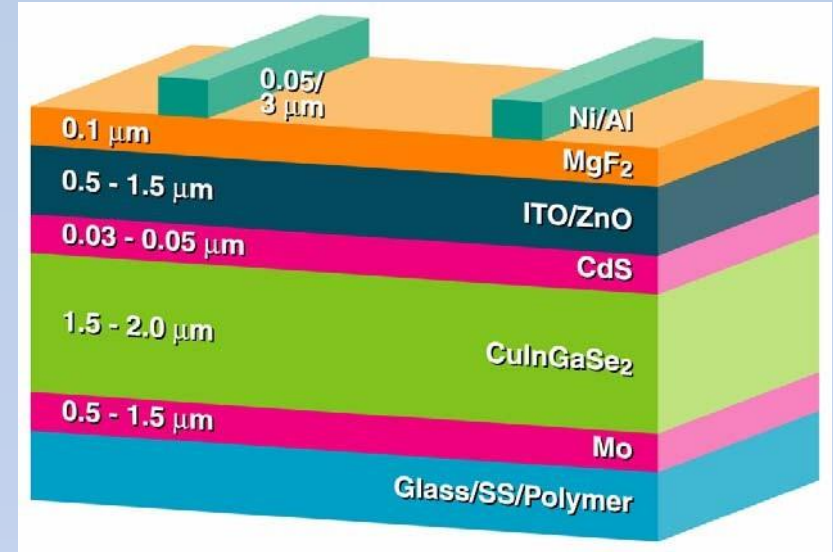
10-20 років гарантії



ТОНКОПЛІВКОВІ СЕ НА ОСНОВІ CIGS

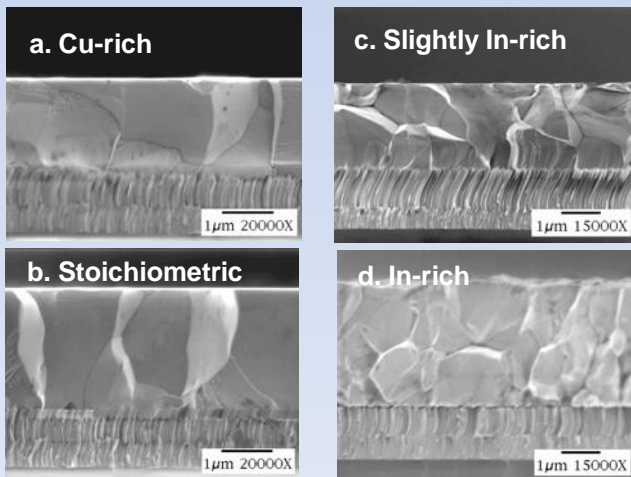
- *Різноманітні методи осадження:*
співвипаровування елементів,
розпилення/селенізація, безвакуумні методи
(мокра хімія, електроосадження);
Скляні або гнучкі підкладки (нержавіюча
сталь, поліаміди);
На стадії реалізації виготовлення декілька МВт,
зростання інтересу у всьому світі

23,35% лабораторні СЕ
22,0% з вікном ZnS (“Cd-free” СЕ)
19,2% кращі прототипи модулів
15,7% комерційні модулі
гарантія до 10 років



Розуміння механізмів росту плівки, мікроструктури, дефектів, фізики приладів – поки що немає;

- Способи отримання високоефективних пристроїв: перший етап збагачення Cu (великі зерна), другий крок збагачення In (для встановлення остаточного складу);
- Роль Na (необхідний етап); велика ширина ЗЗ сплавів (Ga, S)
- Альтернативні, Cd-Free віконні/буферні шари;
- Управління процесом для отримання однорідного складу і тонких плівок (<1 мкм); висока пропускна здатність.

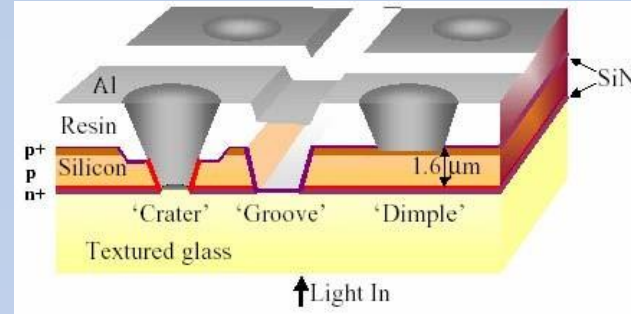


SEM images of stages of film growth (a → d)

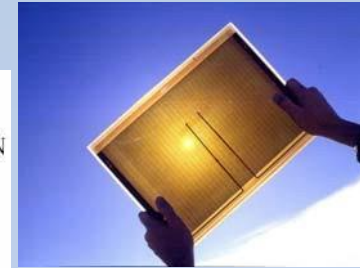
НОВІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ТОНКОПЛІВКОВИХ СЕ

Плівки кристалічного кремнію

- Мікрокристалічний Si нижніх елементів для a-Si:H мультиперехідних СЕ – у виробництві
- Плівки полікристалічного кремнію (<10 μm) на дешевих підкладках
- Збільшення поглинання світла
- Нові підходи (наприклад, "Відрив» від багаторазових пластин, рекристалізація аморфних та дрібнозернистих плівок і т. ін.)



Кристалічний Si на склі (CSG)



CSG Solar (Germany, Australia)

Прозорі провідні шари (transparent conductive oxide -TCO)

n-type

ITO*

SnO₂: F, Cl, Sb*

ZnO: Al, B, Ga, In*

CdO: F

Cd₂SnO₄

In₂O₃

In₂O₃: Mo

Zn₂SnO₄

* Commercial Products

p-type

CuAlO₂

CuInO₂

Cu₂SrO₂

ZnO: N, Ga

CuO, NiO, MoO

Ключове питання всіх тонкоплівкових технологій – дослідження процесів росту шарів

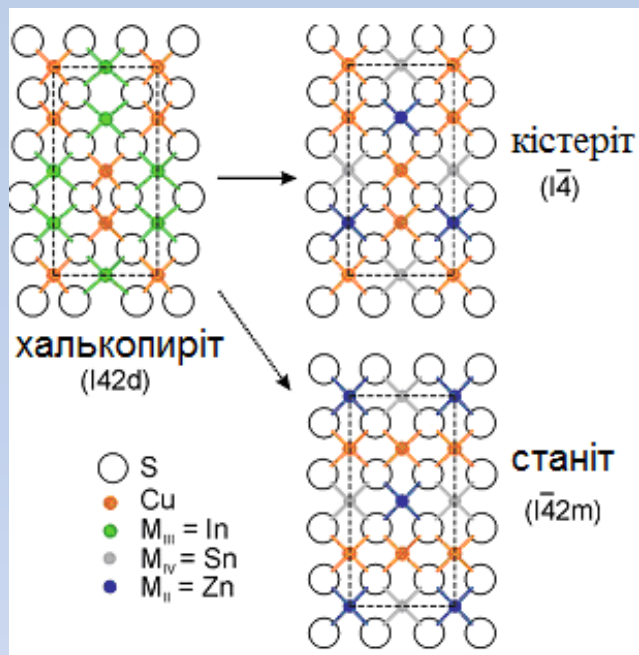
Буферні шари ГП

Material	Process	Material	Process
• Ga ₂ S ₃	PVD	• SrF ₂	PVD
• Ga ₂ Se ₃	PVD	• ZnIn _x Se _y	PVD
• (InGa) ₂ Se ₃	PVD	• Zn _x Mg _y O	Sputter
• In(HO) ₃	CBD	• ZnO	ALD, MOCVD
• In _x Se _y	PVD	• Zn(O,S,OH) _x	CBD
• In ₂ Se ₃	ALCVD	• ZnS	CBD, PVD
• SnO ₂	CBD	• ZnSe	Sputter
• Sn(S,O) ₂	CBD	• ZrO ₂	CBD

ALD - atomic layer deposition; CBD - chemical bath deposition; PVD - physical vapor deposition

КРИСТАЛІЧНІ ГРАТКИ СПОЛУК

Параметри ґратки та ширина 33 сполук $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ та $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$

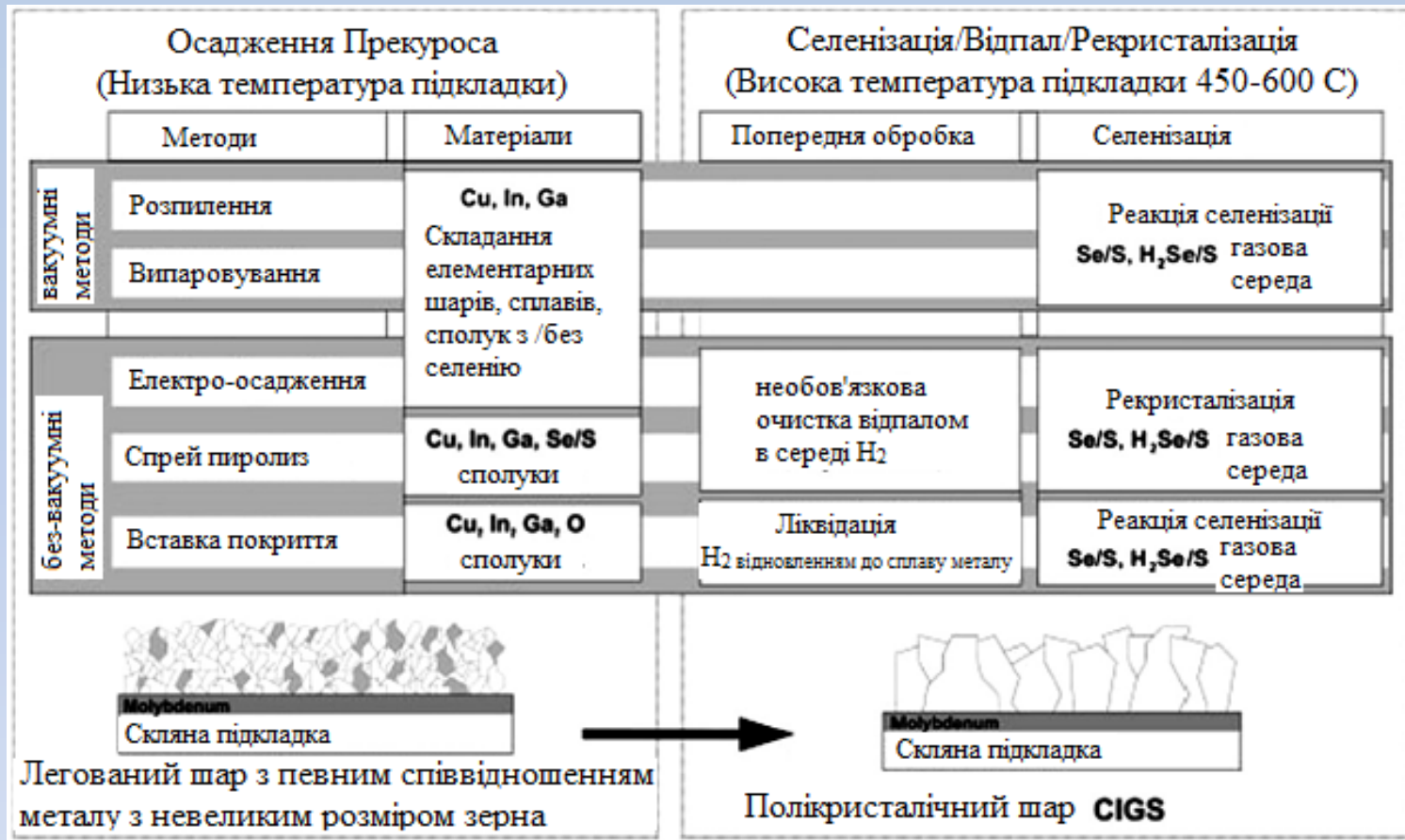


Кристалічні ґратки сполук $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ та $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$

Сполука	a , нм	c , нм	V , нм ³	E_g , еВ	Посилання
$\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$	0,5427	1,0848	0,3195	1,45	
	0,5432	1,0840	0,3199	1,45	
	0,5435	1,0822	0,3197	1,51	
	0,5426	1,0810	0,3183		
$\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{Se}_{2,4}\text{S}_{1,6})$	0,5567	1,1168	0,3451	1,21	
$\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{Se}_{3,9}\text{S}_{0,1})$	0,5668	1,1349	0,3646	1,03	
$\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$	0,5681	1,1340	0,3660	0,94	
	0,5684	1,1353	0,3668		
	0,5688	1,1338	0,3668		

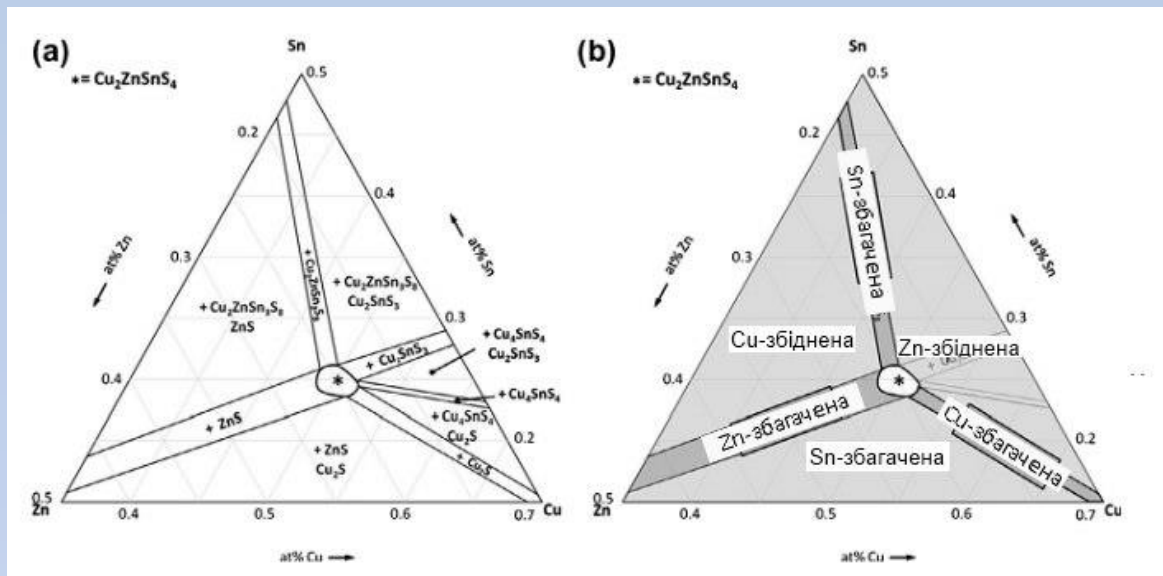
Чотирикомпонентна *сполука CZTS(Se) може бути отримана шляхом заміни однієї половини атомів індію у сполуці CuInSe_2 з халькопиритною ґраткою цинком (група II), а іншої половини оловом (група IV)*. Залежно від упорядкування атомів металів уздовж довгої осі c кристалічної структури може бути отримана або ґратка **кістериту** або **станіту**. Енергія перетворення однієї ґратки в іншу є малою і складає 3-4 меВ/атом.

МЕТОДИ ОТРИМАННЯ СПОЛУК CZTS(Se)



Різні послідовності процесу нанесення та сульфурізації/селенізації прекурсорів для поглинаючих шарів сонячних елементів на основі CIGS. Ці ж процеси можуть бути використані для отримання сполуки CZTS

ОБЛАСТЬ ІСНУВАННЯ СПОЛУКИ $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

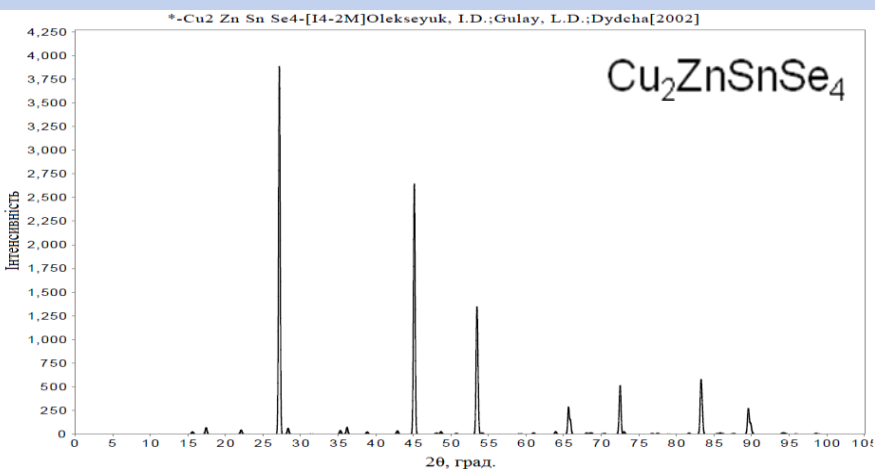
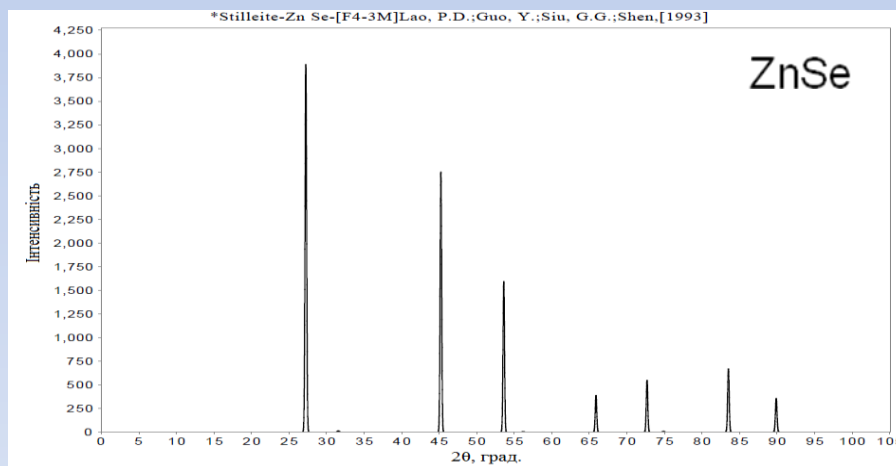
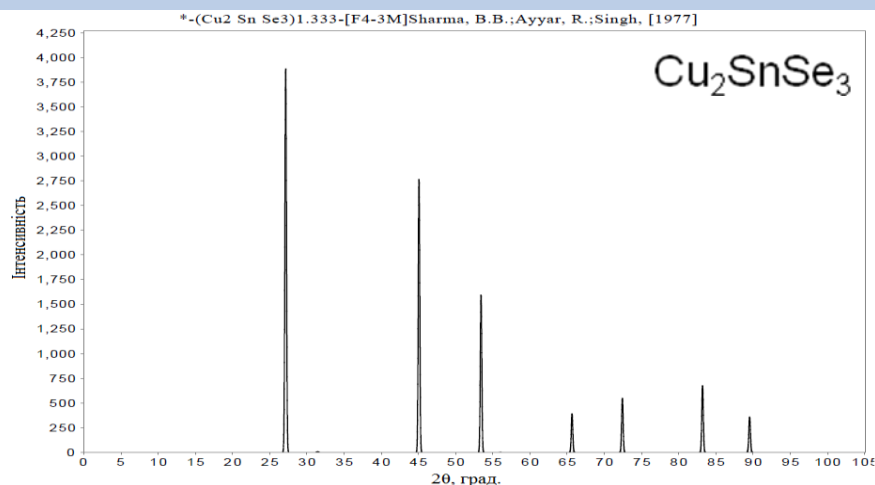
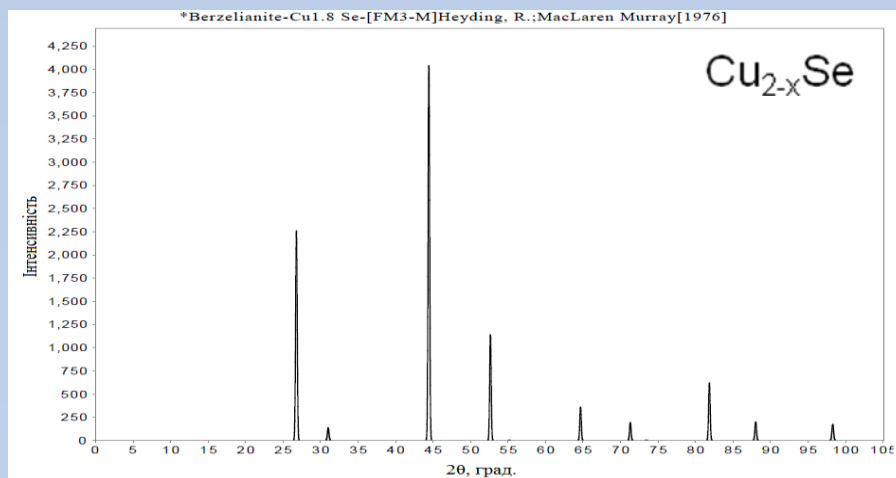


Область існування сполуки $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ та вторинні фази, які можуть виникати при її отриманні при $T_s = 400^\circ\text{C}$

Очікувані вторинні фази у різних областях потрійної фазової діаграми, що наведена на рис.

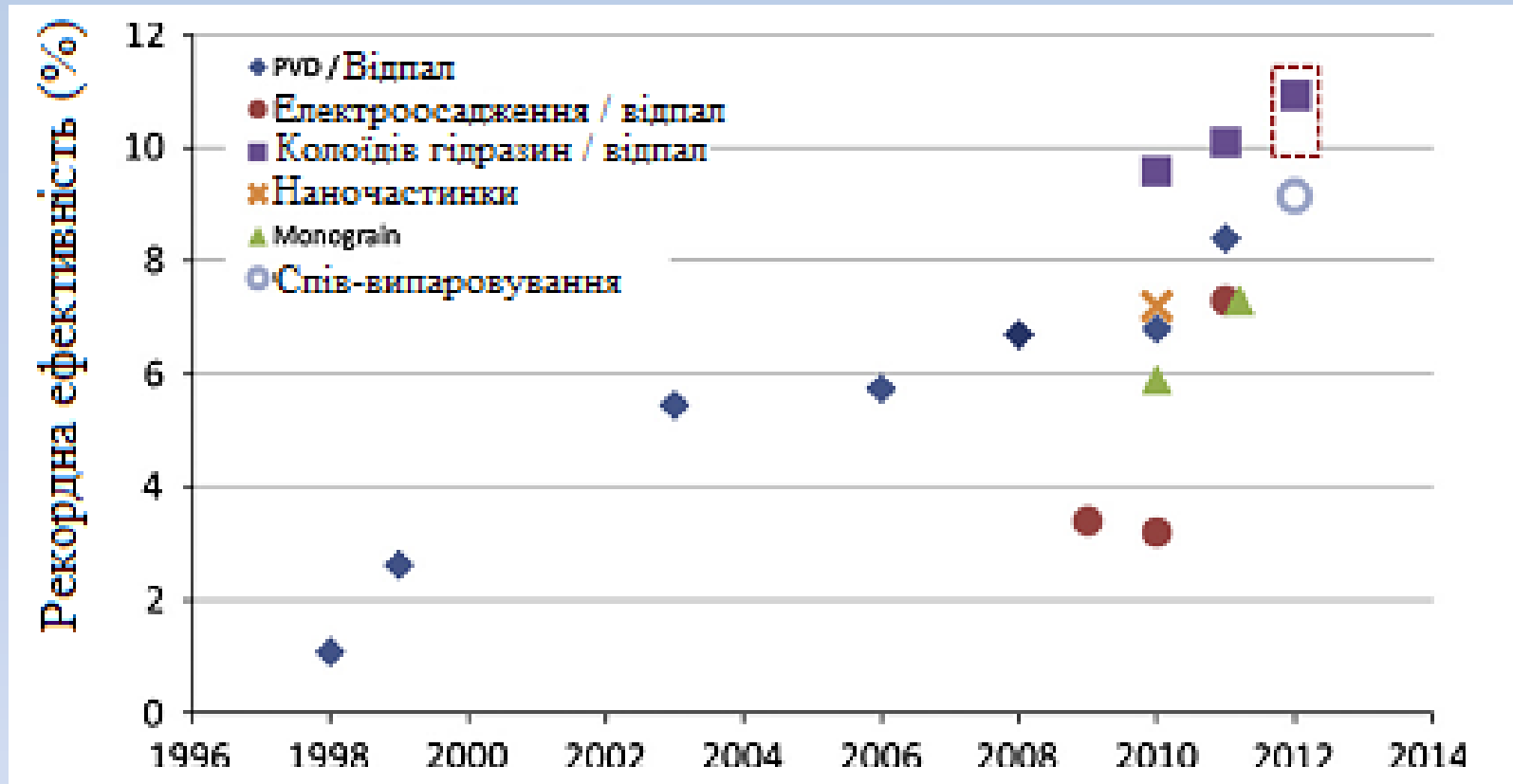
Область	Можливі вторинні фази
Збіднення Cu	$\text{Cu}_2\text{ZnSn}_3\text{S}_8 + \text{ZnS}$
Збагачення Sn	$\text{Cu}_2\text{ZnSn}_3\text{S}_8$
Збіднення Zn	$\text{Cu-Sn-S} + \text{Cu}_2\text{ZnSn}_3\text{S}_8 / \text{Cu}_2\text{S}$
Збагачення Cu	Cu_2S
Збіднення Sn	$\text{Cu}_2\text{S}, \text{ZnS}$
Збагачення Zn	ZnS

ДИФРАКТОГРАМИ ФАЗ



Дифрактограми основної та вторинних фаз, що виникають при синтезі CZTSe
У зв'язку з тим, що максимуми співпадають для ідентифікації фаз використовується *метод Рамана*.

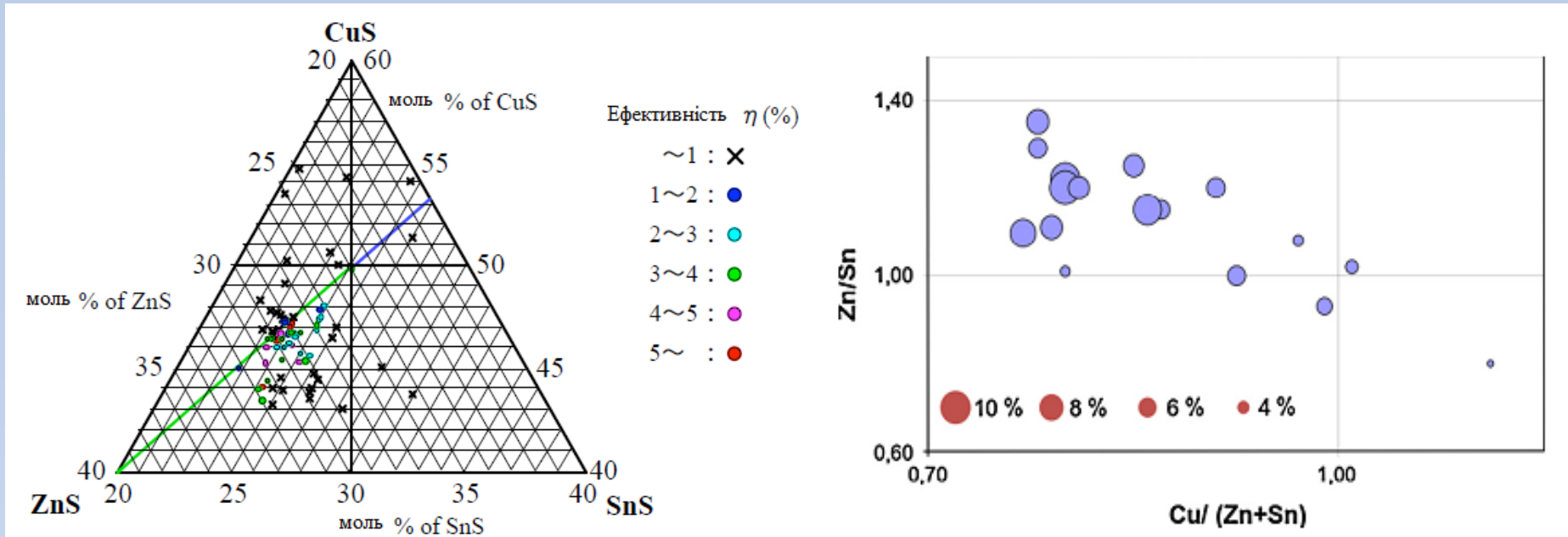
ЕВОЛЮЦІЯ ККД СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ



Еволюція рекордної ефективності сонячних елементів на основі поглинаючих шарів CZTS виготовлених з використанням різних технологічних процесів

На наш час отримано максимальне ККД - 12,6% (CZTSSe)

ЗАЛЕЖНІСТЬ ККД ВІД СКЛАДУ

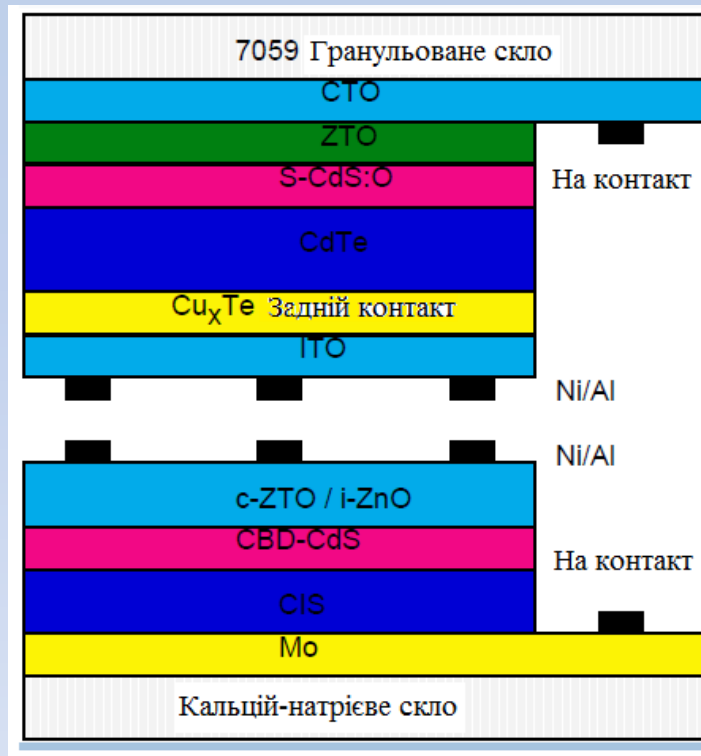
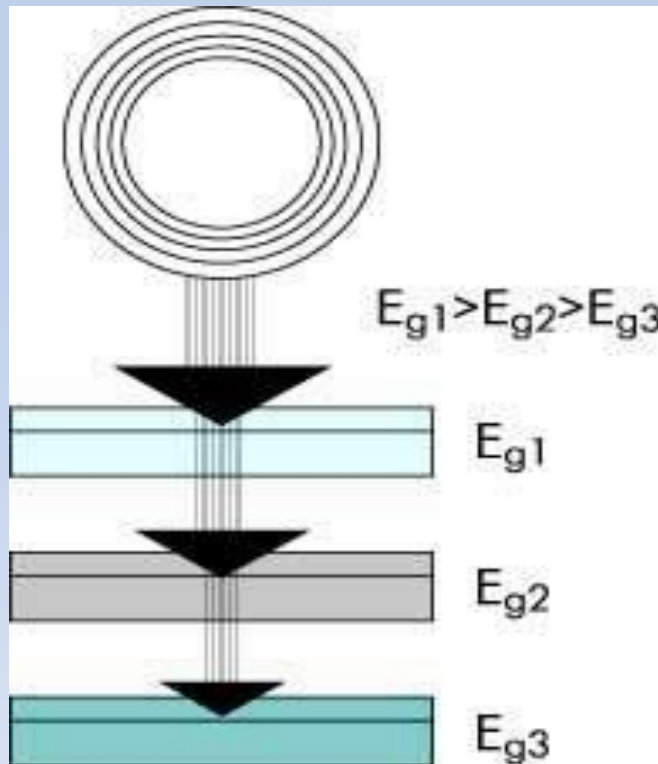


Карта найбільш ефективних сьогодні SE на основі шарів CZTS виготовлених різними невакуумними і вакуумними методами. Діаметр кола пропорційний коефіцієнту корисної дії фотоперетворювача

Максимальний ККД SE був отриманий з використанням поглинаючих шарів які мали нестехіометричний склад. Відповідні плівки повинні бути **збагачені цинком ($Zn/Sn \sim 1,1-1,2$) та збіднені міддю ($Cu/(Zn+Sn) = 0,80-0,85$)**

БАГАТОПЕРЕХІДНІ (КАСКАДНІ) СОНЯЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

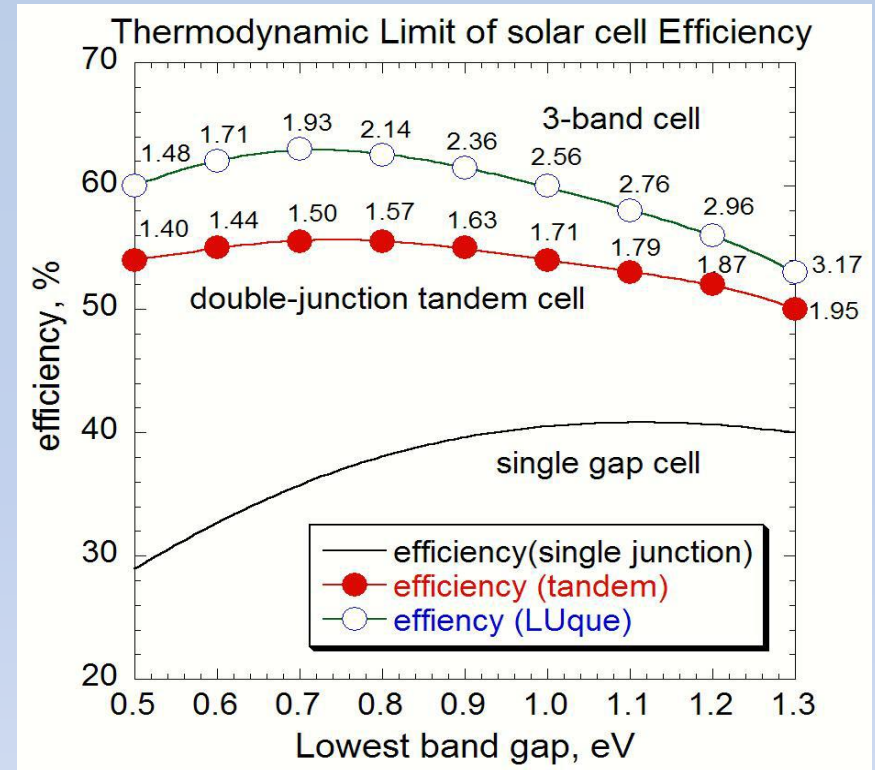
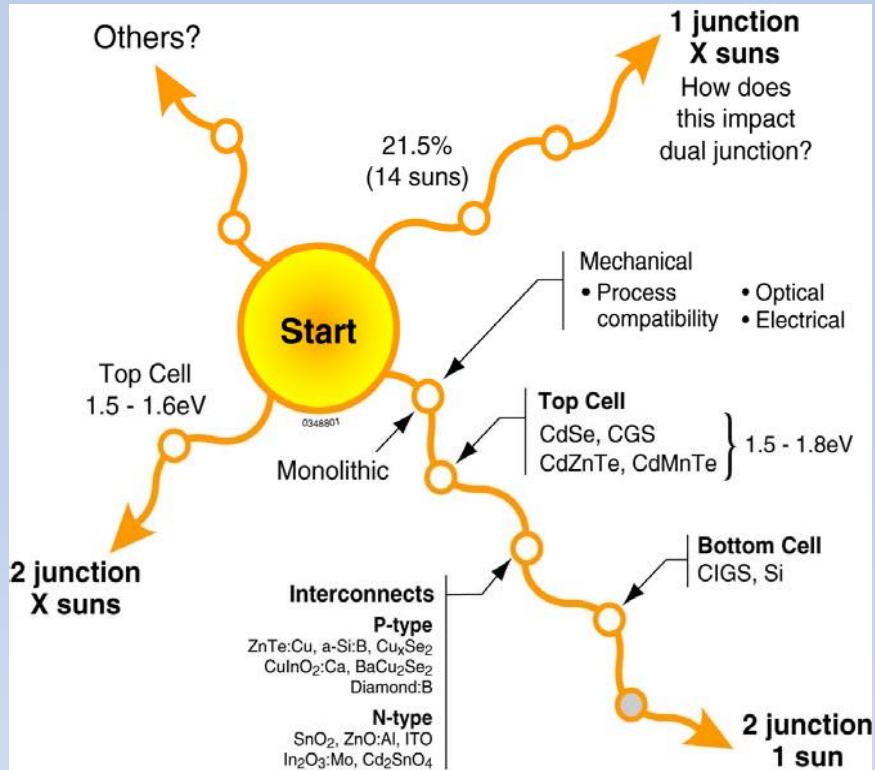
У типовому багатоперехідному (каскадному, тандемному) сонячному елементі одиночні фотоелементи розташовані один за одним таким чином, що сонячне світло спочатку потрапляє на елемент з найбільшою шириною забороненої зони, при цьому поглинаються фотони з найбільшою енергією. Пропущені верхнім шаром фотони проникають в наступний елемент з меншою шириною забороненої зони і так далі.



Принцип роботи та будова багатоперехідного ФЕП

СЕ або ставляться один за одним, або сонячний спектр розділяється на складові за допомогою лінз чи інших пристроїв

ККД ТАНДЕМНИХ СЕ



Шляхи розвитку СЕ

ККД двоперехідного СЕ
GaInP/GaAs; GaInAsP/GaInAs з
концентратором у наш час складає
46,0%

Теоретичний ККД двоперехідних СЕ без концентраторів - 42%, триперехідних - 49%, чотириперехідних з забороненою зоною 1.8 eV/1.4 eV/1.0 eV/0.7 eV - 52,5%, **а елементів з нескінченною кількістю шарів - 68%. При застосуванні концентрованого сонячного випромінювання межа продуктивності СЕ з нескінченною кількістю шарів складає 86,8%**

СЕ З КОНЦЕНТРАТОРАМИ

- Технологічність продемонстрована для всіх компонентів системи:

- низька концентрація, лінійний фокус
- висока концентрація, точка фокусу
- заломлююча та відбиваюча оптика
- вторинна оптика; пасивне/активне охолодження
- відстеження і підтримка; установка
- висока ефективність елементів (Si, A_3B_5) у виробництві знаходяться СЕ з кращою ефективністю:

27,6% Si (при 92X)

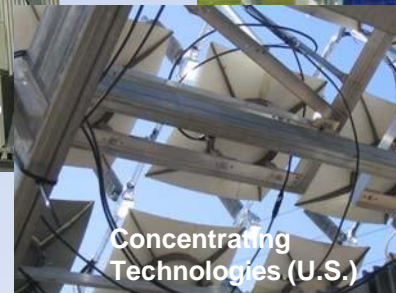
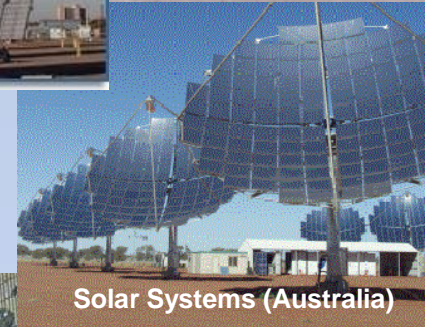
29,3% GaAs (при 49,9X)

23,3 % CIGS (тонкоплівкові) (при 15X)

44,4% InGaP/GaAs/InGaAs (при 302X)

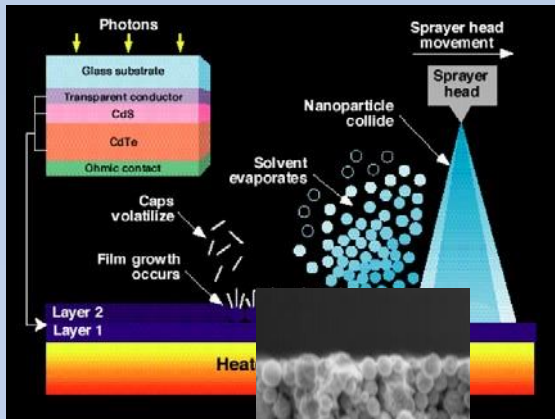
**46% GaInP/GaAs, GaInAsP₂/GaIn
двоперехідний (при 508X)**

- Комерційні модулі: ~20,5% (Si, 70X)
- Передбачуються низькі витрати при великомасштабному виробництві та розгортанні

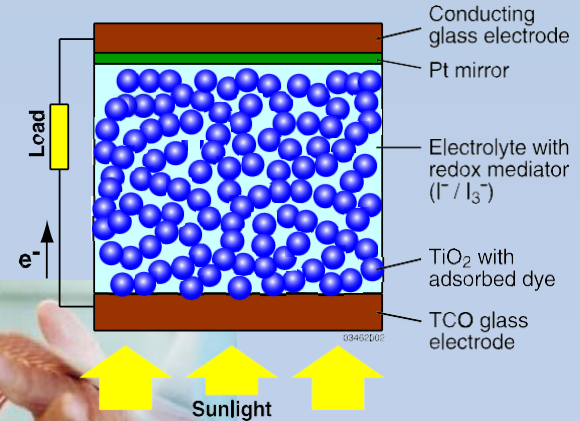


- Використання обмежене в районах з високим непрямим сонячним випромінюванням
- Багато з сучасних розподілених СЕ, що є на ринку, не підходить для роботи з концентраторами (> 25 кВт)

МАЙБУТНІ ПОКОЛІННЯ ФЕП

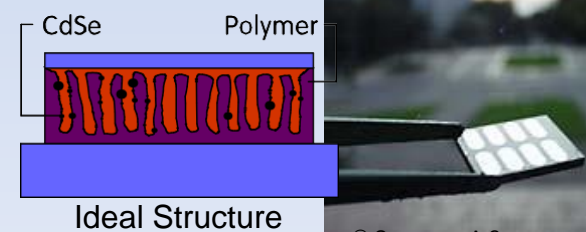
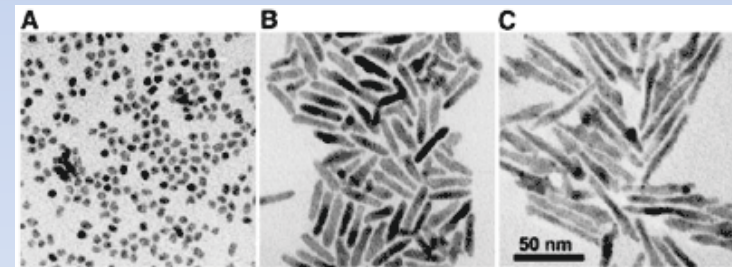
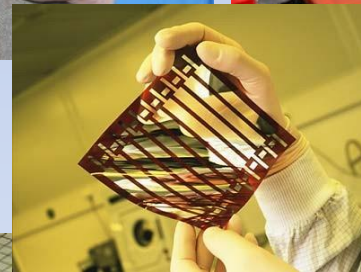
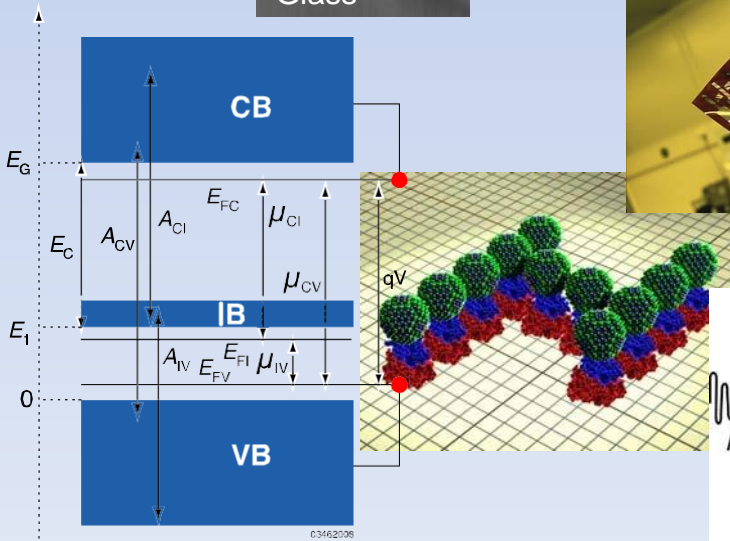
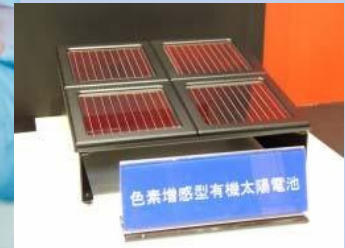
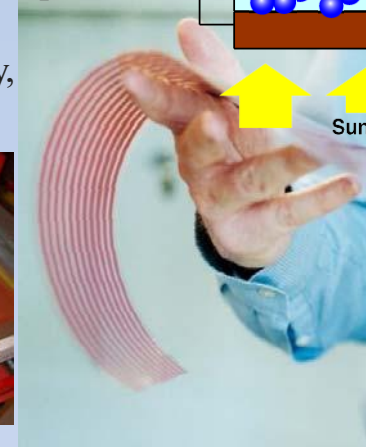


- Можливості для інновацій – низька ціна, ультрависока ефективність, нові матеріали, нові фізичні явища:
- Прекурсори на основі наночастинок
- Екситонні елементи (барвники, полімери, органічні малі молекули та ін.)
- Квантові точки, гарячі носії заряду, домішкові рівні у забороненій зоні



Nanoparticulate CIGS precursor materials

Mo
Glass



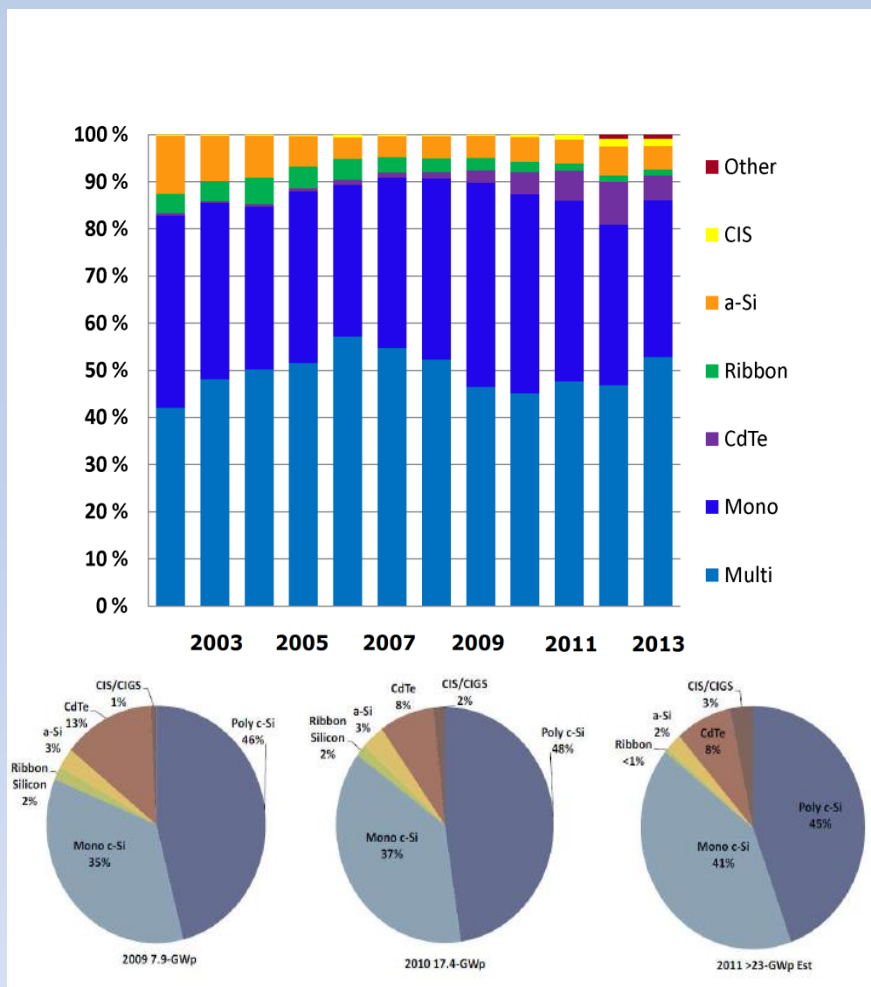
НЕДОЛІКИ ТА ПЕРЕВАГИ ФЕП

• Через теоретичних обмежень у перетворенні спектра в корисну енергію (близько 30%), для фотоелементів першого і другого покоління **потрібне використання великої площі землі під електростанції**. Наприклад, для електростанції потужністю 1 ГВт це може бути кілька десятків квадратних кілометрів (для порівняння, - гідроенергетика, при такій же потужності, виводить з користування помітно більші ділянки землі), але будівництво сонячних електростанцій такої потужності **може призвести до зміни мікроклімату в прилеглої місцевості** і тому **в основному встановлюються фотоелектричні станції потужністю 1 - 2 МВт** недалеко від споживача або навіть індивідуальні та мобільні установки. **Фотоелектричні елементи на великих сонячних електростанціях встановлюються на висоті 1,8-2,5 метра, що дозволяє використовувати землі під електростанцією для сільськогосподарських потреб, наприклад, для випасу худоби**. Проблема знаходження великих площ землі під сонячні електростанції вирішується у разі застосування сонячних аеростатних електростанцій, придатних як для наземного, так і для морського і для висотного базування.

• **Фотоелектричні перетворювачі працюють вдень і з меншою ефективністю працюють в ранкових і вечірніх сутінках**. При цьому пік електроспоживання припадає саме на вечірні години. Крім того, **вироблена ними електроенергія може різко і несподівано коливатися через зміни погоди**. Для подолання цих недоліків на сонячних електростанціях використовуються ефективні **електричні акумулятори** (на сьогоднішній день це невирішена проблема), або перетворюють в інші види енергії, наприклад, будують гідроакумуляуючі станції, які займають велику територію, або концепцію водневої енергетики, яка недостатньо економічно ефективна. На сьогоднішній день ця проблема вирішується створенням єдиних енергетичних систем, які перерозподіляють вироблену і споживану потужність. Проблема деякої залежності потужності сонячної електростанції від часу доби і погодних умов вирішується також за допомогою **сонячних аеростатних електростанцій**.

• **Строк служби СЕ біля 30 років, а енергокупність сонячної електростанції значно менше 30 років**. Так, для США, при середній потужності сонячного випромінювання в 1700 кВт·год/м² на рік, енергокупність полікристалічного кремнієвого модуля з ККД 12% становить менше 4 років (дані на січень 2011 р.).

РИНОК СУЧАСНИХ СЕ



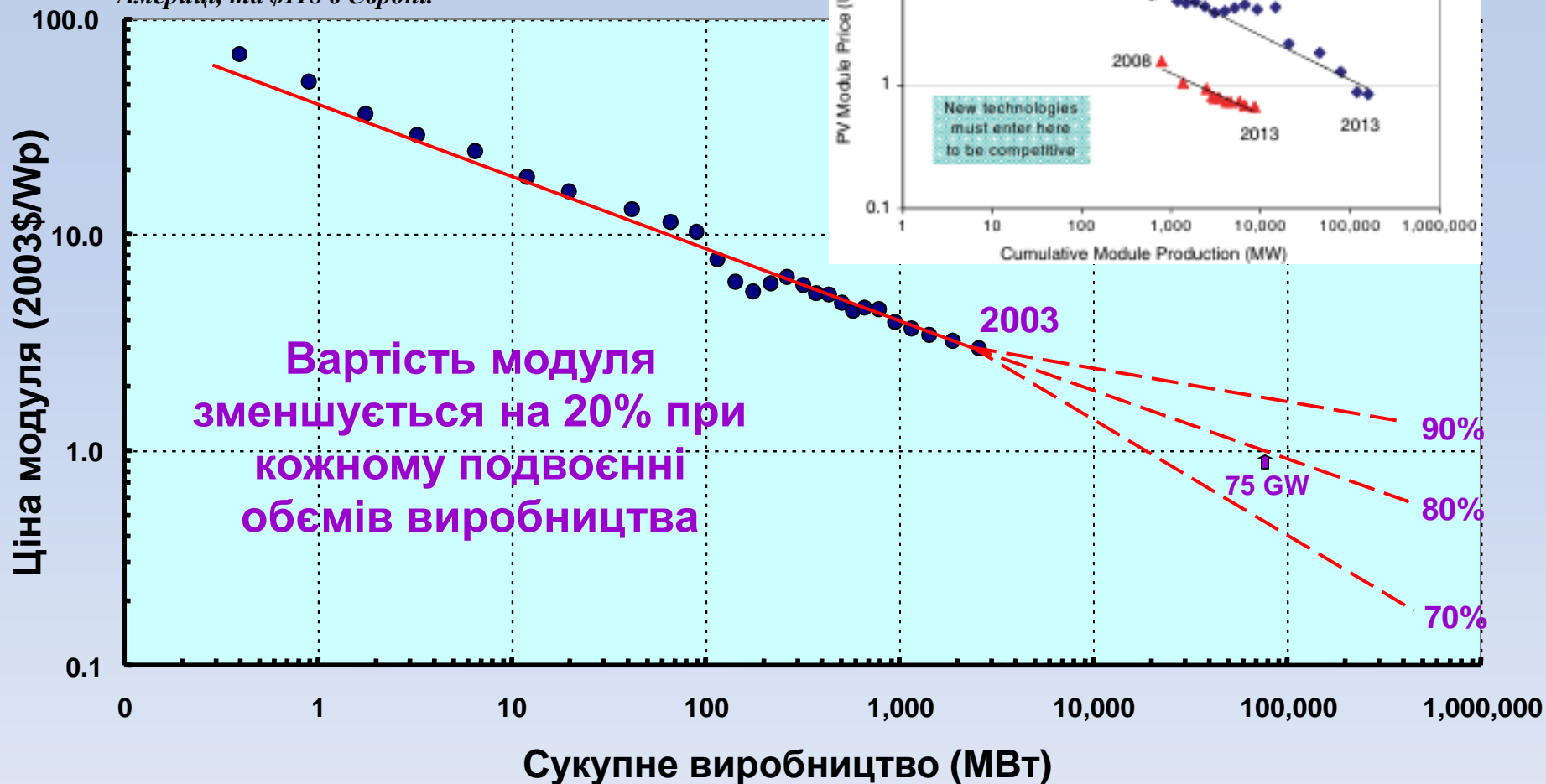
Частки ринку фотоелектричних панелей різних технологій

• Переважна більшість сучасних сонячних перетворювачів виготовляється з **монокристалічного (C-Si), або полікристалічного (MC-Si) кремнію**. На сьогоднішній день такі кремнієві фотоелектричні модулі займають близько 90% ринку ФЕП, з яких **приблизно 2/3 припадає на полікристалічний кремній і 1/3 - на монокристалічний**. Далі йдуть сонячні модулі, фотоелементи яких виготовлені за **тонкоплівковою технологією**. Суттєва перевага модулів з цих елементів - нижча вартість продукції, адже для їх виробництва потрібно приблизно в 100 разів менше матеріалу в порівнянні з кремнієвими пластинами. Поки що найменше представлені багатоперехідні СЕ з так званих тандемних, або багатоперехідних елементів (multijunction cells).

• ККД кремнієвих модулів на сьогодні складає 15 - 20% (полікристали - монокристали). Цей показник скоро може бути збільшений на кілька відсотків. Наприклад, компанія **SunTech Power**, один з найбільших світових виробників модулів з кристалічного кремнію, заявила про свій намір протягом найближчого часу випустити на ринок фотомодулі з **ККД 22%**. Існуючі ж лабораторні зразки монокристалічних СЕ показують продуктивність 25,6%, полікристалічних - 20,8%. Окремо позиціонуються фотомодулі компанії **Sanyo**, вироблені за технологією НІТ (Heterojunction with Intrinsic Thin layer) з використанням декількох шарів кремнію, аналогічно тандемним багат шаровим СЕ. **ККД таких елементів з монокристалічного C-Si і декількох шарів нанокристалічного NC-Si - 23%**. Це найвищий на сьогодні показник ККД серійних кристалічних модулів.

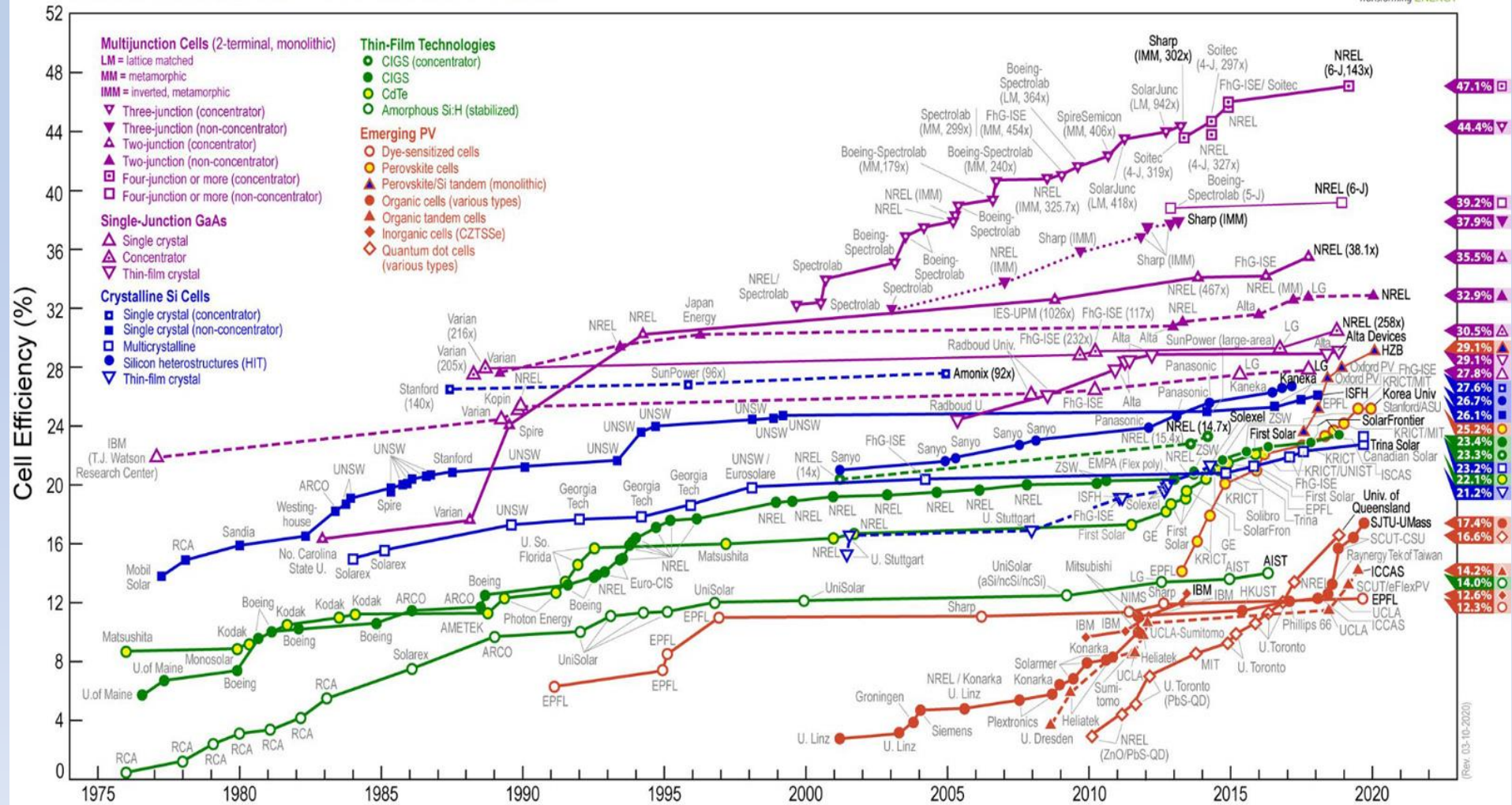
ЗНИЖЕННЯ ВАРТОСТІ ФЕП

У 2015 р. середня вартість енергії вітру становить \$83 за МВт-год., а для тонкоплівкових сонячних батарей - \$122 за МВт-год, в той час як вугільна електрика коштує \$75 за МВт-год. в Північній і Південній Америці та \$105 в Європі, а газова електрика - \$82 в Північній і Південній Америці, та \$118 в Європі.



ЗРОСТАННЯ ККД СЕ

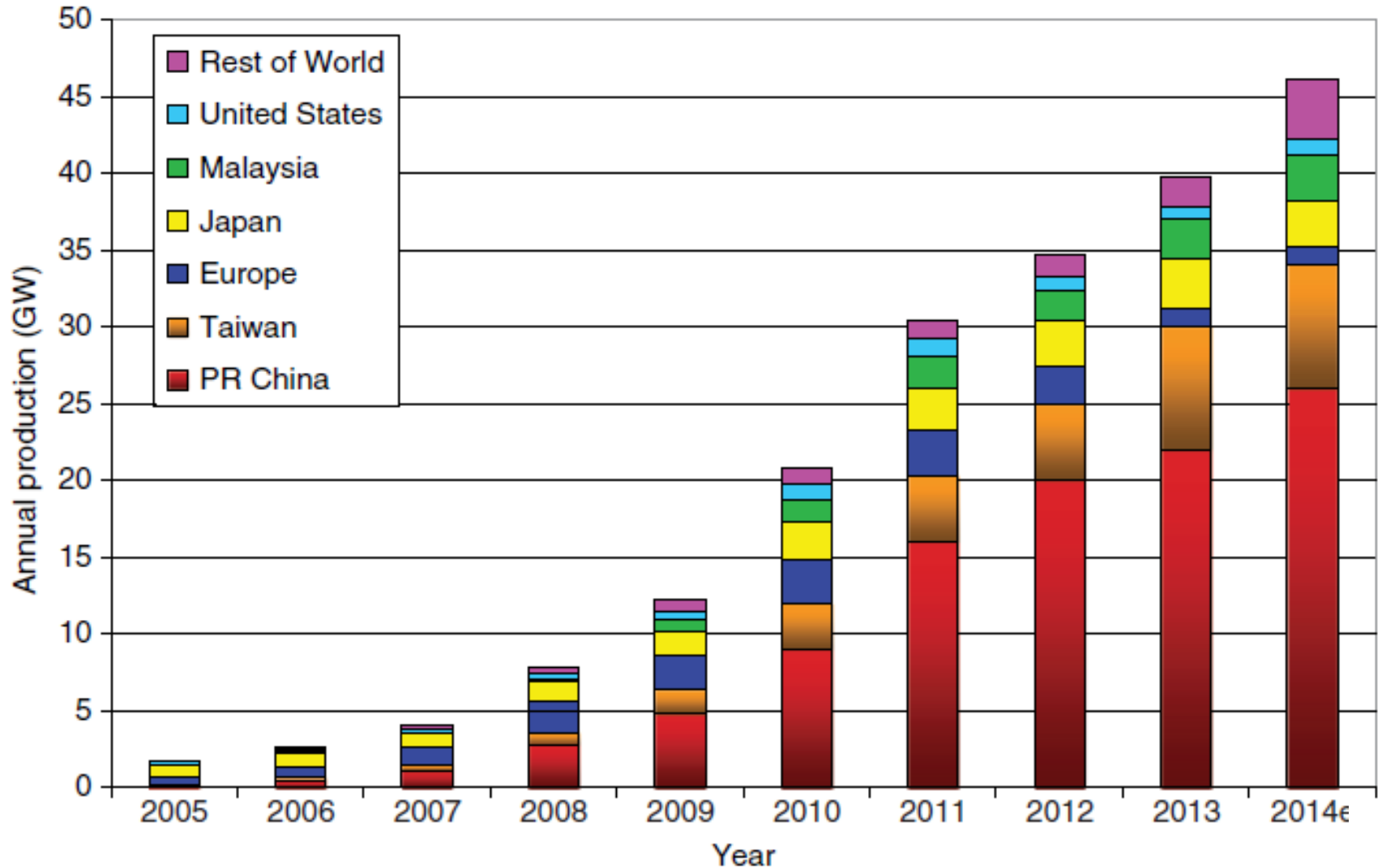
Best Research-Cell Efficiencies



ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ СУЧАСНИХ СЕ

Classification	Efficiency (%)	Area (cm ²)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	Fill factor (%)	Test centre (date)	Description
Silicon							
Si (crystalline)	25.6 ± 0.5	143.7 (da)	0.740	41.8 ^a	82.7	AIST (2/14)	Panasonic HIT, rear junction [21]
Si (multicrystalline)	20.8 ± 0.5	243.9 (t)	0.6626	39.03 ^b	80.3	FhG-ISE (11/14)	Trina Solar [22]
Si (thin transfer submodule)	21.2 ± 0.4	239.7 (ap)	0.687 ^m	38.50 ^{a,m}	80.3	NREL (4/14)	Solexel (35-µm thick) [23]
Si (thin-film minimodule)	10.5 ± 0.3	94.0 (ap)	0.492 ^m	29.7 ^a	72.1	FhG-ISE (8/07) ^d	CSG Solar (<2 µm on glass; 20 cells) [24]
III-V cells							
GaAs (thin film)	28.8 ± 0.9	0.9927 (ap)	1.122	29.68 ^a	86.5	NREL (5/12)	Alta Devices [25]
GaAs (multicrystalline)	18.4 ± 0.5	4.011 (t)	0.994	23.2	79.7	NREL (11/95) ^m	RTI, Ge substrate [26]
InP (crystalline)	22.1 ± 0.7	4.02 (t)	0.878	29.5	85.4	NREL (4/90) ^a	Spire, epitaxial [27]
Thin-film chalcogenide							
CIGS (cell)	21.0 ± 0.6	0.9927 (ap)	0.757	35.70 ^l	77.6	FhG-ISE (4/14)	Solibro, on glass [4]
CIGS (minimodule)	18.7 ± 0.6	15.892 (da)	0.701 ^m	35.29 ^{a,m}	75.6	FhG-ISE (9/13)	Solibro, four serial cells [28]
CdTe (cell)	21.0 ± 0.4	1.0623 (ap)	0.8759	30.25 ^b	79.4	Newport (8/14)	First Solar, on glass [29]
Amorphous/microcrystalline Si							
Si (amorphous)	10.2 ± 0.3 ^m	1.001 (da)	0.896	16.36 ^b	69.8	AIST (7/14)	AIST [6]
Si (microcrystalline)	11.8 ± 0.3 ^l	1.044 (da)	0.548	29.39 ^l	73.1	AIST (10/14)	AIST [5]
Dye sensitized							
Dye	11.9 ± 0.4 ^l	1.006 (da)	0.744	22.47 ^b	71.2	AIST (9/12)	Sharp [7]
Dye (minimodule)	10.7 ± 0.4 ^l	26.55 (da)	0.754 ^b	20.19 ^{a,m}	69.9	AIST (2/15)	Sharp, seven serial cells [7]
Dye (submodule)	8.8 ± 0.3 ^l	398.8 (da)	0.697 ^m	18.42 ^{a,m}	68.7	AIST (9/12)	Sharp, 26 serial cells [30]
Organic							
Organic thin film	11.0 ± 0.3 ^l	0.993 (da)	0.793	19.40 ^b	71.4	AIST (9/14)	Toshiba [8]
Organic (minimodule)	9.7 ± 0.3 ^l	26.14 (da)	0.686 ^m	11.47 ^{a,m}	73.2	AIST (2/15)	Toshiba (eight series cells) [8]
Perovskite							
Perovskite thin-film	15.0 ± 0.6 ^m	1.017 (ap)	1.090	20.61 ^l	66.8	AIST (2/15)	NIMS [12]
Multijunction devices							
Five-junction cell (2.17/1.68/1.40/1.06/0.73 eV)	38.8 ± 1.2	1.021 (ap)	4.767	9.564	85.2	NREL (7/13)	Spectrolab [13]
InGaP/GaAs/InGaAs	37.9 ± 1.2	1.047 (ap)	3.065	14.27 ^m	86.7	AIST (2/13)	Sharp [31]
a-Si/mc-Si/mc-Si (thin film)	13.6 ± 0.4 ^l	1.043 (da)	1.901	9.92 ^l	72.1	AIST (1/15)	AIST [5,6]
a-Si/mc-Si (thin-film cell)	12.7 ± 0.4% ^b	1.000 (da)	1.342	13.45 ^b	70.2	AIST (10/14)	AIST [5,6]

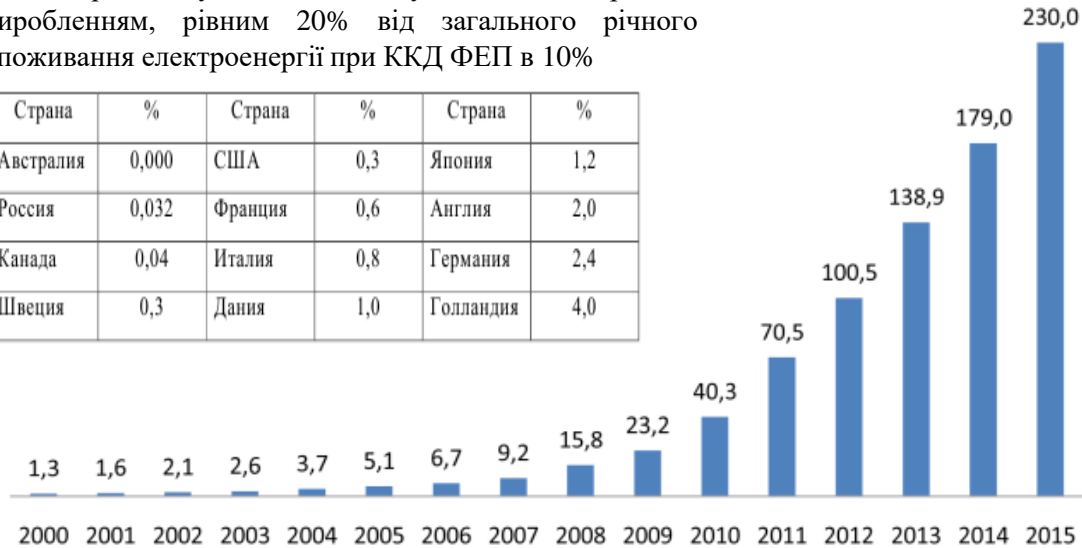
ЗРОСТАННЯ ВИРОБНИЦТВА СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ



ЗРОСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Площа країн світу, необхідна для установки СЕ з річним виробленням, рівним 20% від загального річного споживання електроенергії при ККД ФЕП в 10%

Страна	%	Страна	%	Страна	%
Австралія	0,000	США	0,3	Японія	1,2
Росія	0,032	Франція	0,6	Англія	2,0
Канада	0,04	Італія	0,8	Німеччина	2,4
Швеція	0,3	Данія	1,0	Голландія	4,0



Для отримання 43 ТВт (2100 р.) за допомогою сонячної енергії при ККД СЕ 10% *загальна площа батарей повинна скласти 2,3 млн км², це у шість разів більше, ніж розмір Німеччини, але внаслідок більшої інсоляції складає лише ~ 24% площі пустелі Сахара.*

Динаміка розвитку сонячної енергетики у 2000-2015 роках

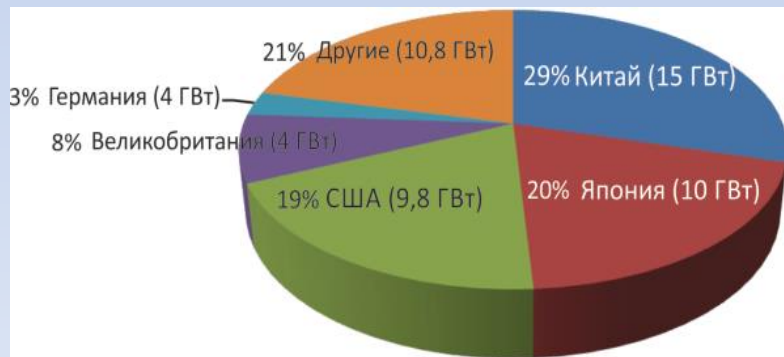
У 2015 році у світі було встановлено 51 ГВт фотоелектричної потужності. У результаті загальна потужність ФЕП на кінець 2015 р. оцінювалася в 233 ГВт. Згідно з інформацією від експертів GTM Research динаміка збільшення попиту на сонячну енергетику збережеться і в 2016 р. Очікується, що буде встановлено, щонайменше, 64 ГВт сумарної потужності фотоелектричних установок по всьому світу. **У світовий приріст енергетики за останні п'ять років становив у середньому близько 50%. За останні 4 роки сонячні панелі подешевшали майже на 70%.** Як вважають експерти Міжнародного енергетичного агентства (ІЕА), сонячна енергетика вже через 40 років при відповідному рівні поширення передових технологій буде виробляти близько 9000 терават-годин - або 20-25% всієї необхідної людству електрики, і це забезпечить скорочення викидів вуглекислого газу на 6 млрд. тон щорічно. Розвитку сонячної енергетики сприяє підписання договору, присвяченого проблемі кліматичних змін. У договорі планується істотне збільшення частки відновлюваної енергетики в усьому світі в найближчі роки.

ЛІДЕРИ ВСТАНОВЛЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ СЕ

• У 2016 р. у **Китаї** було встановлено фотоелектричних установок сумарною потужністю 34 ГВт. Це більше половини показника США і майже 50% світової додаткової потужності, виробленої в цьому ж році. Понад 70% цієї енергії генерується в промисловому секторі. **Китай** із загальною потужністю 43 ГВт **займає лідируюче місце в світі з точки зору загальної, вже встановленої потужності, обігнавши в минулому році Німеччину**. Друге місце в рейтингу за 2015 рік займає **Японія**. Торік там було встановлено близько 10 ГВт потужностей. Третє місце дісталось **США** з 9,8 ГВт загальної встановленої потужності. Варто зазначити, що в США ця кількість збільшилася на цілих 56% в порівнянні з 2014 роком. **У Європі в минулому році було встановлено фотоелектричних установок із загальною потужністю близько 8,5 ГВт**. Майже половина з яких у Великобританії (4 ГВт), де спостерігається істотне підвищення інтересу в даній галузі. На другому місці знаходиться Німеччина з 1,4 ГВт. У представленому ЕРІА доповіді Global Market Outlook Photovoltaik відзначається, що сумарна потужність діючих в країнах ЄС сонячних батарей досягла 70 ГВт. В Італії вони забезпечують вже приблизно 7 відсотків споживаної електроенергії, в Німеччині - 6, в Греції - 4, а в Болгарії, Чехії, Бельгії та Іспанії - по 3 відсотки.

Найбільші у світі виробники СЕ

№	Компанія, Країна	Технологія
1	Trina Solar, China	c-Si
2	Yingli Green, China	c-Si
3	Canadian Solar, China	c-Si
4	Hanwha Solar, China	c-Si, α-Si
5	Jinko Solar, China	c-Si
6	JA Solar, China	c-Si
7	Sharp, Japan	c-Si, Thin Films Si
8	Rene Sola, China	c-Si
9	First Solar, USA	CdTe
10	Kyocera, Japan	c-Si



ДИНАМІКА РОЗВИТКУ СВІТОВОЇ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИКИ

- **У 2015 р. частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в сукупній встановленій потужності перевершила світову частку вугілля.** Нові потужності фотовольтаїки в світі виростили ще на 50% за 2016 рік. При цьому, в Китаї встановили майже половину потужності від глобальних показників. **Вперше в історії установка сонячних станцій росла швидше, ніж будь-якого іншого джерела енергії, перевищуючи навіть загальне зростання вугільних станцій.**
- За допомогою сильного ринку сонячної енергетики ВДЕ забезпечили близько двох третин нових потужностей глобально, встановивши 165 ГВт станцій в 2016 р. Поновлювані джерела продовжать бурхливе зростання в найближчі роки. **До 2022 року встановлена потужність ВДЕ має зрости на 43% (на 1000 ГВт), а це дорівнює близько половини сьогоднішньої потужності вугільної енергетики.** Прогноз на 2017 рік на 12% вище, ніж для минулого року, переважно завдяки сонячним станціям в Китаї і Індії. Три країни - Китай, Індія і США встановлять більш $\frac{2}{3}$ всіх нових потужностей ВДЕ до 2022 р. Загальна потужність сонячної енергетики до того часу перевищить енергосистеми Індії та Японії разом узятих.
- В генерації електроенергії, ВДЕ повинні вирости на третину до рівня 8000 ТВт·год, що дорівнює загальному споживання Китаю, Індії та Німеччини разом узятих. До 2022 р., ВДЕ будуть поставляти більше 30% енергії, порівнюючи з 24% в 2016 р. Зростання чистої енергетики буде в два рази швидше, ніж в газовій і вугільній галузях. Незважаючи на те, що вугілля все ще залишатиметься головним джерелом енергії через 5 років, ВДЕ зменшать відставання в потужності удвічі за цей період.
- **Установка нових сонячних і вітрових станцій в минулому році була підтримана рекордно низькими цінами, які впали аж до рівня 3 центів за кВт·год.** Настільки низькі ціни з'явилися в декількох країнах, в тому числі в Об'єднаних Арабських Еміратах, Індії, Мексиці і Чилі.
- Крім кількісних показників в світі чистої енергетики відбулися і якісні зміни. Один з головних трендів - перетворення високотехнологічних ВДЕ в дешеві і надійні постачальники енергії. **Сонячні фотоелектричні панелі в 2014 р. коштували на три чверті менше, ніж в 2009 році, а ціни на вітрові турбіни знизилися майже на третину за той же період.** Вартість електроенергії від сонячних установок впала наполовину в порівнянні з 2010 роком. **Середня вартість поставок електроенергії вітрогенераторів склала 0,05 - 0,07 дол. за кіловат-годину (кВт/год) при вартості до 0,14 дол. за кВт/год поставок з електростанцій на викопному паливі.** **Вартість енергії сонця та вітра у 2016 р. стала нижчою ніж виробленої традиційними джерелами у 35 країнах світу.** За прогнозами Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) до кінця 2021 р. середні витрати в сонячній електроенергетиці знизяться на 25%, а у виробництві наземної вітряної енергії - на 15%.

РОЗВИТОК ГЕЛІОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

•Український національний план дій з відновлюваної енергетики передбачає, що до 2020 року Україна повинна забезпечити 11% своїх енергопотреб за рахунок ВДЕ. **Однак поки що частка відновлюваних джерел в енергобалансі країни становить менше відсотка, а середньорічний приріст їх використання в період з 2006 року по 2013 рік складав всього лише 1,5%.**

•За підсумками 2015 року, в Україні істотно сповільнилися темпи зростання відновлюваної енергетики. **В цілому, було підключено лише 34 МВт потужності: біомаса і біогаз - 19 МВт, СЕС і ГЕС - 4 МВт, вітрові електростанції - 6,6 МВт.** Загальна потужність всіх об'єктів альтернативної енергетики в Україні у 2015 р. (не рахуючи великих ГЕС) становить 1,75 млрд кВт-год електроенергії або 1% від загального виробництва електроенергії. Для порівняння, в 2011 році ця частка становила 0,17%.

•В першому півріччі 2016 року в Україні були побудовані 14 нових об'єктів відновлюваної енергетики потужністю майже 39 МВт. Загальні інвестиції в ці проекти перевищили 42 мільйони євро. **Станом на 1 липня 2016 р. загальні потужності відновлюваних джерел енергії в Україні, включаючи об'єкти сонячної і вітрової енергетики, малої гідроенергетики та електростанцій на біомасі (біогазі) склали 1028 МВт. Зокрема, загальна потужність українських сонячних електростанцій склала 453 МВт, вітропарків - 426 МВт, електростанцій на біомасі - 31 МВт, малих ГЕС - 118 МВт.** За даними організаторів SEF 2016 KYIV, в загальному до кінця 2016-го українські та закордонні девелопери планують побудувати в Україні 34 нових сонячні електростанції загальною потужністю понад 120 МВт. У сегменті теплогенерації на основі біомаси загальні потужності котелен складають в Україні більш 240 МВт (без урахування побутових котлів).

•У 2016 р. було введено 120,6 МВт потужності об'єктів відновлюваної електроенергетики (в 4 рази більше, ніж в 2015-му). З них 99,1 МВт - це саме сонячні електростанції. Однак згідно зі звітом Міністерства енергетики та вугільної промисловості, всі станції альтернативної енергетики (вітер, сонце, біомаса) виробили 1,560 млрд кВт/год (на 1% менше, ніж в 2015-му). Держагентство дає трохи більшу цифру - 1,775 млрд кВт - год. **Без урахування Криму загальна потужність об'єктів, які працюють за зеленим тарифом, в 2016 році склала 1,1 ГВт.** Якби півострів НЕ анексували, то у нас би вже було 1,6 ГВт.

РОЗВИТОК ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ



Найбільшу кількість сонячних панелей українці встановили в Дніпропетровській (понад 2,7 тисяч СЕС), Тернопільській (понад 2 тисячі) та Київській (майже 1,8 тисяч) областях. Тільки за 2018 рік в Україні було встановлено майже 4500 сонячних електростанцій, що в два рази більше, ніж в 2017 році.

• За даними Держенергоефективності України, станом на 1 березня 2020 року більше 22 тисяч домогосподарств використовують сонячні електростанції загальною потужністю 553 МВт для побутових потреб. Обсяг інвестицій в будівництво домашніх сонячних станцій перевищив 450 млн євро.

• У Сумському районі встановлено близько 15 таких домашніх електростанцій, по області - більше 51. Введення в експлуатацію нових потужностей ВДЕ в Україні, в 2017 р. збільшилося в 2,1 рази в порівнянні з 2016 р. - до 257 МВт. 2018 р. став для України роком динамічного розвитку відновлюваної енергетики. За цей період введено в експлуатацію 813 МВт нових потужностей, що генерують електрику з енергії сонця, вітру, гідро- і біоісточників. Всього функціонує 113 станцій на 1124 МВт.

«ЗЕЛЕНА» ГЕНЕРАЦІЯ В УКРАЇНІ



<https://kosatka.media/category/vozobnovlyaemaya-energiya/analytics/generaciya-zelenoy-elektroenergii-v-fevrale-2019>

• За 9 місяців 2019 р. в альтернативну енергетику в Україні інвестовано понад 2 мільярди євро. За цей період були запущені нові СЕС потужністю понад 2000 МВт, ВЕС - майже 400 МВт, СЕС домогосподарств - близько 120 МВт, біогазові установки - 24 МВт - біогазові установки, об'єкти малої гідроенергетики - 13 МВт, об'єкти на біомасі - 4 МВт - об'єкти на біомасі. Крім цього, завдяки зазначеним новим об'єктам загальна потужність відновлюваної електроенергетики виросла в 2 рази тільки за 9 місяців: з близько 2300 МВт станом на кінець 2018 до близько 5000 МВт станом на 01.10.2019

• В цілому альтернативна електроенергія в структурі оптового ринку **склала 2,03%**. Середня ціна продажу «зеленої» електроенергії в оптовий ринок за підсумками лютого склала **4457,81 грн/МВт·год.**

• У тому числі: **ВЕС – 3481,86 грн/МВт·год, СЕС – 6291,82 грн/МВт·год, ГЕС – 3910,05 грн/МВт·год, виробники електроенергії з біомаси – 3938,22 грн/МВт·год.**

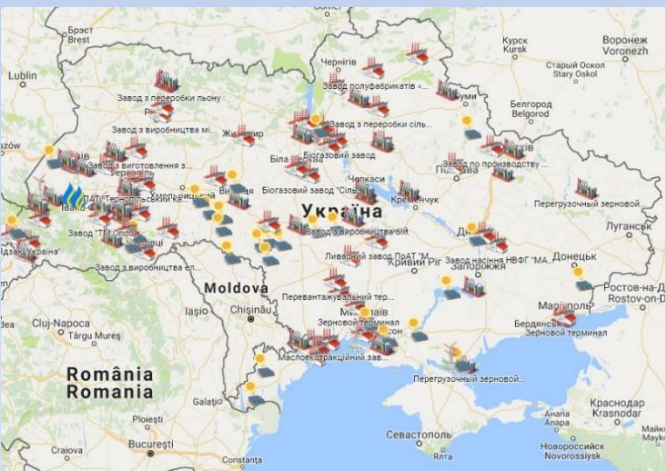
• Законопроект № 8449-д, про зміну системи підтримки відновлюваної енергетики з «зеленого тарифу» на аукціони, Комітет Верховної Ради схвалив 28 лютого і направив на розгляд до Верховної Ради. Відповідно до цієї редакції законопроекту, вже з 1 січня 2020 року «зелений тариф» для сонячних електростанцій знизиться на 25%, для вітрових - на 10%.

«ЗЕЛЕНА» ГЕНЕРАЦІЯ В УКРАЇНІ

• У 2019 близько 3,7 млрд євро інвестовано в рекордні 4500 МВт потужностей відновлюваної електроенергетики в Україні. Про це повідомляє прес-служба Держенергоефективності. Завдяки інвестиціям, активності бізнесу, стимулам і освоєнню потенціалу цієї сфери в 2019 році Україна піднялася на восьме місце в рейтингу інвестиційної привабливості «зеленої» енергетики країн, що розвиваються. У 2018 року країна займала скромне 63 місце. Діючі потужності «чистої» енергетики дозволяють щорічно виробляти понад 8,4 млрд кВт · год електроенергії (близько 5,5% від загального виробництва) і забезпечувати електричною енергією понад 3,3 млн домогосподарств. Нагадаємо, в квітні 2020 року заплановано перші аукціони, головна мета яких - здешевити вартість «чистої» енергії для споживачів та підвищити конкуренцію між інвесторами. Джерело: <https://kosatka.media/category/vozobnovlyaemaya-energia/news/za-2019-god-v-vozobnovlyaemuyu-energetiku-ukrainy-investirovali-3-7-mlrd-evro>; <https://kosatka.media/category/vozobnovlyaemaya-energia/news/za-2019-god-v-vozobnovlyaemuyu-energetiku-ukrainy-investirovali-3-7-mlrd-evro>



НАЙБІЛЬШІ СЕС УКРАЇНИ



• У селищі **Підгородне у Дніпропетровській області** запрацювала єдина у Східній Європі сонячна електростанція, яка має **трекерну систему**. Сонячна електростанція обладнана спеціальними рухомими модулями, які стежать за рухом сонця протягом всього дня. **Такі рухомі сонячні батареї виробляють на 50% більше енергії, ніж звичайні стаціонарні установки.**

• Загалом тут працює 10 400 модулів потужністю понад 2,5 тисячі кВт на годину. Цього вистачить на обслуговування 27 тисяч домогосподарств в Підгородному. Така станція, за словами директора «Солар Парк Підгородне» Юрія Гордєєва, дозволить зекономити близько півмільйона тон вугілля на рік та уникнути викидів парникових газів.

• **Дві великих китайських компаній GCL System Integration Technology (GCL-SI) та концерн China National Complete Engineering Corp (CSEC) хочуть створити в Чорнобильській зоні відчуження сонячну електростанцію.** Будівельні роботи планується почати вже в наступному році. Як відзначають в компанії GCL-SI, реалізація проектів з розвитку "зеленої" і відновлюваної енергетики в постраждалій від радіації зоні може призвести до значних соціальних і економічних зрушень. **Створення в Україні електростанції потужністю в 1 ГВт**, в той же час, є частиною плану з міжнародної експансії компанії.

• СЕС потужністю 5 МВт запущена в Куянівці Білопільського р-ну Сумської обл. Побудувала станцію компанія "Українські енергетичні рішення" на кошти (5 млн євро) грузинської "Міжнародної енергетичної корпорації". За два місяці встановили 21 тис. сонячних панелей, які будуть подавати електроенергію в Куянівку, Білопільля та Суми. 46 га землі орендували на 49 років. За оренду деградованих земель, які до того були порожні, куянівська сільрада щорічно отримуватиме понад мільйон гривень. До 1996 р. їх використовував під поля фільтрації цукрозавод. Поруч з цією СЕС в березні планують побудувати другу станцію потужністю 17 МВт. Також на Сумщині СЕС будуються в Тростянці та Кролевці за гроші інвесторів з Німеччини та Голландії.

НАЙБІЛЬШІ СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ СВІТУ

• Сонячна електростанція Sambhar Lake, Індія.

• Консорціум з 6 державних компаній, в тому числі Bharat Heavy Electricals Ltd., Power Grid Corp of India, Hindustan Salts. Потужність: **4000 МВт**. Новий монстр - сонячна електростанція в Індії, буде побудована у 70 км від Джайпуру (Раджастхан), матиме потужність у вісім разів вищу в порівнянні з існуючими сонячним електростанціями Сполучених Штатів. *Проект коштує \$ 4 млрд.* Тим не менше, існує конфлікт між Урядом штату, що хоче використовувати землі для добування солі, та бажання федерального уряду, яке прагне до розробки сонячних проектів.

• Сонячна електростанція Longyangxia Dam Solar Park, Китай.

• Потужність: **850 МВт**. Перша черга проекту 320 МВт була завершена в кінці 2013 року, а друга черга - 530 МВт в кінці 2015 року. *Загальна площа 23 км². Сонячна електростанція інтегрована з гідроелектростанцією.* Парк з'єднано з гідравлічними турбінами, які автоматично регулюють потужність для врівноваження змінного навантаження від сонячної електростанції перед передачею електроенергії в енергомережу. Такі рішення нівелюють проблеми, пов'язані зі змінною сонячної генерації, допомагаючи економити воду.

• Сонячна електростанція Kamuthi Solar Power Project, Індія.

• Потужність: **648 МВт**. Проект завершено в вересні 2016 року. Станцію збудовано в 90 км від Madurai в штаті Tamil Nadu, Індія. Цей проект реалізовано державою. Сонячна установка складається з 2,5 млн сонячних модулів і 27000 метрів конструкцій. *Проект складається з 576 перетворювачів і 154 трансформаторів і майже 7500 км кабелів. Панелі займають 1270 гектарів землі.* Близько 8500 співробітників в середньому працювали встановлюючи близько 11 МВт в день, щоб збудувати станцію у встановлені терміни.

• Сонячна електростанція Solar Star, California, США.

• MidAmerican Solar, SunPower Corp. Потужність: **580 МВт**. Проект Solar Star, розташований в Kern та Los Angeles Counties, розпочався в 2013 році. *Після завершення об'єкт буде мати більш 1,7 мільйона сонячних панелей. Він вже постачає понад 170 МВт-год до енергомережі Каліфорнії.*

• Сонячна електростанція Topaz, California, США

• MidAmerican Solar. Потужність електростанції: **550 МВт**. *Для будівництва станції, розташованої на рівнині Carrizo Plain of San Luis Obispo County, знадобилося 2 роки і \$ 2,5 млрд. Її 9 млн. сонячних панелей, розкидані на 9,5 квадратних милях.*

ПЛАВУЧІ СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ



З 2011 р. французька компанія Ciel & Terre розробляє плаваючі сонячні установки Floating Hydrelio PV. Це дозволяє розміщувати стандартні панелі на великих водних просторах, таких як водосховища, затоплені кар'єри, іригаційні канали, ставки тощо

•Руйнування АЕС у Фукусімі, показали, що атомна енергія не найкращий спосіб виробництва енергії. Тому Японія все більше переходить на поновлювані джерела, більш безпечні для навколишнього середовища. Одним з останніх реалізованих проєктів, є найбільша в світі **плаваюча сонячна електростанція**. Цей проєкт спільно реалізують дві компанії, Century Tokyo Leasing Corporation і Kyocera Corporation, які заснували нове спільне підприємство під назвою Kyocera TCL Solar. Його завданням буде спорудження **найбільшої в світі плаваючої сонячної електростанції, розташованої в резервуарі греблі Yatakurra, що буде виробляти 13,7 МВт енергії.**

•Сонячні електростанції повинні займати величезні поверхні, щоб їх будівництво було економічно виправдано. Тим часом, земля є дуже цінною, і не кожна країна буде готова використовувати її таким чином. Тому все частіше проєктується плаваючі споруди на поверхні води, яку і так ні в один спосіб не можна використовувати.

•**Електростанція буде складатися з 51 тисячі модулів, вироблених компанією Kyocera, які будуть встановлені на площі в 180 тис. м².** Підраховано, що кожен рік вона буде виробляти **16,2 МВт** енергії, якої повинно вистачити, щоб задовольнити потреби близько 5 тис. домашніх господарств. Пуск нової електростанції запланований на 2018 р.

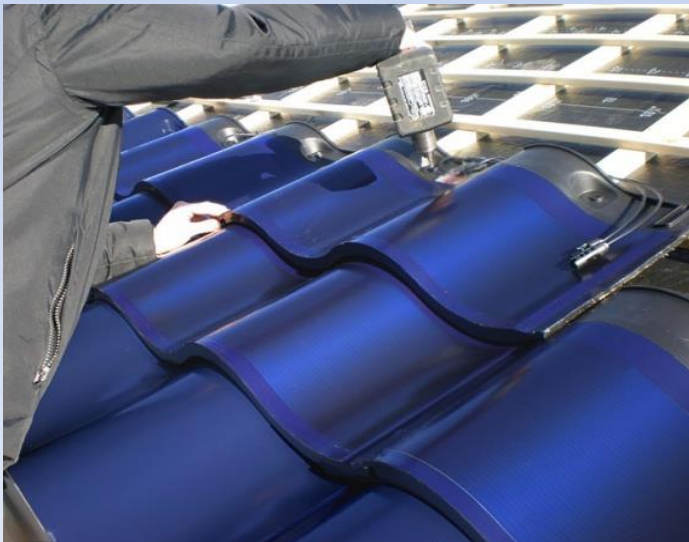
ПЛАВУЧІ СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

•Весною 2017 р. влада Китаю оголосила, що *найбільша в світі плавуча сонячна електростанція*, нарешті, була запущена в експлуатацію і підключена до місцевої електромережі. Розташована поблизу *міста Хуайнань в провінції Аньхой* нова плавуча електростанція має потужність **40 МВт** і була розроблена інженерами компанії Sungrow Power Supply Co. Особливо іронічно у всій цій історії те, що електростанція була розміщена в районі затопленого вугільного кар'єру, який колись забезпечував країну викопним паливом, яке забруднює атмосферу. У минулому році на воду вже була спущена 20-мегаваттна сонячна електростанція, але Китай планує активно нарощувати кількість подібних конструкцій в найближчі роки. Плавучі сонячні електростанції стають все більш популярними завдяки їх унікальному дизайну і відсутності необхідності виділення ділянки землі для їх розміщення. Крім усього іншого, такі станції уповільнює випаровування води, що вчений вважає плюс для екології. *А низька температура біля поверхні моря або океану дозволяє ефективно охолоджувати фотоелектричні панелі і знижує ризик їх виходу з ладу. До 2020 року Китай планує збільшити кількість енергії, одержуваної від сонячних електростанцій до 20% від загального споживання.*

•Острів Діду-Фінолу, що входить до складу атола Південний Арі на Мальдівських островах, обзавівся найбільшою в світі морською сонячною електростанцією. Енергія установки Solar Sea від компанії Swim Sol використовується для потреб розташованого на острові п'ятизіркового готелю. До складу установки входять 12 плаваючих в морі панелей, захищених від хвиль, штормів і солоної води.



ІНТЕГРОВАНІ СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ



•Американський виробник електромобілів **Tesla Motors** представив у жовтні 2016 р. у Лос-Анджелесі нові моделі сонячних батарей, розраховані для установки на дахах будинків. Новинка була представлена за кілька тижнів до передбачуваного завершення операції по злиттю Tesla Motors і енергетичною компанією SolarCity.

•Нові сонячні батареї не схожі на звичні. Як заявив в ході презентації глава Tesla Ілон Маск, **мова йде про початок виробництва дахів, вся поверхня яких буде суцільний сонячною батареєю, а не набором сонячних модулів.** Для даху представлені чотири види покриття: **скляна і шиферна плітка, черепиця і фактура скло.** Дах, який назвали **Solar Roof**, може повністю жити електрикою приватний будинок, при цьому коштує дешевше звичайних сонячних батарей, вбудованих в дах. Перші дахи, що складаються з нових сонячних панелей, будуть продані і встановлені вже в наступному році.

•Деякі компанії вставляють фотоелектричні панелі в глиняну черепицю. Монтаж сонячної плитки проводиться одночасно з кладкою черепиці. Сонячні панелі складаються з окремих монокристалічних елементів, з'єднаних послідовно. 4 окремі панелі з номінальною потужністю 6,25 Вт разом утворюють фотоелектричний модуль. Потужність такого модуля 25 Вт; 1 м² поверхні має вихідну потужність 75 Вт.

Монтаж сонячних панелей разом з металочерепицею

АЕРОСТАТНІ СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

• Істотним недоліком існуючих СЕУ є нерівномірність їх роботи, що пов'язано зі зміною потоку сонячного випромінювання, що досягає поверхні Землі, викликаного погодними умовами, зміною пір року і часу доби. **Сонячні аеростатні електростанції** (САЕС) можуть стати одним з можливих нових напрямів, що дозволяють більш ефективно використовувати сонячну енергію. У САЕС основний елемент - аеростат - може бути винесено на кілька кілометрів над поверхнею Землі, вище хмар, що забезпечує безперервне використання сонячної енергії протягом дня. Принципова схема роботи САЕС з паровою турбіною полягає в поглинанні поверхнею аеростата сонячного випромінювання та нагріванні за рахунок цього водяної пари, що знаходиться всередині. При цьому оболонка аеростата виконується двошаровою. Сонячні промені, проходячи через зовнішній прозорий шар, нагрівають внутрішній шар оболонки з нанесеним покриттям, що поглинає сонячне випромінювання. Водяна пара, що знаходиться всередині оболонки нагрівається тепловим потоком, який надходить через оболонку, до 100-150 °С. Прошарок газу (повітря) між шарами, виконуючи роль теплоізоляції, зменшує втрати тепла в атмосферу. Тиск пари практично дорівнює тиску зовнішнього повітря. Водяна пара за гнучким паропроводом подається на парову турбіну, потім конденсується в конденсаторі, вода з конденсатора знову подається насосами у внутрішню порожнину оболонки, де випаровується при контакті з перегрітою водяною парою. ККД такої установки може скласти 25%, при цьому завдяки запасу водяної пари у внутрішній порожнині аеростата установка може працювати і вночі. При діаметрі аеростата 150 м і розміщенні на висоті 5 км **установка може мати потужність 2 МВт**.

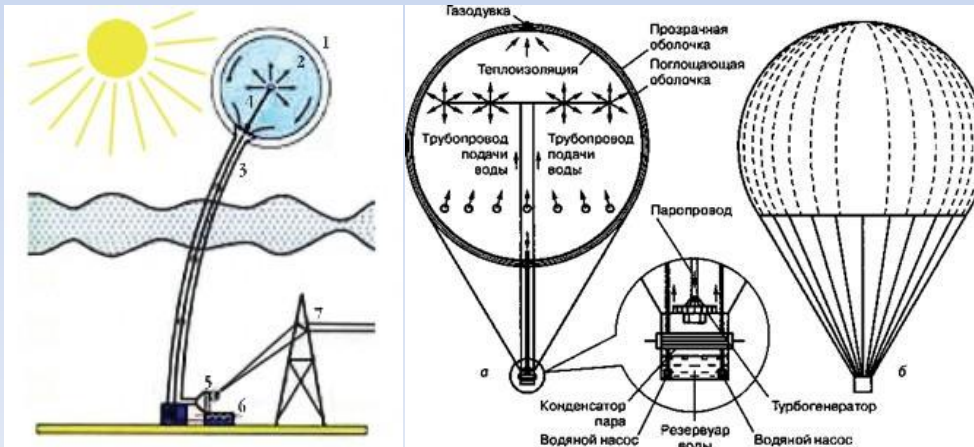
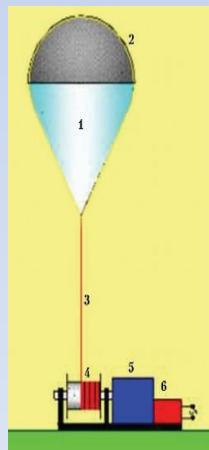


Схема САЕС та принцип її роботи: 1 - прозора оболонка; 2 - поглинає оболонка; 3 - паропровід; 4 - трубопровід з водяними насосами; 5 - парова турбіна з генератором; 6 - конденсатор; 7 - ЛЕП

АЕРОСТАТНІ СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

• Перша дослідно-промислова САЕС «*Чорна перлина*», що введена в експлуатацію в 2003 р, складається з приймача сонячної енергії у вигляді декількох шарів гнучких сферичних оболонок. Важливою перевагою конструкції є те, що пара, що нагнітається компресором в розділений на відсіки простір між прозорою і поглинаючою оболонками, завдяки автоматизованій системі клапанів циркулює тільки по стороні, що освітлюється. Така САЕС потужністю 5 МВт займає площу 0,3 км². В іншій САЕС «*Чорний місяць*», введений в дію в 2005 р, центр оболонки діаметром 300 м знаходиться на висоті 450 м, що дозволило різко скоротити використовувану площу. На підставі позитивного досвіду експлуатації цих САЕС Тайвань передбачає їх широке будівництво.



САЕС: 1 - оболонка балона аеростата; 2 - тонкоплівкові сонячні елементи; 3 - канат з електричним кабелем; 4 - барабан; 5 - електромотор; 7 редуктор; 6 - інвертор

СОНЯЧНІ ДОРОГИ



Французька компанія Colas у 2016 р. завершила *перший дослідний проект сонячної дороги Wattway*. Незвичайна ділянку шосе RD5 довжиною в один кілометр відкрилася для проїзду в селі Турувр-о-Перш (3400 жителів) в Нормандії. Цією дорогою щодня буде проїжджати близько двох тисяч машин.

У вересні 2016 р. компанія Qilu Transportation Development Group завершила будівництво *першого проекту дороги з сонячних панелей в місті Цзинань (Китай)*. В ході будівництва, яке тривало 10 місяців, дорогу оснастили 660 м² сонячних батарей. Зараз завершено будівництво другого проекту «сонячної дороги» на швидкісній автомагістралі Цзинань *протяжністю 1,6 км*. Дорожнє полотно складається з трьох шарів. Верхній шар являє собою «прозорий бетон», інноваційний матеріал, який має структурні властивості асфальту. Другий шар - самі сонячні панелі. Нижній шар складається з ізоляційних матеріалів, що захищають сонячні батареї від вологої землі знизу. Дорога буде досить міцною, щоб витримати навіть великі транспортні засоби, наприклад, вантажівки середнього розміру.

СОНЯЧНИЙ ТРАНСПОРТ

- Фотоелектричні елементи можуть встановлюватися на різних транспортних засобах: *човнах, електромобілях і гібридних автомобілях, літаках, дирижаблях тощо.*
- Фотоелектричні елементи виробляють електроенергію, яка використовується для бортового живлення транспортного засобу, або для електродвигуна електричного транспорту. В Італії та Японії фотоелектричні елементи встановлюють на даху залізничних поїздів. Вони виробляють електрику для кондиціонерів, освітлення і аварійних систем. Компанія Solatec LLC продає тонкоплівкові фотоелектричні елементи для установки на даху гібридного автомобіля *Toyota Prius*. Фотоелементи мають товщину 0,6 мм, що ніяк не впливає на аеродинаміку автомобіля. Вони призначені для зарядки акумуляторів, що дозволяє збільшити пробіг автомобіля на 10%.
- У 1981 р. льотчик *Paul Beattie Mac Cready* здійснив політ на літаку *Solar Challenger*, що живиться тільки сонячною енергією, подолавши відстань у 258 кілометрів зі швидкістю 48 км/год. У 2010 р. пілотований літак *Solar Impulse*, що працює на сонячній енергії, протримався в повітрі 24 години. Військові приділяють велику увагу до безпілотних літальних апаратів (БПЛА) на сонячній енергії, здатних триматися в повітрі надзвичайно довго - місяці і роки. Такі системи могли б замінити або доповнити супутники.

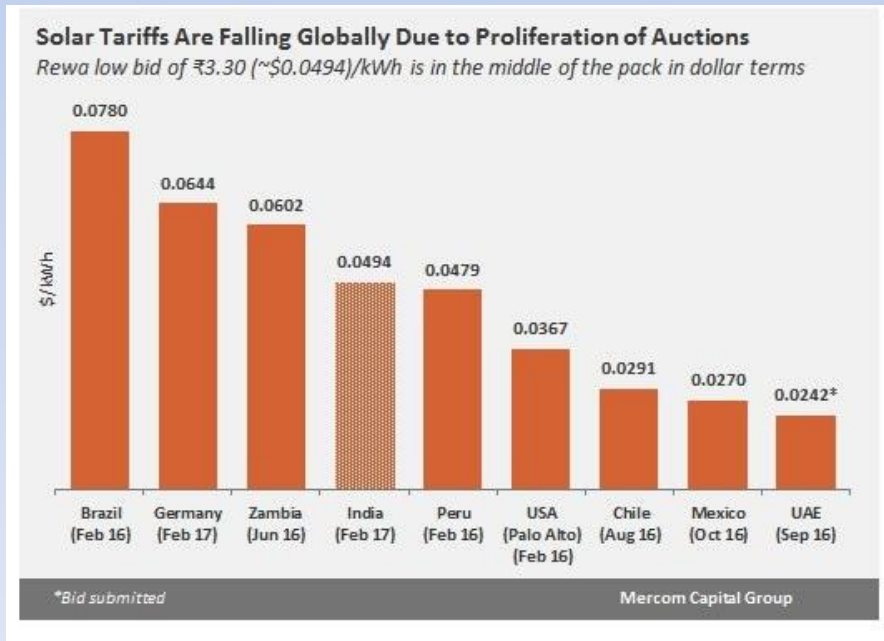


Швейцарський літак на сонячних батареях *Solar Impulse 2* здійснив **кругосвітний переліт**. «Імпульсом» по черзі керували пілоти Андре Борісберг і Бертран Пікар. Почав він свою подорож навколо Землі 9 березня 2015 року, а закінчив 26 липня 2016. В цілому літак зробив зупинки в 15 країнах світу і встановив ряд світових рекордів. Він встановив також рекорд **найтривалішого безперервного перебування в повітрі - понад 120 годин**. Всього *Solar Impulse 2* подолав більше 40 тисяч кілометрів. При цьому час, який він провів у повітрі, склав майже 510 годин. **Розмах крил літака дорівнює 72 метрам, а його вага 2,3 тони**. На ньому встановлено понад 17 тисяч сонячних батарей, від яких працюють чотири електромотори. 194

ЦІНИ НА ЕНЕРГІЮ СЕ СТАНОМ НА 08. 2019 Р.

•*За 10 років ціна 1 вата потужності сонячних панелей знизилася з 3 доларів до 30 центів. Так само дешевшали інвертори – пристрої, що перетворюють згенерований постійний струм у змінний, який надходить до енергосистеми. Зараз у світі будівництво наземної сонячної електростанції «під ключ» коштує **менше долара за ват**. Тобто щоб генерувати наприклад 100 Вт ви маєте вкласти трохи менше \$100. В українських умовах можна говорити **про 60-70 центів за ват "під ключ"**. Собівартість 1 кВт-год від електростанцій, якими починає рясно вкриватися Україна, становить **2-3 центи**. (32 центи за Вт у серпні 2017 р.). А виробнику по чинному зеленому тарифу заплатять **17 центів**. 600-800% прибутку буває хіба що в наркобізнесі.*

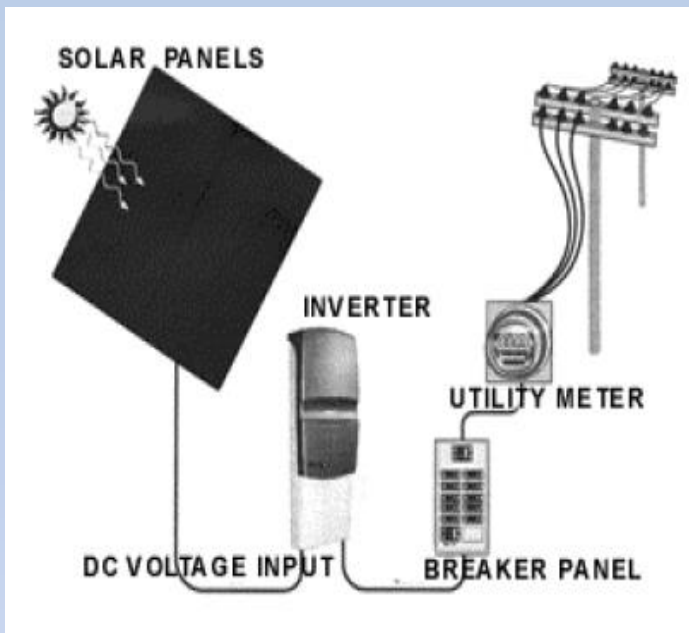
У Індії цього року мав відбутися найбільший наразі тендер на будівництво сонячних електростанцій. **Мінімальну ціну пропозиції визначили на рівні 7 центів за кВт-год**. Але поки учасники подавали заявки, ціни на сонячну енергію в країні обвалилися нижче 5 центів за кВт-год. Тендери довелося відкладати. У Об'єднаних Арабських Еміратах у 2016-му на тендері виграв виробник, який запропонував продавати електроенергію по 2,4 (!!!) центи за кіловат-годину. Наголошуємо, мова йде не про собівартість будівництва, а про ціну продажу – тобто, генеруюча компанія планує отримувати свій прибуток на цих двох центах.



«ЗЕЛЕНИЙ» ТАРИФ ДЛЯ НОВИХ ПОТУЖНОСТЕЙ

- Національна комісія з держрегулювання в сферах енергетики і комунальних послуг України (НКРЕКП) встановила тариф на відпуск електроенергії для першої групи вітроустановок потужністю 26,8 МВт «Приморська вітроелектростанція (ВЕС)», яку будує група ДТЕК Ріната Ахметова. *Розмір тарифу – 108 євро за МВт-год. Він буде діяти до 1 січня 2030 року.*
- «Зелений» тариф також отримав «Вітропарк «Причорноморський» (перший пусковий комплекс «Ольвійської» ВЕС в Очаківському районі Миколаївської області).
- Також на засіданні 26 лютого 2018 р. НКРЕКП встановила «зелений» тариф в розмірі 150,3 євро за МВт-год до 1 січня 2030 роки для низки сонячних електростанцій: «Санбїлд» (СЕС «Афанасьєвка» на 20,46 МВт в Снігурівському районі Миколаївської області), «Галенергопостач» (СЕС на 3 МВт в Тернопільській області), «Геліос Груп» Черніїв-1» (СЕС на 4 МВт в Івано-Франківській області), «Грін Електра» (СЕС «Яришів» на 6,2 МВт у Вінницькій області), «3-Енерджі» (СЕС на 6,2 МВт в Кіровоградській області), «Саненерджі» (СЕС на 5,8 МВт в Івано-Франківській області), «Енерджі і Солар» (СЕС на 3,2 МВт в Дніпропетровській області).
- ***Верховна рада прийняла законопроект №8449-д про забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел. Документ передбачає перехід з 1 січня 2020 року до конкурентного аукціонним принципом визначення ціни електроенергії ВДЕ замість нині діючих фіксованих "зелених" тарифів.*** Впровадження «зелених» аукціонів дозволить знизити ціни на зелену електроенергію завдяки запуску механізму конкуренції. Аукціони почнуться вже в квітні 2020 року.
- «Зелений» тариф на електроенергію, яку виробляють сонячні електростанції потужністю до 30 кВт з 1 січня 2020 р. по 31 грудня 2024-го складе 427,93 копійки за кВт·год (було 499,27 коп/кВт·годину). При цьому тариф на електрику, сгенеровану на вітряних станціях приватних домогосподарств на найближчі чотири роки складе 274,90 коп/кВт·год (було 306,07 копійок). Нарешті, для комбінованих вітро-сонячних генеруючих систем тариф з 1 січня 2020 рік до 31 грудня 2024-го встановлено на позначці 323,07 коп/кВт·год (в 2019-му було 430,76 копійок). Всі тарифи розраховані без урахування ПДВ.

СОНЯЧНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ДОМУ

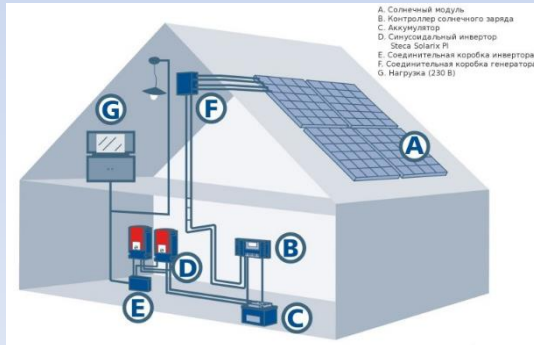
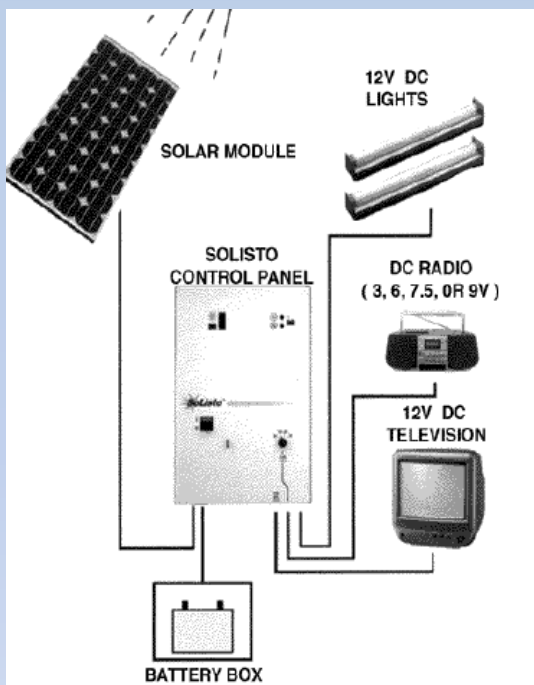


• **Найпопулярніші сонячні установки для дому - це мережеві (пов'язані з мережею, on-grid) сонячні системи, побудовані на інверторах.** Сонячну енергію вони відразу перетворюють в змінний струм, із стандартним значенням частоти і напруги, і поставляють її у внутрішню мережу будинку, домогосподарства. **Скільки енергії згенерувала така система, на стільки менше спожив її будинок від зовнішньої мережі. Перевага** мережевих сонячних систем - **невелика вартість сонячної енергії, простота, надійність, високий коефіцієнт перетворення сонячної енергії.**

• Інший тип сонячних установок для економії електроенергії - **системи з акумулюванням сонячної енергії в акумуляторні батареї.** Зазвичай такі сонячні установки для дому з акумуляторними батареями першочергово розраховані на резервне або автономне електропостачання виділеної групи навантажень, або навіть цілого будинку, тим не менш, вони так само непогано дозволяють економити енергію, що споживається від мережі. Даного типу установок існує кілька підвидів, в залежності від алгоритму роботи перетворювати обладнання, зокрема, акумуляторного інвертора.



СОНЯЧНІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВЛАСНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ



•Третій тип сонячних установок для економії електроенергії, який об'єднав в собі переваги двох попередніх - *системи для власного електроживлення та акумулювання енергії (storage systems for increased self-consumption, Flexible Storage System)*. Головна відмінність систем для власного електроживлення від інших типів сонячних установок для дому - *можливість повного управління виробництвом, зберіганням і споживанням сонячної енергії за допомогою окремого, або інтегрованого в інвертор менеджера енергосистеми*, що одержує дані про потоки енергії від приладів обліку, датчиків струму, перетворюючого обладнання. Суть роботи таких систем наступна. Сонячні батареї виробляють максимум енергії днем, це зрозуміло. Відповідно, система для власного електроживлення днем використовує сонячну енергію в першу чергу для забезпечення працюючих в цей час навантажень, поставляючи її у внутрішню мережу будинку, як і мережева установка. Коли ж сонячної енергії виробляється більше, ніж є в ній необхідність, система для власного електроживлення може по-різному цією енергією управляти. Наприклад, коли це вигідно, дозволити енергії перетікати в зовнішню мережу, для продажу за *«зеленим» тарифом*, або підключити зарядку акумуляторів для подальшого використання накопиченої енергії увечері або вранці, коли найвищий тариф на мережеву енергію; або включити, можна і дистанційно, через керовані розетки, додаткових споживачів енергії - пральну або посудомийну машину, насос для води, інше. Тобто, така система максимально ефективно використовує сонячну енергію, мінімізує її споживання від мережі.

РЕЖИМИ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

•Для розрахунку енергетичної системи перш за все слід з'ясувати, яку кількість енергії вона повинна давати. Для цього доведеться визначити **пікову миттєву потужність**, а також розрахувати дві величини очікуваного добового енергоспоживання споживача - його **максимальне і середнє значення**.

•**Пікова миттєва потужність** визначається сумарною потужністю всіх енергоспоживачів, які можуть бути включені одночасно, тобто найгіршим випадком з погляду навантаження на мережу.

•Очікуване добове енергоспоживання визначити складніше. Воно залежить від того, в якому режимі планується використовувати створювану систему електропостачання

•Повне електропостачання

•Повне електропостачання від сонячних батарей має на увазі повну заміну мережевого електропостачання на автономне без будь-якого обмеження звичного стилю життя людини. Щоб повністю відключитися від електромережі але ні в чому не змінювати спосіб життя необхідна система, здатна за місяць видати не **менше 600 кВт·год електроенергії при потужності в тривалому режимі не менше 5 кВт**, а споживання енергії за добу може досягати **50 кВт·год при середньому значенні від 10 до 20 кВт·год на добу**.

•Комфортне електропостачання

•Комфортне електропостачання відрізняється від повного лише виключенням найбільш енергоємних споживачів, наприклад, електронагрівачів, у яких потужність перевищує 2 кВт або середнє енергоспоживання за добу перевищує 4...5 кВт·ч. Таким чином, пральні машини, електропраски, хлібопічки, електрочайники та навіть електродігрів підлоги в санвузлах разом з електробойлером гарячого водопостачання продовжують залишатися в системі, а ось електроплити, електродуховки, конвектори та електродігрів великих площ виключаються. Це, звичайно, не заважає підключити їх до зовнішньої мережі окремою лінією. Зазвичай комфортний режим потребують в середньому від **100 до 250 кВт·год на місяць (середньодобове споживання від 3 до 8 кВт·год) при піковому споживанні до 15 кВт·год на добу, при цьому миттєва споживана потужність в тривалому режимі не перевищує 5 кВт**.

РЕЖИМИ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

• *Помірне електропостачання*

•Цей режим передбачає помітні зміни в способі життя людини при збереженні високого рівня комфорту. Втім, список споживачів мало відрізняється від режиму комфортного енергопостачання, за винятком таких необов'язкових елементів, як електрочайники та електропідігрів підлоги. Використання електропідігріву гарячої води теж може бути обмежене. Крім цього, зміни стосуються і часу виконання не надто регулярних, але енергоємних робіт. Щоб заощадити на ємності акумуляторів, такі роботи треба виконувати не вночі і не в похмуру погоду, а в сонячні ясні дні, коли потік сонячної енергії максимальний і частково компенсує розряд акумуляторів, а те, що розрядилося, буде компенсовано до настання темряви. До цих робіт, наприклад, відноситься велике прання (особливо в машині-автоматі з підігрівом води), прасування великої кількості білизни, активна робота з потужним електроінструментом і садової електротехнікою і т. ін. Якщо виключити регулярних споживачів другої черги (чайник і водонагрівачі), то слід орієнтуватися на щомісячне споживання близько **150 кВт·год при миттєвій потужності, що споживається, в тривалому режимі до 3 .. 3.5 кВт і піковій потужності до 5 кВт, а очікуване середньодобове споживання становить 4. . 6 кВт·год з можливим максимумом до 11 кВт·год на добу.**

• *Базове електропостачання*

•У цьому режимі особливості енергоспоживання **дуже суттєво впливають на стиль життя.** Цей вплив насамперед полягає в постійному обліку поточного навантаження на автономне енергопостачання і в необхідності почергового включення більш-менш потужних споживачів. Крім того, в цьому режимі слід постійно пам'ятати про економію, зокрема включати світло тільки там, тоді і стільки, де, коли і скільки віно дійсно потрібне. Те ж стосується і всіх інших електроприладів. Тим не менш, незважаючи на всі застереження, в цьому режимі все ж можна підтримувати достатній рівень комфорту і використовувати практично всю домашню електротехніку, однак час включення енергоємних споживачів у значній мірі визначається погодою, - все енергоємні роботи слід проводити тільки в сонячні дні і, бажано, до обіду, щоб до вечора заряд акумуляторів відновився до максимуму. У цьому випадку щомісячне споживання приблизно **100 кВт·год при миттєвій споживаній потужності в тривалому режимі близько 1 кВт з піковим споживанням до 2.5 кВт, а в моменти використання електроінструменту - до 4 кВт, при очікуваному середньодобовому споживанні 3 .. 4 кВт·год з максимумом до 7 кВт·год на добу.**

РЕЖИМИ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

•Аварійне електропостачання

•Аварійний режим передбачає *жорстке обмеження потреб*, проте на відміну від попередніх випадків, передбачається, що *автономна робота в такому режимі триватиме не більше декількох днів підряд*, тому енергоємні електроприлади можна взагалі не використовувати до відновлення звичайного енергопостачання. Завдання аварійного енергопостачання - забезпечити мінімальні зручності і функціонування найважливіших систем життєзабезпечення будинку.

•Отже, в даному варіанті все, що не життєво важливо, вимкнено і не включається, зокрема не використовується телевізор, а взимку - і холодильник (влітку використання холодильника також передбачається більш обережним і рідкісним, що сприяє економії електрики). У цьому випадку щомісячне споживання складе *50 .. 60 кВт·год при миттєвій споживаній потужності в тривалому режимі приблизно 600 Вт з піковим споживанням до 1.5 кВт (в моменти використання електроінструменту - до 2.5 .. 3 кВт), а очікуване середньодобове споживання становить 1.5 .. 2 кВт·год і не перевищує 6 кВт·год, хоча за рахунок рознесення енергоємних робіт на різні дні цілком реально обмежити денний максимум до 3 .. 4 кВт·год.*

•У кожному конкретному випадку дані потрібно враховувати індивідуально, виходячи з наявної техніки, власних підходів до її використання і сформованих звичок людини. Проте методика розрахунку та ж сама.



РОЗРАХУНОК АВТОНОМНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ НА СОНЯЧНИХ БАТАРЕЯХ

Розрахунок енергосистеми складається з декількох етапів:

- *Визначення загального навантаження і споживаної потужності.*
- *Визначення необхідної потужності інвертора і ємності акумуляторної батареї.*
- *Визначення необхідної кількості фотоелектричних модулів (власне самих сонячних батарей), виходячи з даних щодо середнестатичної кількості сонячної радіації в місці установки системи.*
- *Приблизний розрахунок вартості системи (і варіанти при різних виробниках).*

Після виконання 4 кроків, якщо вартість автономної системи виявиться *занадто великою*, можна розглянути різні варіанти зменшення вартості системи електропостачання на сонячних батареях:

- зменшення споживаної потужності за рахунок заміни існуючих споживачів на енергоефективні, з низьким споживання електрики, а також виключення теплової, "фантомного" і необов'язкового навантаження (наприклад, можна використовувати холодильники, кондиціонери і таке ін., що працюють на газі).
- заміна навантаження змінного струму на навантаження постійного струму. У цьому випадку можна виграти на відсутності втрат в інверторі (від 10 до 40%). Однак, потрібно враховувати особливості побудови низьковольтних систем постійного струму.
- введення в систему електропостачання додаткового генератора електроенергії – вітроустановки, дизель- або бензогенератора.
- змиритися з тим, що електроенергія буде у будинку не завжди. І чим більше буде потужність системи відрізняться від споживаної потужності, тим більш ймовірні будуть періоди відсутності електроенергії. У такі періоди, а вони можуть бути зовсім не тривалими (1-3 тижні взимку, в найкоротші дні), можна просто трохи обмежити звичайне енергоспоживання. При цьому економія на обладнанні може бути дуже суттєвою (до 50%!).

РІВЕНЬ СОНЯЧНОЇ ІНСТАЛЯЦІЇ



Сонячна інсоляція - це кількість сонячної радіації, що падає на 1 м^2 поверхні, яка знаходиться перпендикулярно сонячним променям за один світловий день.

• Сонячна інсоляція, яка надходить за поверхню змінюється і залежить від висоти сонця, хмарності та інших природних явищ, кута падіння сонячних променів (ранок, полудень, вечір). У зв'язку з такими відмінностями зручніше користуватися **усередненими показниками** в залежності від пори року і місця розташування. Сумарна сонячна інсоляція дає можливість розрахувати, яку кількість сонячної радіації ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{день}$) отримає сонячний колектор або сонячна батарея в той чи інший місяць року.

• Для кожного міста України інсоляція різна і залежить від регіону та пори року. **На мапі позначено кількість сонячної енергії яка падає сумарно за рік на горизонтальну поверхню площею 1 м^2** . Поверхня має нахил у бік екватора під кутом що дорівнює географічній широті місця виміру. Цифра в кожній області на мапі **відповідає інсоляції в відповідному обласному центрі**. Наприклад, на мапі Київській області відповідає цифра 1239. **Це означає, що якщо ми візьмемо панель площею 1 м^2 , направимо її на південь, і поставимо під кутом в 50.5° (географічна широта Києва). То протягом року на цю поверхню потрапить кількість сонячної енергії яка дорівнює за потужністю 1239 кВт .**

• Таблиця сонячної інсоляції по містах України наведена на наступному плакаті. За допомогою таблиці можна дуже просто оцінити продуктивність, наприклад, сонячного колектору площею 2 м^2 в червні, встановленому в місті Запоріжжя. $\text{Вироблення} = 2 \text{ м}^2 \cdot 30 \text{ днів} \cdot 5,72 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{день} = 343,2 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ - це середня кількість сонячної енергії, яку отримає наш колектор.

РІВЕНЬ СОНЯЧНОЇ ІНСТАЛЯЦІЇ

кВт·год/м²·день

Місто	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	рік
Винниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,9	3,11
Луцьк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Донецьк	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	3,34
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Запоріжжя	1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	3,44
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,10
Кіровоград	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,30
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	2,92
Миколаїв	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Полтава	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Рівно	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	3,16
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26
Херсон	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	3,55
Черкаси	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	3,24
Чернігів	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	3,03
Чернівці	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94

М. Суми. 50° 55' 17" (50.9216) північної широти, 34° 48' 1" (34.80029) східної довготи

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ СОНЦЯ

• Після визначення потреби в енергії потрібно визначити, яку потужність можна отримати від Сонця. Основа такого розрахунку - це дані з потужності сонячного випромінювання з урахуванням погодних умов. Бажано, щоб були відомі дані для різних кутів нахилу панелі, або хоча б для вертикальної і горизонтальної її орієнтації.

• *Найважливішим питанням є вибір кута нахилу панелі батареї. Маючи на увазі можливість цілорічного використання, слід віддати перевагу куту, що на 15° більший географічної широти (до того ж, чим більше нахил, тим менше на панелі будуть затримуватися пил і сніг).*

• Після вибору нахилу, можна приступати до оцінки потенційної продуктивності сонячних батарей, або, що те ж саме, до оцінки кількості сонячних модулів, необхідних для роботи системи в бажаному режимі. *Оцінку слід провести як мінімум для найгіршого місяця (звичайно це січень), для більшої частини року (лютий - листопад) і для річного максимуму (звичайно це липень). Стандартна інсоляція розраховується для площі в 1 м^2 . Однак точна площа елементів сонячної панелі нам не відома. Проте відома її номінальна потужність, яка визначається для освітлення потужністю 1 кВт/м^2 при 25°C . Цього цілком достатньо. Приймавши потужність сонячного випромінювання біля поверхні Землі (максимальну інсоляцію) тієї ж самою - що, загалом, відповідає дійсності, - ми отримуємо, що вироблення батареї відноситься до інсоляції квадратного метра так, як потужність батареї відноситься до потужності сонячного випромінювання земної поверхні в ясну погоду, що припадає на 1 м^2 , тобто до 1 кВт . Помноживши місячну інсоляцію з таблиці на відношення потужності батареї і максимальної інсоляції, можна оцінити вироблення сонячної батареї за цей місяць.*

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ СОНЦЯ

•Таким чином, *вироблення енергії панеллю будемо розраховувати за такою формулою*

$$E_{cб} = E_{inc} \cdot P_{cб} \cdot \eta / P_{inc}$$

де $E_{cб}$ - вироблення енергії сонячною батареєю; E_{inc} - місячна інсоляція квадратного метра (взяти з таблиці інсоляції); $P_{cб}$ - номінальна потужність сонячної батареї; η - ККД інвертора при перетворенні низьковольтної постійної напруги в стандартну (якщо передбачається безпосереднє використання низьковольтної напруги, η можна прирівняти до 1, тобто не враховувати); P_{inc} - максимальна потужність інсоляції квадратного метра земної поверхні (1000 Вт).

Інсоляція і бажана потужність повинні бути в одних і тих же одиницях (або кіловат-годинах, або джоулях).

• Відповідно, знаючи місячну інсоляцію, *можна оцінити номінальну потужність сонячної батареї, необхідну для забезпечення необхідного місячного вироблення енергії*

$$P_{cб} = P_{inc} \cdot E_{cб} / (E_{inc} \cdot \eta)$$

•Слід зазначити, що, *як правило, максимальна потужність сонячної батареї, про яку, власне, і заявляє виробник, відповідає напрузі на її виході, на 15 .. 40% перевищує напругу акумуляторних батарей. Більшість недорогих контролерів заряду можуть або підключати навантаження безпосередньо, «просаджуючи» вихідну напругу батарей набагато нижче оптимальної, або просто відсікати цей «надлишок». Тому ці втрати також потрібно закласти в ККД, зменшивши його на 10 .. 25%* (втрати потужності менші втрати напруги, оскільки при підвищеному навантаженні «просідання» напруги компенсується деяким збільшенням струму, хоча і не повністю; більш точно значення можна визначити, лише знаючи залежність напруги від струму навантаження для конкретної батареї). Однак існують моделі контролерів, які утримують ці втрати в межах 2 .. 5%.

ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

• Як вже вказувалося, *до складу систем електропостачання на сонячних батареях* входять наступні типи пристроїв.

- 1. *Панелі з фотоелектричними елементами.*
- 2. *Контролер* сонячної батареї, що забезпечує нормування вихідної напруги батареї, зарядку акумуляторів і (опційно) подачу низьковольтного постійного струму на навантаження.
- 3. *Електрохімічні акумулятори*, що запасують енергію в період її надлишку і подають її в систему в період браку при недостатньому освітленні фотоелементів або при тимчасовому зростанні споживання.
- 4. *Інвертор*, що забезпечує перетворення постійного низьковольтного струму від акумуляторів і фотоелементів у струм побутового або промислового стандарту.
- Визначальними критеріями вибору обладнання є *дві потужності - номінальна потужність сонячної батареї і максимальна потужність навантаження, при цьому в загальному випадку ці величини можуть мало корелювати одна з одною.* Скажімо, можна весь літній день заряджати акумулятори від 200-ватної сонячної батареї, повертаючи її слідом за Сонцем і накопичити 2,5 кВт·год енергії, а ввечері за півгодини витратити її на зварювання, використовуючи інвертор потужністю 5 кВт.

Але *перш ніж вибирати конкретні моделі приладів, слід визначитися з низьковольтною напругою постійного струму, яка буде використовуватися в системі.*

ВИБІР НАПРУГИ СИСТЕМИ

• Якщо з вибором вихідної напруги системи все ясно - *в Україні це 220 В змінного струму з частотою 50 Гц*, то вибір низьковольтної напруги постійного струму, - тобто напруги на вході інвертора, вона ж номінальна напруга блоку акумуляторів і фотоелектричних панелей - набагато складніший. Стандартні потужні акумулятори мають напругу 12 В, часто зустрічаються і 6-вольтові «мотоциклетні» варіанти. Номінальна вихідна напруга фотоелектричних панелей потужністю від 50 Вт і вище зазвичай складає або 12, або 24 В, але її також можна нарощувати з відповідним кроком, з'єднуючи батареї послідовно.

• *Більшість інверторів розраховані на напругу вхідного постійного струму 12, 24, 48 або 96 В, в залежності від потужності. Для забезпечення потужності в 1 кВт при напрузі 12 В необхідний струм в 83 А! Якщо ж врахувати втрати інвертора, які можуть досягати 15%, то струм впритул наближається до 100 А.* У результаті перетин дротів повинен бути дуже великим - *для мідного дроту не менше 25 мм² (діаметр близько 6 мм), - а самі дроти повинні бути якомога більш короткими - не більше метра, а краще - 20 .. 30 см.* Інакше в них будуть занадто великі втрати енергії на нагрів, який не просто марний, а відверто шкідливий і навіть небезпечний. *При потужності 10 кВт струм, відповідно, зростає до 1000 А, а перетин дроту збільшиться вже не в 10, а більш ніж у 20 разів через проблеми з відведенням тепла з середини жили - це буде мідний пруток діаметром майже півтора сантиметра.* Навіть просто забезпечити компактне і надійне з'єднання, що дозволяє пропускати настільки потужні струми протягом багатьох років, дуже складно. З цих причин *виробники інверторів обмежують вхідний струм, що він споживає в режимі номінальної потужності, однією-двома сотнями ампер, і при підвищенні потужності змушені піднімати вхідну напругу.*

• На відміну від фотоелектричних панелей і акумуляторів, *інвертори і контролери не можна каскадувати послідовно!!!!*, тому їх необхідно вибирати, виходячи з напруги постійного струму за необхідною вихідною потужністю інвертора.

• *До 24 В напруга безпечна і підходить для номінальної вихідної потужності інвертора в декілька кВт, що цілком достатньо практично для всіх споживачів які зустрічаються в звичайному домашньому господарстві. Якщо ж потрібно жити одночасно кілька потужних споживачів може бути виправдано їх підключення до двох або більше інверторів одночасно - кожного до свого - при тому що номінальна потужність кожного інвертора не перевищує 1-2 кВт.* До речі це дозволить системі продовжувати роботу і в разі раптового виходу з ладу одного з інверторів, той що залишився забезпечить необхідну напругу хоча за потужністю навантаження звичайно потрібно буде стежити більш ретельно.

ВИБІР ІНВЕРТОРА

- **Перш за все, обраний інвертор повинен забезпечити необхідну вихідну потужність.** Вхідна (низьковольтна) напруга пов'язана з цією потужністю досить тісно. Але крім цього у інверторів є й інші характеристики, на які слід звернути увагу.
- **По-перше, це форма виробленого струму. Найпростіші моделі виробляють змінний струм трикутної або навіть прямокутної форми (меандр).** Такий струм успішно використовують лише нагрівальні прилади, що не містять електронних блоків, і лампи розжарювання. Вся інша електротехніка (електромотори, трансформатори, люмінесцентні та енергозберігаючі лампи та ін.) **від струму подібної форми можуть або вийти з ладу, або не запуститися, або працювати, але дуже погано.** Дещо більш прийнятний струм трапецеїдальної форми. На щастя, в даний час інвертори, що виробляють на виході змінний струм таких форм, зустрічаються рідко. Найбільш часто сучасні інвертори видають у коло так званий **«модифікований синус»**, що представляє собою ступеневе наближення до синусоїдальної форми. Така форма струму цілком успішно використовується практично всіма сучасними побутовими пристроями та електроінструментами, але звук роботи деяких з них помітно змінюється і стає голоснішим, а блоки живлення можуть почати помітно «дзвеніти». Щоб усунути цю проблему, можна спробувати використовувати різні фільтри, що згладжують нерівності струму. Нарешті, існують інвертори, що виробляють струм, форма якого дуже близька **до ідеального синусу**. Єдиний недолік цього класу інверторів - вони трохи крупніше і в півтора-два рази дорожчі аналогічних інверторів з «модифікованим синусом».
- **По-друге, це ККД інвертора.** Чим він вищий, тим менше непродуктивні втрати енергії. **Більшість сучасних інверторів має ККД >90%.**
- **По-третє, це здатність інвертора працювати в режимі зарядки акумуляторів.** По суті, такий інвертор в комплекті з акумуляторами цікавий вже сам по собі, - навіть без сонячних батарей **він являє собою джерело безперебійного живлення (UPS)** - приблизно таке, яке використовують для комп'ютерів, але потужністю в кілька кіловат і ємністю в кілька кіловат-годин. При роботі з сонячними батареями ця особливість також дуже корисна - вона дозволяє зменшити запас потужності сонячних батарей і ємності акумуляторів для найбільш несприятливої ситуації, оскільки при нехватці сонячної енергії акумулятори можна зарядити від зовнішньої мережі або від аварійного генератора.
- **У четвертому що докладніша індикація тим краще.** Дуже бажана можливість контролю як вхідної напруги на акумуляторах так і вихідного в розетці. Крім того **необхідна наявність захисту від перевантаження і від короткого замикання в навантаженні.**
- **По-п'яте, дуже добре, якщо інвертор допускає короточасне перевищення номінального навантаження хоча б у півтора-два рази. Це дозволяє використовувати електромотори і нагрівальні прилади, потужність яких дорівнює номінальній потужності інвертора.** Справа в тому, що при їх включенні струм на секунду-другу істотно перевищує відповідний номінального режиму. Якщо захист інвертора налаштована строго на його номінальну потужність, то в цей момент вона може спрацювати і не дасть використовувати електроприлад, споживання якого насправді цілком укладається в рамки номінальної потужності за винятком короткого моменту включення.
- **У шосте, корисна функція, яка при повному заряді акумулятора підключає до окремої лінії додаткове навантаження,** скажімо водонагрівачі. У сонячні дні це дозволяє з користю автоматично утилізувати надлишок енергії і не допускати витрати енергії на другорядні цілі тоді, коли її мало. **І останнє.** За винятком якихось особливих випадків, при потужності споживання до 10 кВт **набагато зручніше використовувати не трифазну, а однофазну напругу.** Це спрощує розведення по будинку і усуває проблеми, пов'язані з розподілом фаз за споживачами. До того ж трифазні інвертори важче знайти, і вони складніше і дорожчі, ніж однофазні тієї ж потужності.

ВИБІР АКУМУЛЯТОРІВ

• Найбільш широко поширені акумулятори на 12 В, і саме з них зазвичай збираються акумуляторні батареї на будь-яку напругу, кратну цій величині, у тому числі 24, 48 і 96 В. Акумуляторний блок системи автономного електропостачання характеризується такими основними параметрами, як *робоча ємність, струм заряду і струм розряду*.

• *При робочій напрузі, що перевищує 12 В, кілька акумуляторів з'єднуються послідовно таким чином, щоб сума їх номінальної напруги відповідала необхідній номінальній напрузі блоку. Якщо сили струму або запасу енергії однієї такої збірки не вистачає, то кілька збірок з'єднуються паралельно, поки їх сумарні можливості не досягнуть необхідного порогу.*

• *Вибір типу*

• В даний час економічно виправданої альтернативи потужним *свинцево-кислотним акумуляторам* немає. Однак і цей клас акумуляторів має кілька різновидів (*гелевий, AGM*). Насамперед необхідно визначитися із загальною енергоємністю блоку акумуляторів. У більшості випадків можна сказати, що робочий енергетичний *запас такого блоку слід вибирати приблизно рівним розрахунковому середньодобовому електроспоживанню в мінімально прийнятному режимі*. Наприклад, для аварійного режиму це буде 2 кВт·год, для базового - 4 кВт·год, для помірною - 5 кВт·год і т. ін.

• *Розрахунок ємності акумуляторної батареї*

• Як вибрати ємність окремого акумулятора? Скажімо, *24-вольтний блок на 2 кВт·год можна зібрати з восьми 12-вольтових акумуляторів по 50 А·год, чотирьох по 100 А·год або двох по 200 А·ч*. В даному випадку *кращі 100-амперні акумулятори*. 200-амперні дуже громіздкі і важать 65 .. 75 кг, так що навіть пересунути їх поодиноці зовсім непросто, особливо в тісних незручних місцях. У той же час 50-амперні акумулятори потребують занадто великого числа з'єднань, а це збільшує трудомісткість монтажу і знижує надійність. *100-амперні акумулятори важать менше 40 кг, і їх не так складно підняти, поставити або пересунути одній людині*, при цьому число комутацій вдвічі менша, ніж при використанні 50-амперних, а сумарна ціна блоку акумуляторів буде трохи нижчою.

• Слід підкреслити, що це лише попередній вибір ємності, і її *обов'язково слід перевірити на відповідність параметрам заряду і розряду, заявленим виробником акумуляторів*. Саме вони мають пріоритетне значення.

ОСТАТОЧНИЙ ВИБІР ЄМНОСТІ

- **Сумарний струм зарядки, дорівнює максимальному струму сонячної батареї, він не повинен перевищувати зазначений виробником максимально допустимий струм заряду акумулятора, помножений на число паралельних збірок** (саме збірок, а не окремих акумуляторів). Ця умова може бути порушена, якщо сонячна батарея потужна, а блок акумуляторів занадто слабкий. Тоді **можливий** не тільки швидкий вихід акумуляторів з ладу, але навіть **їх вибух та загоряння!**
- З іншого боку, **занадто малий струм заряду не зможе повністю зарядити акумулятори**. Це відбувається тоді, коли ємність блоку акумуляторів занадто висока, а сонячна батарея має невелику потужність. При недовгій експлуатації це призведе лише до скорочення запасу енергії в акумуляторах, проте постійний недозаряд знижує ємність акумуляторів і скорочує термін їх служби.
- Нарешті, **струм, що споживає інвертор в режимі максимальної потужності, не повинен перевищувати гранично допустимий струм розряду акумуляторів, помножений на число їх паралельних збірок**. Для забезпечення більш комфортних умов роботи і хорошою енерговіддачі акумуляторів **бажано, щоб струм розряду в тривалому режимі не перевищував половину, а краще - п'яту частину максимально допустимого значення**.
- Точні значення струмів слід дивитися в документації на конкретну модель акумулятора, однак для попередніх прикидок можна прийняти такі величини цих струмів в амперах щодо ємності в ампер-годинах:
- **максимальний струм розряду чисельно дорівнює ємності і допустимий тільки в короткочасному режимі - менше хвилини;**
- **оптимальний струм розряду не перевищує 20% ємності** (для тривалого безперервного навантаження краще вкластися в 5 .. 10%, - скажімо, навантаження від освітлення становить менше 10%, а при включенні холодильника залишається в межах 20%);
- **оптимальний струм заряду становить 5 .. 10% від ємності;**
- **максимальний струм заряду не перевищує 20% від ємності** (іноді - до 30%).
- **Основним критерієм вибору ємності акумуляторів є струм заряду, оскільки саме він здійснює головний вплив на довговічність і безпечність їх експлуатації**. Виходячи з вищенаведених цифр, **сумарна ємність збірок акумуляторів в ампер-годинах повинна в 5 .. 10 разів перевищувати максимальний сумарний струм збірок фотоелектричних панелей в амперах** (не окремих акумуляторів і панелей, а саме їх збірок на номінальній низьковольтній напрузі системи). А вже в цих межах можна орієнтуватися на необхідний запас енергії. Деякі моделі акумуляторів дозволяють розширити межі допустимого діапазону ємностей блоку до 3 .. 20 разів від максимального виробленого струму панелей.

ВИБІР ПАНЕЛЕЙ ФОТОЕЛЕМЕНТІВ

- **При виборі панелей слід враховувати три фактори** - їх геометрію, номінальну вихідну напругу і тип фотоелементів.
- **Геометрія визначається конкретними умовами установки**, і тут важко дати загальні рекомендації крім однієї - якщо є можливість вибору між однією великою панеллю і декількома маленькими, **краще взяти велику** - більш ефективно використовується загальна площа і буде менше зовнішніх з'єднань, звідси вища надійність. Розміри панелей зазвичай не надто великі і не перевищують 1,5-2 м² при потужності до 200-250 Вт. **Для досягнення потрібних значень номінальної напруги і номінальної потужності панелі можна об'єднувати в послідовні збірки, які потім коммунуються паралельно** - аналогічно тому, як вище це показано для акумуляторів. Як і у випадку акумуляторів, в одній збірці слід використовувати тільки однотипні панелі.
- З напругою теж все просто - **краще вибирати 24-вольт панелі**, оскільки робочі струми у них удвічі менше, ніж у 12-вольтних тієї ж потужності. Панелі з номінальною напругою вище 24 вольт зустрічаються рідко і зазвичай збираються з більш низьковольтних. **12-вольтові панелі, виправдані лише у двох випадках - для малопотужних систем, де 12 вольт є робочою напругою інвертора, а також якщо за архітектурних або конструктивних міркувань необхідно використовувати панелі малого розміру.**
- При самостійній збірці панелей з окремих фотоелементів **не слід забувати про включення до кола захисних діодів**, які попереджають протікання зворотного струму при нерівномірній засвітці батареї. В іншому випадку потужність, вироблена освітленими секціями панелі, замість корисного навантаження буде виділятися на тимчасово затіненому фотоелементі, а це загрожує його перегрівом і повним виходом з ладу. **Допустимий струм захисних діодів повинен бути більшим, ніж струм короткого замикання захищається ланцюжка фотоелементів, що захищається, при максимальній освітленості.**
- Нарешті, треба вибрати **тип фотоелементів**. В даний час найбільш часто пропонуються фотоелементи на монокристалічному або полікристалічному кремнії. **Монокристалічний кремній зазвичай має ККД в районі 16-18%, а полікристалічний - 12-14%, проте він трохи дешевший.** Однак у готових панелях ціна за ват (тобто в перерахунку на вироблену потужність) виходить майже однаковою, і монокристалічний кремній може виявитися навіть вигіднішим. За таким параметром, як ступінь і швидкість деградації, різниці між ними практично немає. У зв'язку з цим **вибір на користь монокристалічного кремнію очевидний.** Крім того, часто **при зниженні освітленості монокристалічний кремній забезпечує номінальну напругу довше, ніж полікристалічний, а це дозволяє отримувати хоч якусь енергію навіть у дуже похмуру погоду і навіть у сутінках.** Однак у полікристалічного кремнію зазвичай нижча напруга холостого ходу (у монокристалічного вона може перевищувати номінал вдвічі). Але якщо підключати панель до інвертору й акумулятору не безпосередньо, а через контролер, підвищена напруга не має істотного значення.
- І останнє. Зазвичай **немає сенсу вибирати сумарну потужність панелей фотоперетворювачів більше потужності інвертора.** Тим не менш, **таке перевищення може бути виправданим при наявності потужного постійного навантаження і потужного блоку акумуляторів або в розрахунку на тривалі періоди похмурої погоди.**

ЯКА ПЛОЩА ПОТРІБНА ДЛЯ СЕС?

- Розмір площі, яка буде потрібна для розміщення сонячної електростанції - один з важливих параметрів для проведення проектування ФЕС. При цьому слід розуміти, що розмір площі знаходиться практично в прямій залежності від максимальної потужності сонячної станції - чим більше фотоелектричних модулів (сонячних батарей) буде змонтовано, тим більше буде потужність, але і тим більша площа буде потрібно для їх установки. *Щоб побудувати сонячну станцію потужністю 10 кВт, буде потрібно встановити 40 сонячних модулів потужністю 250 Вт. З огляду на те, що площа одного модуля - 1,6 кв.м, відповідно, для монтажу всієї системи, що складається з 40 модулів, буде потрібно близько 65 кв.м.* Крім того, до цієї площі доведеться додати *технологічні проходи*. Плюс - відстань між окремими модулями, щоб запобігти взаємне затінення панелей. З урахуванням всіх допусків, *для монтажу сонячної електростанції потужністю 10 кВт потрібно площу близько 75 кв.м.*
- Узагальнюючи результати, відзначаємо необхідну площу для установки сонячної електростанції потужністю 10 кВт в залежності від методу монтування сонячних модулів:
 - Дахова скатна СЕС - 75 кв.м.
 - Дахова СЕС при установці на плоский дах - 125 кв.м.
 - ФЕС на статичних наземних конструкціях - від 170 до 200 кв.м.
 - Для СЕС, які використовують одновісні трекерні системи - від 230 кв.м
- <https://rent techno.ua/blog/ploscha.html>

ВИБІР КОНТРОЛЕРА

- У сучасних системах **контролер** заряду стоїть між сонячною батареєю і акумуляторами. *Його головне завдання - це нормувати напругу, що виробляється панелями фотоелементів, до напруги, необхідної для заряду акумуляторів з урахуванням їх поточного стану, у тому числі відключаючи їх від фотоелементів при повній зарядці щоб уникнути перезаряду* (перезаряд запобігається за напругою, але не за струмом). Найпростіші варіанти просто підключають і відключають батареї, а найбільш просунуті здатні навіть «підтягти» занадто низьку напругу, що вироблена панелями фотоелементів при слабкому освітленні, до необхідного рівня за рахунок зменшення струму.

Типи контролерів заряду

- При правильному виборі панелей великої необхідності в підвищенні напруги немає. *Набагато важливіше зниження відносно високої «оптимальної» напруги фотоелектричної батареї, що відповідає максимальній виробленій потужності, до нижчого рівня, необхідного для зарядки акумуляторів, перетворивши надлишок напруги в додатковий струм і забезпечивши повне використання номінальної потужності батареї.* Як вже говорилося вище, при прямій комутації виходу панелі фотоелементів на акумулятори через неоптимальне навантаження напруга може «просідати» нижче оптимуму на 15 .. 40%, через що **втрати потужності можуть досягати 25%**.

- **Технологію, що запобігає таким втратам, деякі виробники контролерів називають MPPT** (Maximum Power Point Tracking - відстеження точки максимальної потужності). Вона полягає в постійному вимірюванні виробленого панелями струму і напруги і забезпеченні їх оптимального співвідношення, яке залежить, зокрема, і від часу доби, і від поточної ситуації на небі (виглянуло сонце чи набігла хмара). Це дозволяє досягти оптимального використання потужності батарей практично у всіх режимах роботи і **зменшити втрати до 3%**. Однак вартість таких контролерів перевищує вартість найпростіших моделей в кілька разів. Тому в малопотужних системах може виявитися вигідніше придбати зайву панель на 100 .. 200 Вт і обмежитися простим контролером заряду, але не переплачувати за MPPT.

- В якості додаткової опції *деякі контролери можуть відключати низьковольтне навантаження при дуже великому розряді акумуляторів.* Однак ця функція теж не дуже актуальна, оскільки багато сучасних інверторів роблять те ж саме, але для всієї підключеної до них потужності, а потужність контролерів заряду дуже обмежена.

ВИБІР ПОТУЖНОСТІ КОНТРОЛЕРА

• *Найбільш поширені контролери, розраховані на струм в 10 .. 20 А, іноді на 30 А. Більш потужні контролери зустрічаються рідше і коштують значно дорожче. Тим не менш, цілком **можливо об'єднати декілька не дуже потужних контролерів паралельно, підключивши кожен з них до своєї групи фотоелектричних панелей**. Така схема має деякі незручності, але в більшості випадків цілком прийнятна. Втім, консультація у продавця (а краще - у виробника) не завадить, оскільки конкретні моделі контролерів можуть мати особливості, що не дозволяють подібне підключення (це особливо актуальне для контролерів із МРРТ та інтелектуальних контролерів, що міняють режим заряду в міру зарядки акумулятора).*

• ***При підключенні панелей до контролера треба стежити, щоб їх сумарний максимальний струм не перевищував 75% .. 85% від номінального струму контролера**. Наприклад, для 20-амперного контролера сумарний струм повинен становити не більше 15 .. 17 А. Цей запас необхідний для того, щоб контролер міг витримати надлишкову енергію, наприклад, в ясний зимовий день, коли білий сніг, відмінно відбиває світло, і сприяє перезасвічуванню фотоелементів в порівнянні з розрахунковим, а помірний мороз трохи підвищує їх ККД. Таким чином, **до одного 20-амперного контролера можна підключити панелі на 24 В сумарною потужністю 600 Вт, а на 12 В - всього 300 Вт**.*

РОЗРАХУНОК СЕРЕДНЬОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ СБ

• Існує досить проста методика, що дозволяє розрахувати *середню кількість енергії, яка виробляється сонячними панелями за рік*. Щоб провести розрахунки скористаємося формулою:

$$E [\text{кВт} \cdot \text{ч}] = \frac{I \left[\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2} \right] \times K_o \times V_{\text{модуля}} [\text{кВт}] \times K_{\text{пот}}}{U_{\text{испыт}} \left[\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2} \right]};$$

• де I - сонячна енергія, яка потрапляє на горизонтальну поверхню Землі. Значення можна вибрати, скориставшись картою інтенсивності сонячної радіації; K_o - поправочний коефіцієнт перерахунку сумарного потоку сонячної енергії з горизонтальній площині на поверхню батареї. Дані можна взяти з наступної таблиці. $V_{\text{модуля}}$ - номінальна потужність сонячної батареї. Вказується в паспортних даних модуля; $K_{\text{пот}}$ - коефіцієнт, що враховує втрати сонячної батареї при перетворенні і передачі електроенергії; $U_{\text{испыт}}$ - інтенсивність сонячної радіації, при якій фотоелектричні модулі тестуються, тобто 1000 Вт/м^2 (1 кВт/м^2).

РОЗРАХУНОК СЕРЕДНЬОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ СБ

- Втрати енергії в сонячних батареях
- Загальні втрати енергії* при перетворенні сонячного випромінювання в фотоелектричній системі включають в себе: *втрати в дротах - 1%; втрати в інверторі - 3-7%; втрати пов'язані з ростом температури модуля - 4-8%; втрати в процесі роботи сонячної батареї в період низького рівня сонячного випромінювання - 1-3%; втрати пов'язані з затінюванням і забрудненням сонячних панелей - 1-3% (в разі неоптимального орієнтування ці втрати можуть бути значно вище); втрати на шунтуючих діодах - 0,5%.*
- При оптимальній компоновці устаткування ефективність сонячної системи в 85% вважається дуже хорошою. На практиці можливі випадки, коли *загальні втрати можуть сягати значення 25-30% через погану якість обладнання або неправильний підбір елементів системи чи інші фактори.*

СУМАРНА ВАРТІСТЬ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ РІЗНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Бажаючи встановити сонячну електростанцію на даху свого будинку зіткнуться з 3 наступними кроками, які вимагають витрат:

- 1. Придбання обладнання - становить приблизно 90% від сумарної вартості.
- 2. Монтаж і налаштування - приблизно 10% від сумарної вартості.
- 3. Документальний супровід і оформлення «зеленого тарифу». Більшість компаній, які займаються реалізацією та монтажем сонячних електростанцій включають документацію в пакет послуг і беруть на себе зобов'язання з оформлення «зеленого тарифу» безкоштовно.

Сумарна вартість електростанцій різної потужністю:

- 1. ***Автономна сонячна електростанція на 3 кВт (+ акумулятори на 3 кВт/год) - від 4 до 5 тис. доларів.***

Для довідки: 3 кіловатна автономна СЕС підійде для невеликих дачних будинків. За рік подібна станція буде генерувати близько 3,5 тис. кВт/год, а акумулятори забезпечать енергією роботу основних (малопотужних) приладів в дачному будинку. При наявності підключення до мережі (обленерго), надлишки енергії можна продавати державі за «зеленим» тарифом.

- 2. ***Сонячна електростанція на 10 кВт (без акумуляторів, тільки для продажу електроенергії) - від 10 до 13 тис. доларів (залежить від обладнання і рівня послуг сервісу).***

Для довідки: 10-кіловатна СЕС може за рік виробити 11-12 тис. кВт годин. У грошовому виразі це приблизно € 1800/рік (після оподаткування, за умови отримання «зеленого» тарифу в 2016 році і за відсутності власного споживання). ***Площа панелей - близько 70 м².***

- 3. ***Сонячна електростанція на 30 кВт (без акумуляторів, тільки для продажу електроенергії) - від 28 до 34 тис. доларів.***

Для довідки: 30-кіловатна СЕС може за рік виробити до 35 тис. кВт годин. У грошовому виразі це близько € 5400/рік (після оподаткування, за умови отримання «зеленого» тарифу в 2016 році і за відсутності власного споживання). ***Площа панелей приблизно - 210 м².***

Строк окупності 5-6 років

InSPA

- Індійський прем'єр-міністр Нарендра Моді ініціює створення ***агентства з сонячної політики*** (InSPA). Вже 110 країн отримали запрошення вступити в цей міжнародний альянс. Пропозиція вже підтримали деякі африканські країни, а також Нова Зеландія, Австралія, Китай і Бразилія.
- За словами самого Нарендра Моді, нова міжнародна структура буде, як правило, складатися з країн, клімат і географічне положення яких є найбільш сприятливим для генерації електрики з сонячної енергії.
- Головна мета альянсу - ***зробити сонячну енергію невід'ємною частиною життя людей***, щоб найбільш віддалені села і громади стали користуватися благами цивілізації».
- ***Офіційно представити і запустити роботу агентства планують під час кліматичної конференції в Парижі 30 листопада поточного року.***

МОНТАЖНИКИ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В УКРАЇНІ

ТОВ "Еліос Стратегія"

Дніпропетровська обл.

Богдан Кузишин

Івано-Франківська обл.

ТОВ "КБ Енерджи"

Київська обл.

ВІНВІНБУД

Житомирська обл.

ІМЦ Теплоціль

Львівська обл.

Greenlogic

Київська обл.

SunNik

Миколаївська обл.

ЕКО СИСТЕМ

Львівська обл.

SOLAR-GROUP

Дніпропетровська обл.

Правильне електроживлення

Львівська обл.



<http://joule.pro>
*Знайдіть спеціалістів
галузі енергетики без
посередників*

<http://odessasolar.org/#m-home>
Odessasolar - сервіс, який
дозволяє оцінити потенціал
використання сонячної енергії в
приватному секторі.

ПРОЕКТ «SUNROOF»

- http://www.popmech.ru/gadgets/195961-proekt-sunroof-gugl-pomozhet-opredelit-nado-li-vam-stavit-solnechnye-batarei/?utm_source=facebook.com&utm_medium=social&utm_campaign=targetings-PopMechanica&utm_content=instant#0_5_294_12870079
- *Проект «Sunroof»: «Гугл» допоможе визначити, чи потрібно вам встановлювати сонячні батареї*
- Системи кріплення «Solar Beast» -універсальні системи для монтажу фотоелектричних модулів на ділянках зі складним рельєфом, покрівлях і відкритих майданчиках.
- <http://albatros.ua/sistemyi-krepleniya-solar-beast/>
- <https://enertime.com.ua/stoimost-uvelicheniya-elektricheskoy-moshhnosti-dlya-zelenogo-tarifa/>

"Кам'яний вік закінчився не через брак каміння, і нафтовий вік закінчиться набагато раніше, ніж в світі вичерпається нафта".

Міністр нафти Саудівської Аравії
Ахмед Ямані

Навчальне видання

КУРС ЛЕКЦІЙ

з дисципліни «Електронні системи в геліоенергетиці»
для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»
спеціальності 171 «Електроніка»
освітньої програми «Електронні системи»
усіх форм навчання

Відповідальний за випуск А. С. Опанасюк
Редактор А. С. Опанасюк
Комп'ютерне верстання О. А. Доброжан

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 13,02. Обл.-вид. арк. 10,74.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет.
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.