



**Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»**



**СУЧАСНІ ТЕОРЕТИЧНІ ТА
ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ В
ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ТА
ІНЖЕНЕРІЇ : ЛК 9**

Лектор - проф. Сахненко М.Д.

Харків 2026

Енергетична незалежність України

Чинники і складові

- Атомна енергетика
- Нафтогазова галузь : видобування, транспортування, раціональне споживання,...
- Вугілля та інші поклади : торф, деревина,...
- Гідроелектростанції
- ТЕЦ (похідна)
- Вітрова енергетика
- Сонячна енергетика
- Електрохімічна енергетика: акумулятори, первинні ХДЕЕ, паливні комірки, проточні ХДЕЕ
- Воднева енергетика згідно парадигмі : воднева обробка, воднева енергетика, воднева економіка
- PS. Африканські напрацювання

Відновлювана енергетика в Україні

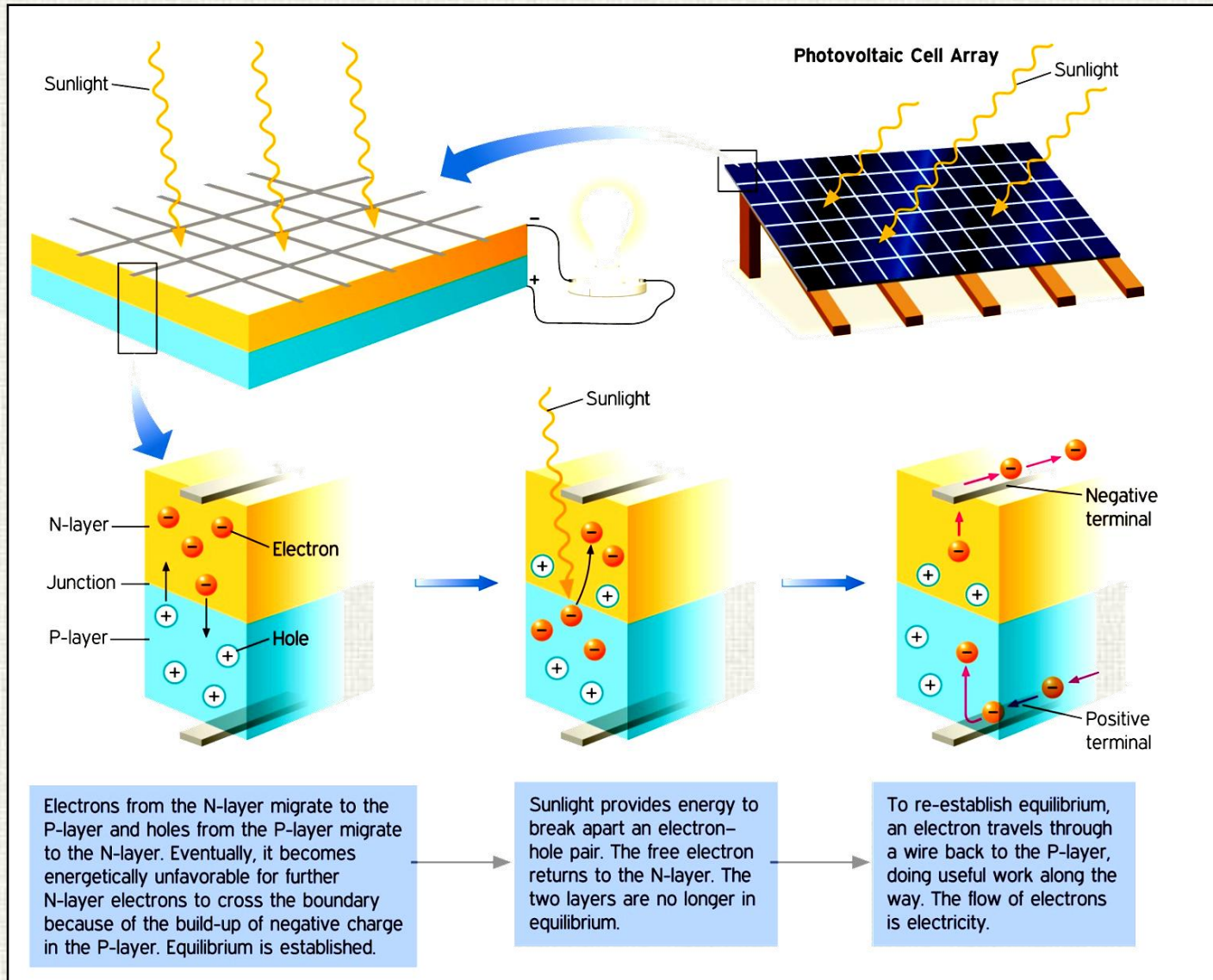
- Світова енергетична криза, яка стала відчутною ще в кінці минулого століття, спонукала цивілізовані країни всього світу вдатись до пошуку альтернативних і нетрадиційних джерел енергії. Вчені повернулись до вивчення всіх можливостей енергії сонця, вітру, землі. Пріоритетом стає використання власних вторинних та альтернативних джерел енергії та одночасне вирішення актуальних екологічних проблем. Світовий досвід показує, що прогресу досягають там, де цінують інтелектуальну діяльність та уміло її використовують.

- В 2021 році проходив 4-ий Форум інвесторів у відновлювану енергетику в Україні – Renpower Ukraine Investors Forum 2021, організований компанією Euroconvention Global за партнерством провідних асоціацій України з відновлюваної енергетики, включно з Українською вітроенергетичною асоціацією. Renpower є однією із найбільших глобальних платформ, що представлена в понад 50 країнах, і є одним із найавторитетніших форумів, присвячених відновлюваним джерелам енергії в Україні. Учасники у дискутували щодо «зелених» аукціонів, запланованих на 2021 рік; технологічних можливостей для України в рамках «зеленої» угоди ЄС; майбутнього проєктів з «зеленого» водню та накопичувачів енергії в Україні. Багато уваги було приділено питанню вирішення фінансової кризи в секторі відновлюваної енергетики.

Альтернативна енергетика

- Впровадження енергозберігаючих технологій та використання альтернативних джерел енергії, таких як енергія сонця, вітру, геотермальної енергії Землі – це запорука помітного зменшення використання газу, нафти, вугілля, мазуту в промисловості, соціальній та комунальній сфері.
- **Альтернативна енергетика** – сукупність перспективних способів отримання, передачі та використання енергії (найчастіше – з поновлюваних джерел), які розповсюджені не так широко, як традиційні, проте являють інтерес через вигідність їх використання при низькому ризику заподіяння шкоди навколишньому середовищу.
- Основним напрямком **альтернативної енергетики** є пошук та використання альтернативних (нетрадиційних) джерел енергії.
- **Альтернативне джерело енергії** є відновлюваним ресурсом, що замінює собою традиційні джерела енергії, які функціонують на нафті, природному газі та вугіллі, а при згорянні виділяють в атмосферу вуглекислий газ, який сприяє зростанню парникового ефекту і глобальному потеплінню. Причина пошуку альтернативних джерел енергії – потреба отримувати її з енергії поновлюваних або практично невичерпних природних ресурсів та явищ.

Фотовольтаїка



Фотовольтаїка в пустелі



Фотовольтаїка в місті



Харків – вулиця Гоголя



СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ



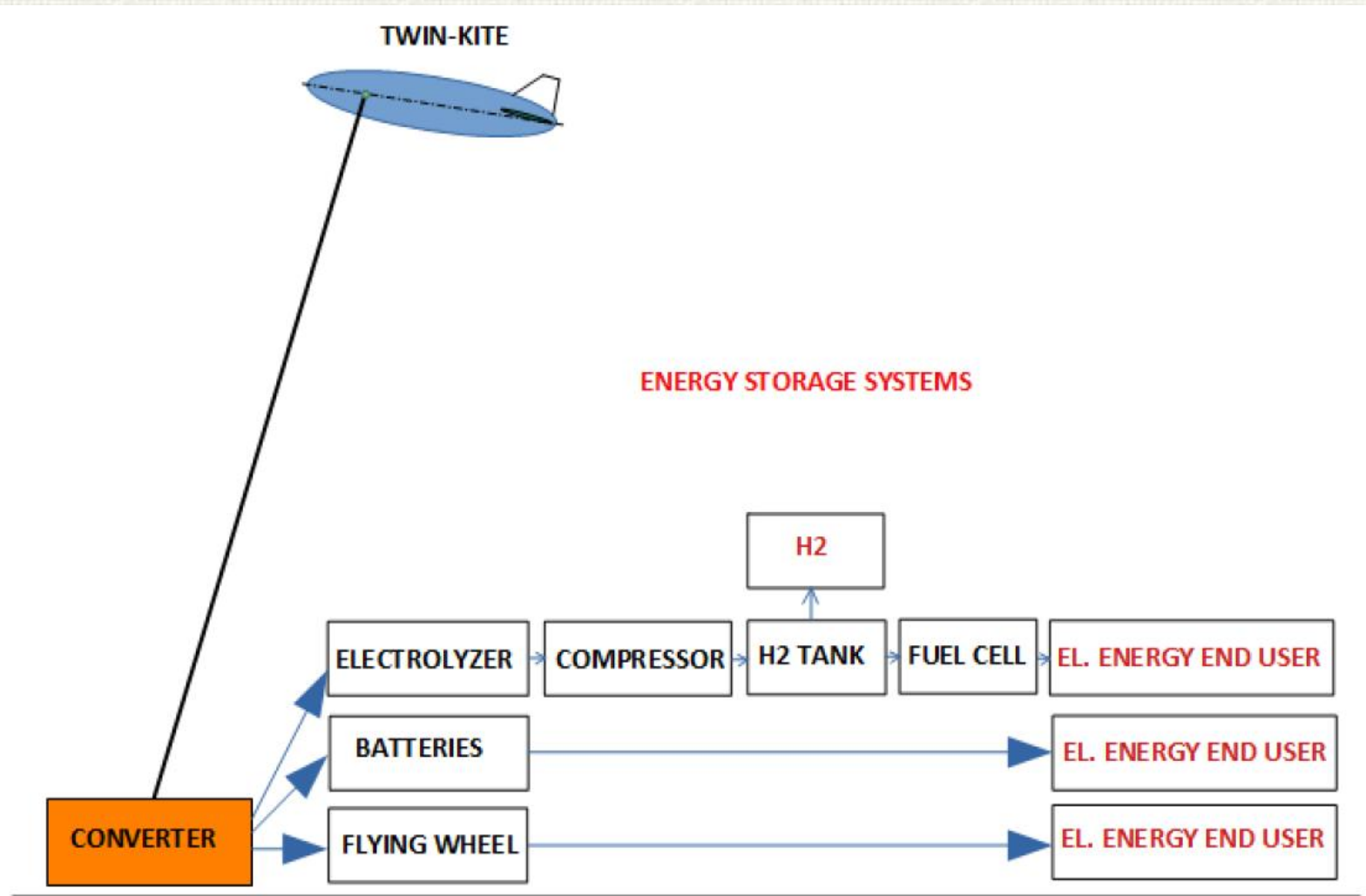
Вітрогенератори



«Прискорення зеленого переходу та доступу до енергії в Африці».

- У цій сфері метою є проєктування острівних енергетичних станцій (ISEN) для автономних районів та сіл в африканському контексті, щоб вирішити проблеми доступу до чистої води та електроенергії місцевого населення, а також стимулювати економічну та сільськогосподарську діяльність використовуючи інноваційні технології збору вітрової та сонячної енергії.
- Відомий літальний апарат, оснащений крилами, що використовують енергію вітру та сонця для вироблення електроенергії. На осі пристрою два кінці корпусу залишаються відкритими, а всередині встановлено ряд лопатей вентилятора, які підключені до генератора енергії. З іншого боку, на крилах розміщені гнучкі фотоелементи для вироблення сонячної енергії. Сонячні та вітрові енергетичні установки працюють одночасно, а електроенергія передається на землю за допомогою кабелю. Вертикальний рух літального апарата не використовується для вироблення енергії.

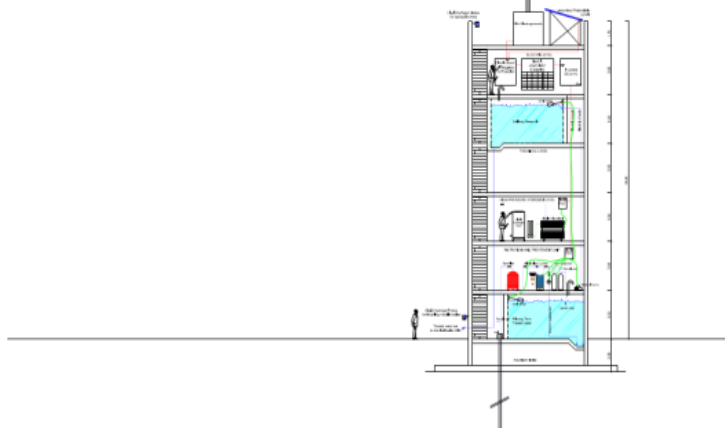
ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНА СИСТЕМА TWIN KITE



ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНА СИСТЕМА TWIN KITE

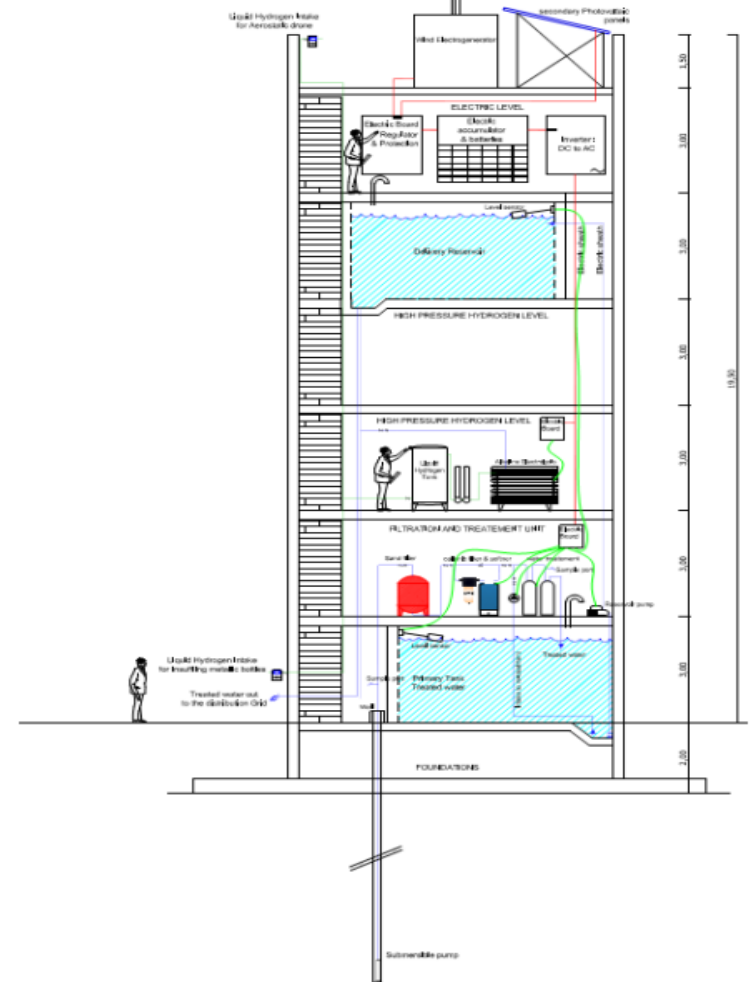


HIGH ALTITUDE WIND HARVESTER
AND RAISED RESERVOIR FACILITY

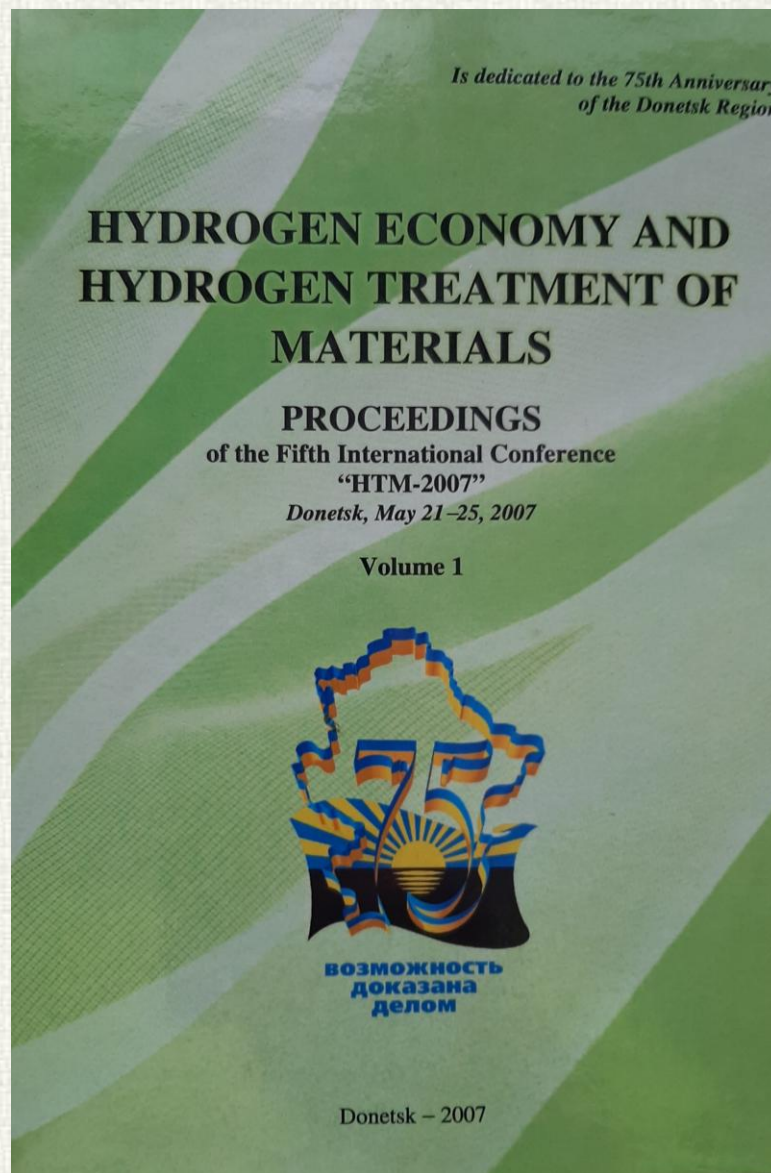


The tower is presented as shown in these drawings:

HIGH ALTITUDE WIND HARVESTER
AND RAISED RESERVOIR FACILITY



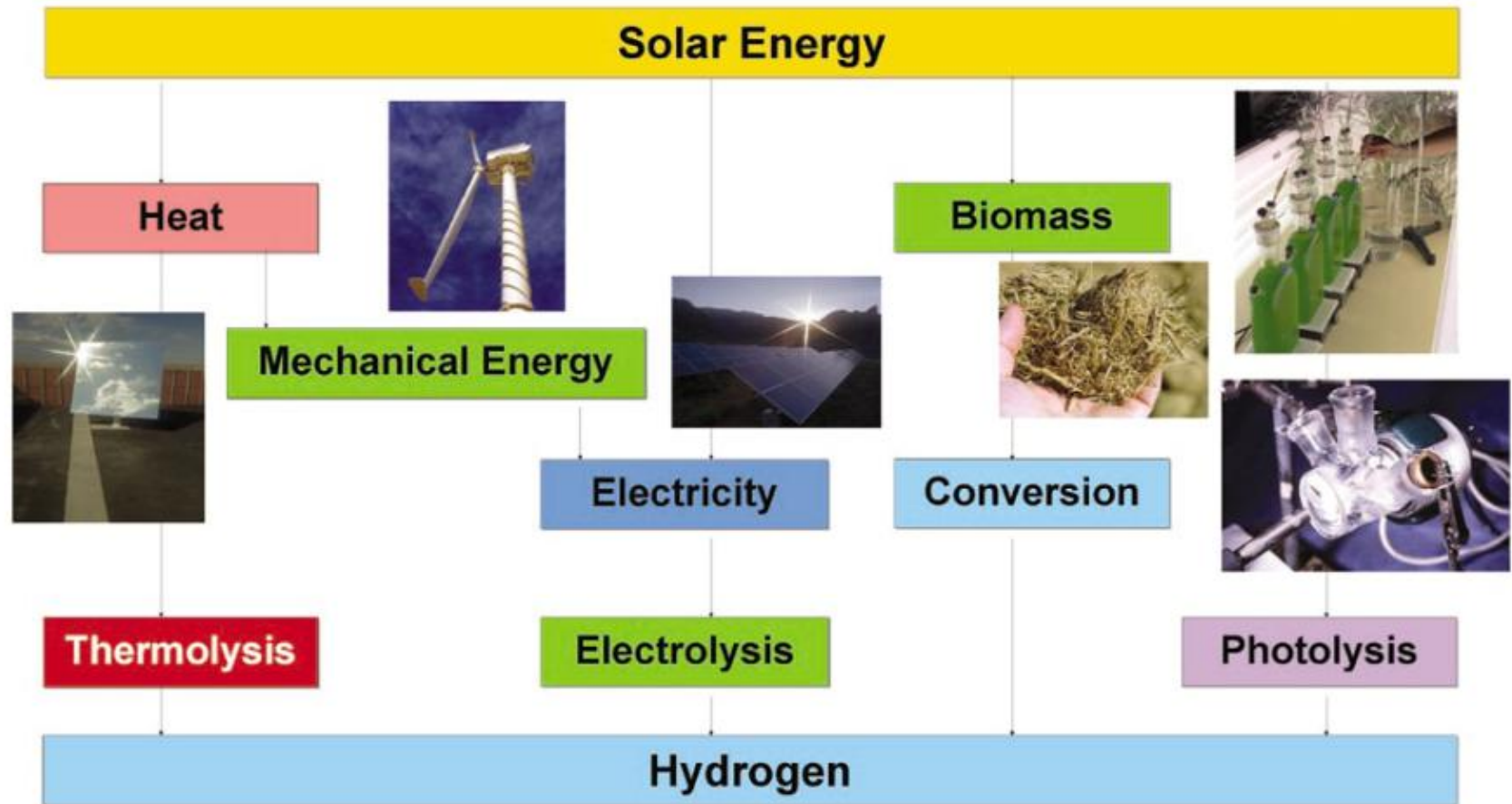
Воднева енергетика



Моделі централізованого продукування водню

- Парова конверсія природного газу
- Газифікація вугілля
- Термохімічне розкладання води з використанням енергії високотемпературного ядерного реактора
- Електроліз води
- Використання сонячної енергії
- Використання вітрової енергії

Шляхи продукування водню



«Розумний дім» майбутнього

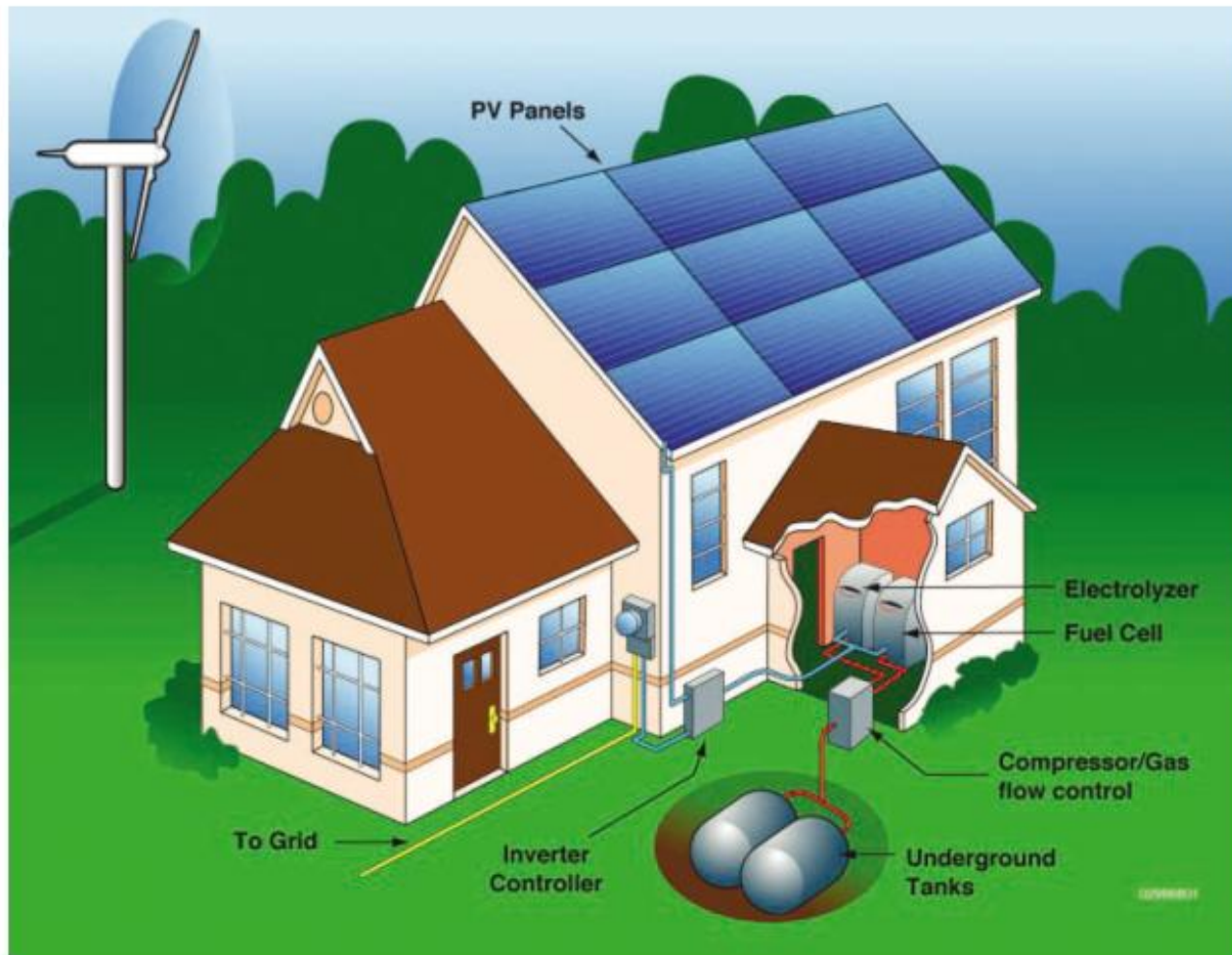


Fig. 8. Artist's rendering of a futuristic home powered by renewable hydrogen from wind and solar energy.

Водень: джерела первинної енергії, перетворювачі енергії та застосування



Паливні елементи

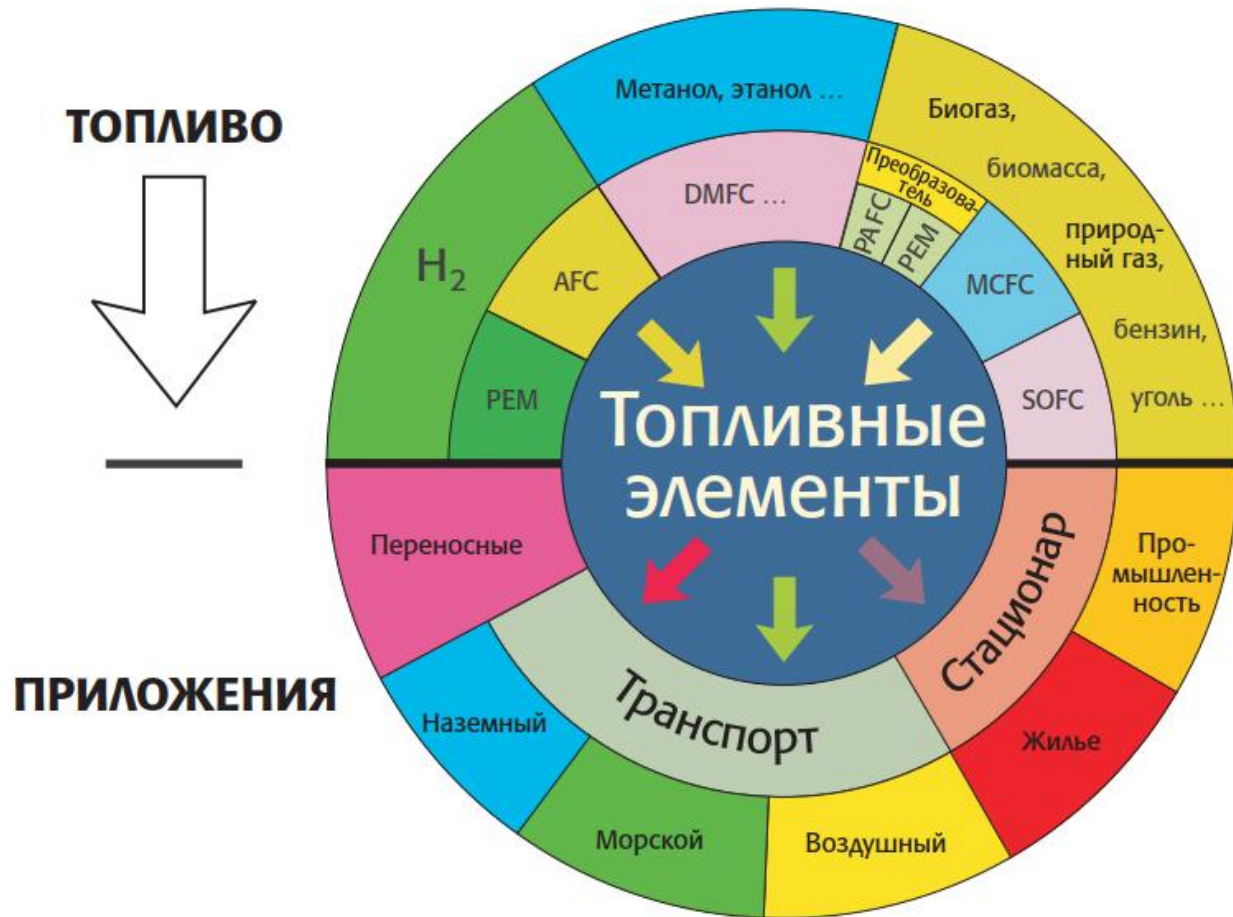


Рис. 2: Технологии топливных элементов, предлагаемые топлива и приложения.

Примечание: Размер "секторов" не имеет связи с существующими или ожидаемыми рынками.
PEM – Топливный элемент с протон-обменной мембраной (Proton Exchange Membrane Fuel Cell);
AFC – Щелочной топливный элемент (Alkaline Fuel Cells);
DMFC – Топливный элемент прямого действия на метаноле (Direct Methanol Fuel Cell);
PAFC – Топливный элемент на фосфорной кислоте (Direct Methanol Fuel Cell);
MCFC – Топливный элемент на расплаве карбоната (Molten Carbonate Fuel Cell);
SOFC – Топливный элемент на твердом окисле (Solid Oxide Fuel Cell).

Євровізія проблеми

Європейське видіння проблеми водородної енергетики

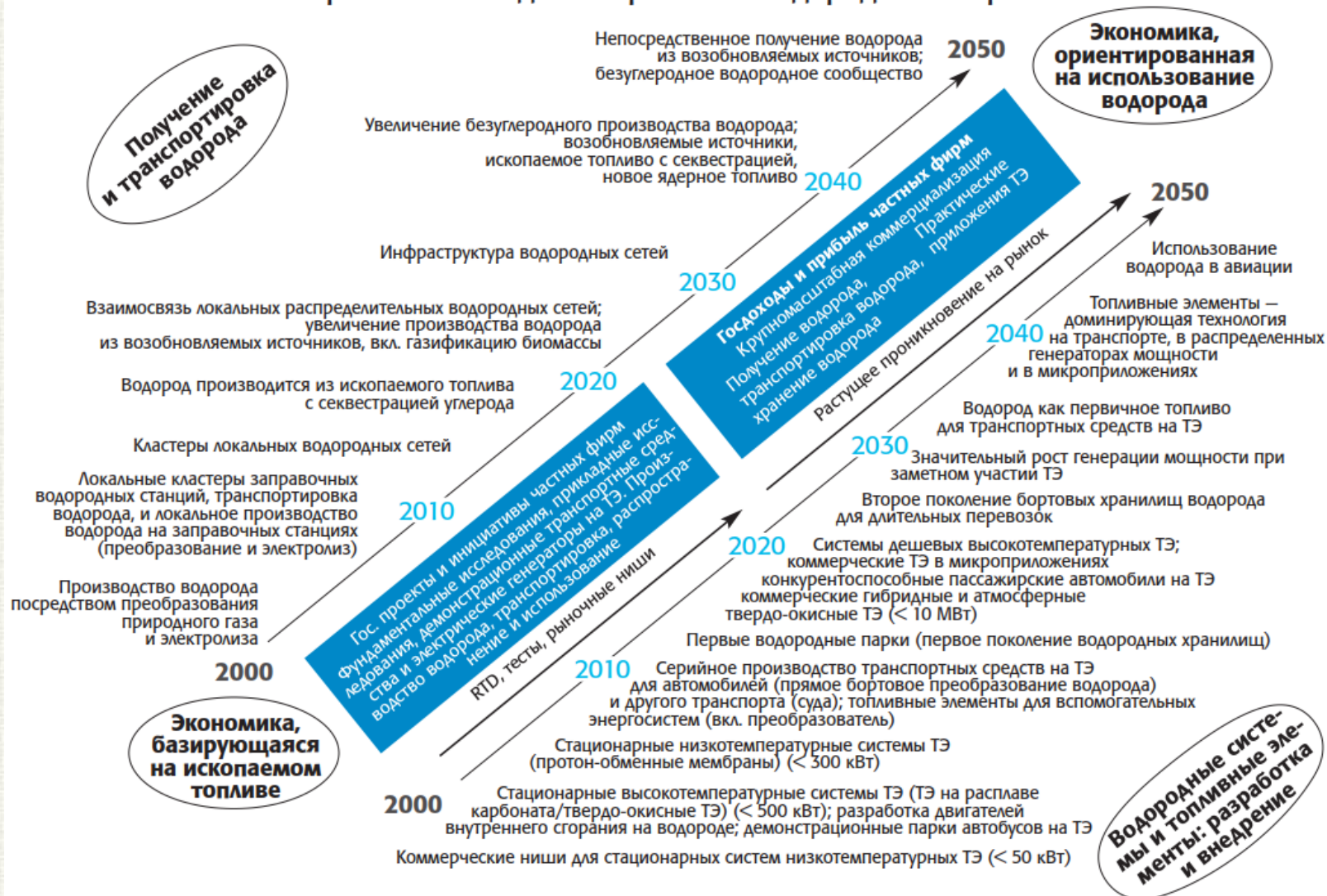


Рис. 4. Схема европейского проекта по водородной энергетике и топливным элементам

Технології виробництва водню

Технологія получения водорода	Преимущества	Препятствия
<i>Електролиз</i> : розложение воды електрическим током	Устоявшаяся и коммерчески доступная технология; детально изученный промышленный процесс, допускающий модуляцию; высокая чистота конечного продукта, удобен для получения водорода от воспроизводимых энергоисточников, компенсирует периодическую природу некоторых источников возобновляемой энергии	Конкуренция с прямым использованием возобновляемой електроэнергетики
<i>Реформинг (стационарный и на транспорте)</i> : тепловое разложение углеводородного топлива паром	Хорошо изучен в больших масштабах; детально изученный и широко распространенный процесс; низкая стоимость продукта из природного газа; возможность комбинации с секвестрацией двуокиси углерода ("углеродное хранение")	Маломасштабные устройства не имеют коммерческого значения; конечный продукт содержит примеси, требуется газоочистка для некоторых приложений; выбросы двуокиси углерода; дополнительные затраты на секвестрацию двуокиси углерода; первичное топливо может использоваться непосредственно
<i>Газификация</i> : разложение тяжелых углеводородов и биомассы на водород и газы для последующего реформинга	Технология хорошо изучена для тяжелых углеводородов в больших масштабах; может быть использована для твердых и жидких топлив; возможные синергетические связи с синтетическими топливами в виде биомассы — продемонстрирована газификация биомассы	Маломасштабные устройства редки; конечный продукт требует интенсивной очистки перед использованием; биомасса используется в качестве удобрения; процесс до конца не изучен; конкуренция с синтетическими топливами из биомассы
<i>Термохимические циклы</i> , использующие дешевое высокотемпературное тепло ядерных реакторов или концентрированной солнечной энергии	Принципиально возможно производство больших объемов при низкой стоимости и без выброса парниковых газов для тяжелой промышленности и транспорта. Существует международное сотрудничество (США, Европа и Япония) в области исследований, разработок и внедрения	Процесс сложен, еще не имеет коммерческого значения, требуются долговременные исследования (порядка 10 лет) материалов, усовершенствования химической технологии; требуется высокотемпературный ядерный реактор (ВТЯР) или солнечные концентраторы
<i>Биологическое производство</i> : при некоторых условиях водоросли и бактерии вырабатывают водород	Потенциально большой ресурс	Малая скорость накопления водорода; нужны большие площади; наиболее подходящие объекты еще не найдены; исследования продолжаются

Технології зберігання водню

Технологія хранения водорода	Преимущества	Препятствия
<i>Баллоны со сжатым газом</i>	Технология хорошо изучена до давлений 200 бар; в общем — доступна; могут иметь низкую стоимость	Только небольшой объем производимого конечного продукта хранится в баллонах при 200 бар; плотность запасаемой энергии при высоких давлениях (700 бар) сравнима с получаемой при использовании жидкого водорода, но все еще ниже, чем для бензина и дизельного топлива; технология хранения при высоких давлениях до конца не разработана
<i>Жидкостные баки</i>	Технология доступна; возможно достижение высокой плотности	Очень низкие температуры потребуют наличия суперизоляции; стоимость может оказаться высокой; возможны потери водорода на испарение; высокая энергозатратность сжижения водорода; запасенная энергия все еще меньше энергии сжиженного ископаемого топлива
<i>Гидриды металлов</i>	Ряд технологий известен; хранение в твердой фазе; термические эффекты могут использоваться в подсистемах	Большой вес; деградируют со временем; в настоящее время дороги; для заполнения требуется система охлаждения
<i>Химические гидриды</i>	Хорошо известны обратимые реакции образования гидридов, например, NaDH	Проблемы утилизации отходов и создания инфраструктуры
<i>Углеродные структуры</i>	Технологии могут обеспечить высокую плотность хранения; могут оказаться дешевыми	Не до конца разработаны; первоначальные надежды не оправдались

ПЕРСПЕКТИВЫ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ В УКРАИНЕ

Козин Л.Ф.^{*}, Волков С.В.

Институт общей и неорганической химии им. В.И. Вернадского НАН Украины

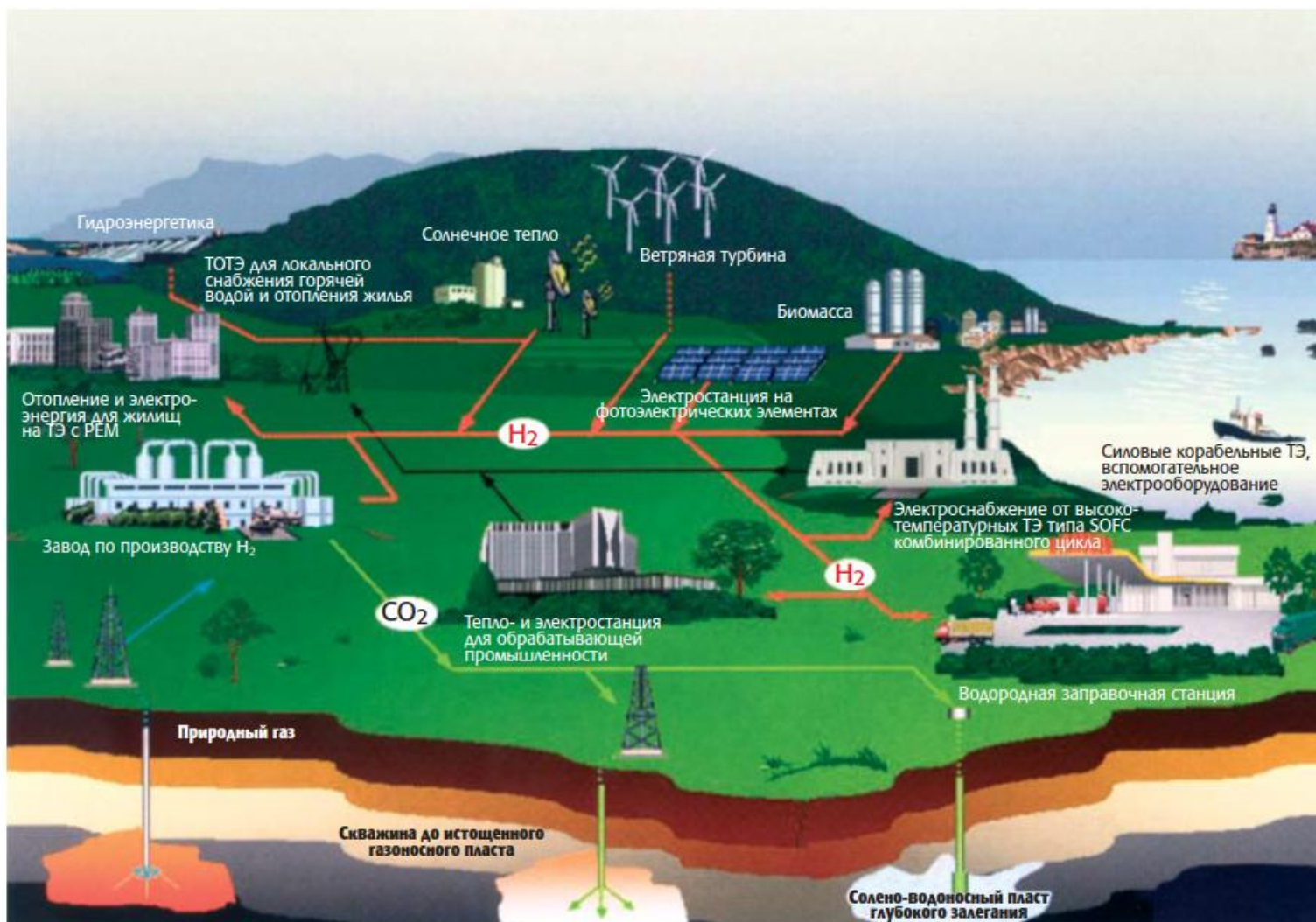
необходимо разрабатывать новые неорганические энергоносители, например, восстанавливая водород из воды, запасы которой в Украине и мире безграничны и возобновляемые. Водород из воды можно выделять в газообразном виде, компримировать и хранить в газгольдерах или сжигать и содержать его для подачи потребителю в специальных емкостях. Известно 10 методов получения водорода [1, 2]. Нам представляется, что в будущем водород будут получать тремя методами: с помощью энергоаккумулирующих веществ (ЭАВ), электролизом (энергия АЭС) и фотоэлектролизом (в южных регионах Украины и южных странах).

Многие методы получения водорода малопродуктивны (фотоэлектролиз), используют углеводороды (природный газ, нефть) или требуют больших капитальных затрат (электролиз). Поэтому нам представляется более перспективной концепция энергоаккумулирующих веществ, которые можно многократно окислять и восстанавливать, т.е. использовать в качестве рабочего тела при получении водорода и

Литература

1. Козин Л.Ф., Волков С.В. Современная энергетика и экология. Проблемы и перспективы. – Киев: Наукова думка, 2006. – 775 с.
2. Козин Л.Ф., Волков С.В. Водородная энергетика и экология. – Киев: Наукова думка, 2002. – 336 с.

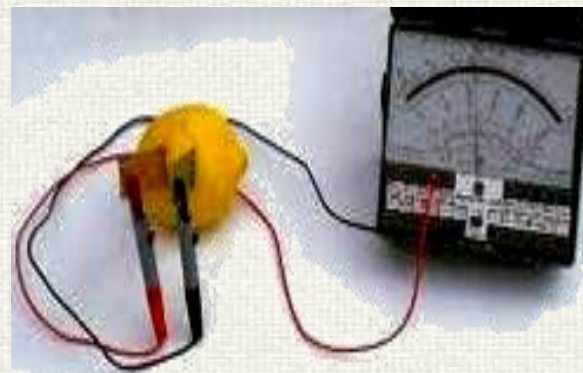
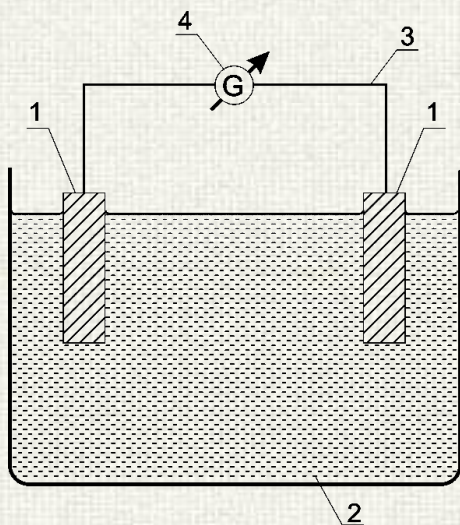
Интегрированная энергетическая система



Вот как выглядит интегрированная энергетическая система будущего – комбинация больших и малых топливных элементов для местного и децентрализованного производства тепла и электричества. Локальные водородные сети могут также быть использованы для обычных транспортных средств и транспорта, базирующегося на топливных элементах.

PEM – Топливный элемент с протон-обменной мембраной (Proton Exchange Membrane Fuel Cell); SOFC – Топливный элемент на твердом окисле (Solid Oxide Fuel Cell).

Хімічні джерела електричної енергії



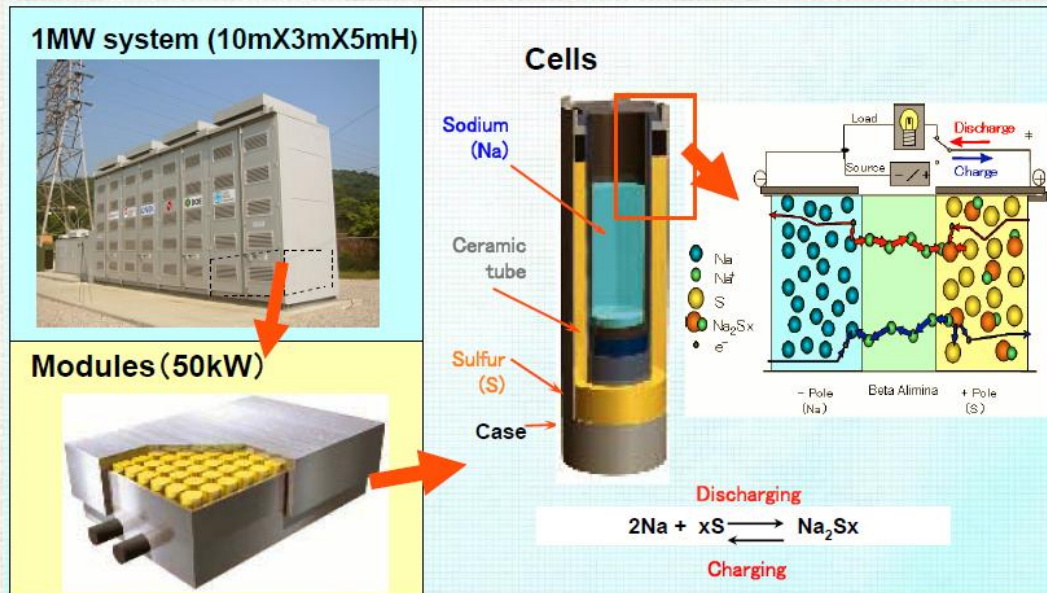
Класифікація ХДЕЕ:

Первинні (неперезаряджувані) – гальванічні елементи;

Вторинні (перезаряджувані) – акумулятори;

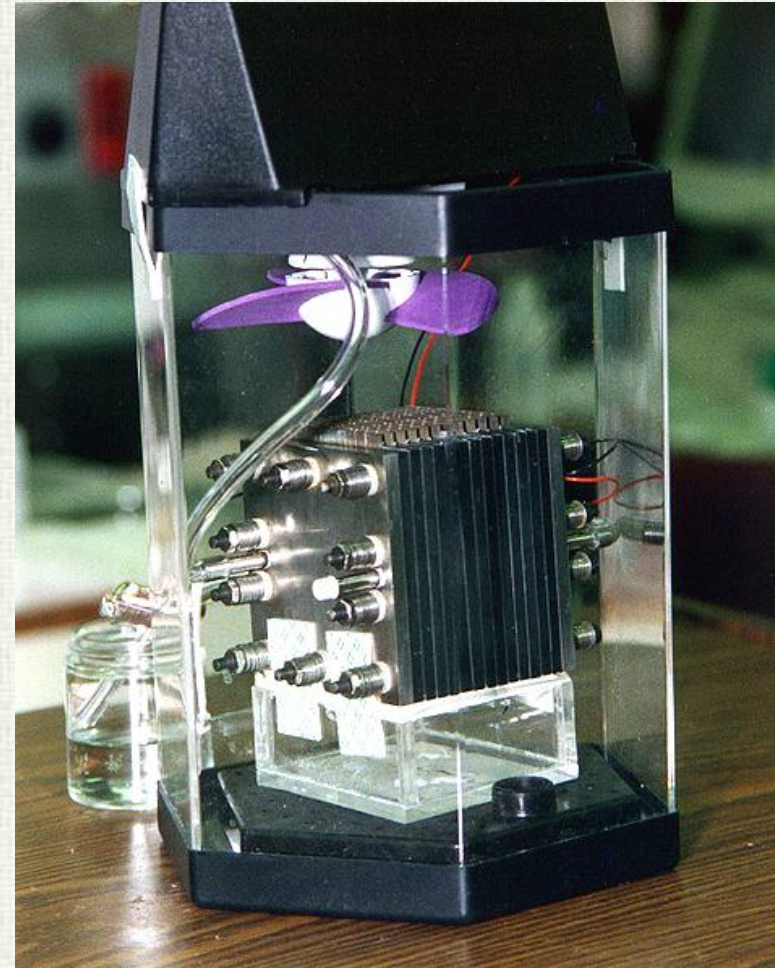
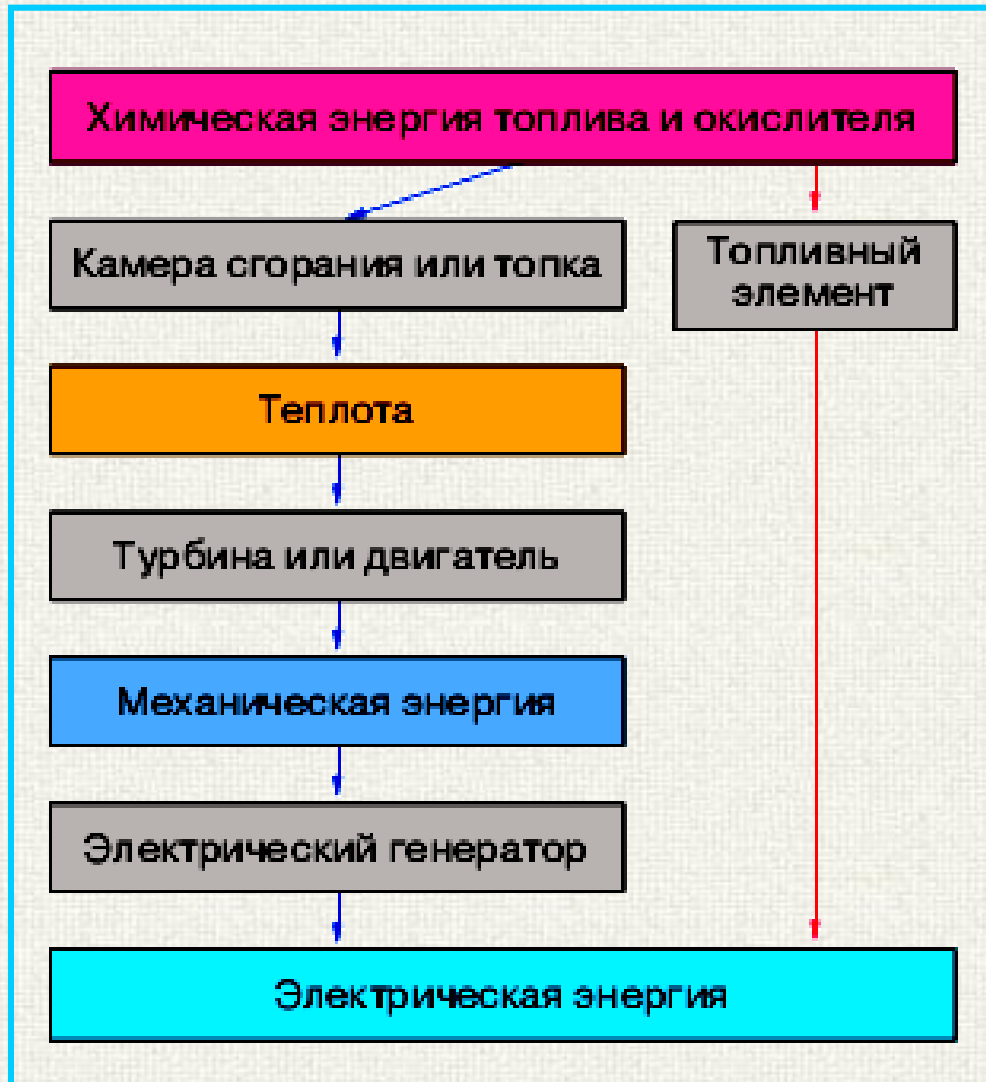
Окремо виділяють - **паливні елементи** та **протічні редокс акумулятори**, в яких активна речовина накопичується не на електродах, а в окремих ємностях іззовні.

ХІМІЧНА ЕНЕРГЕТИКА: акумулятори



натрій-сульфідні акумулятори

Від Планте до паливного елемента



Від Планте до паливного елемента

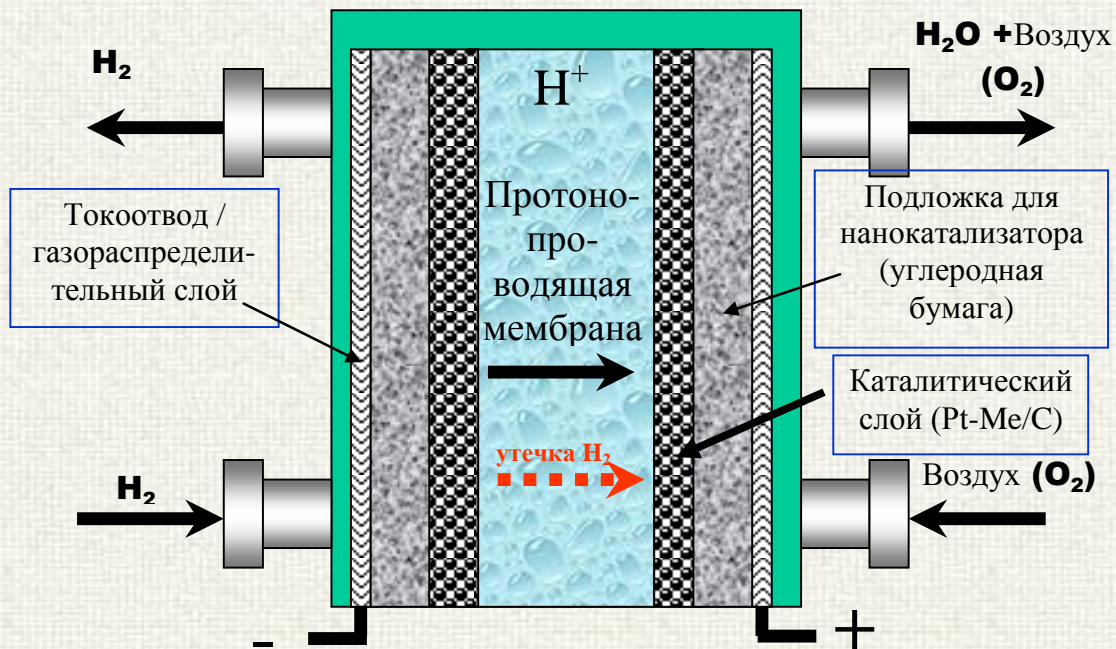
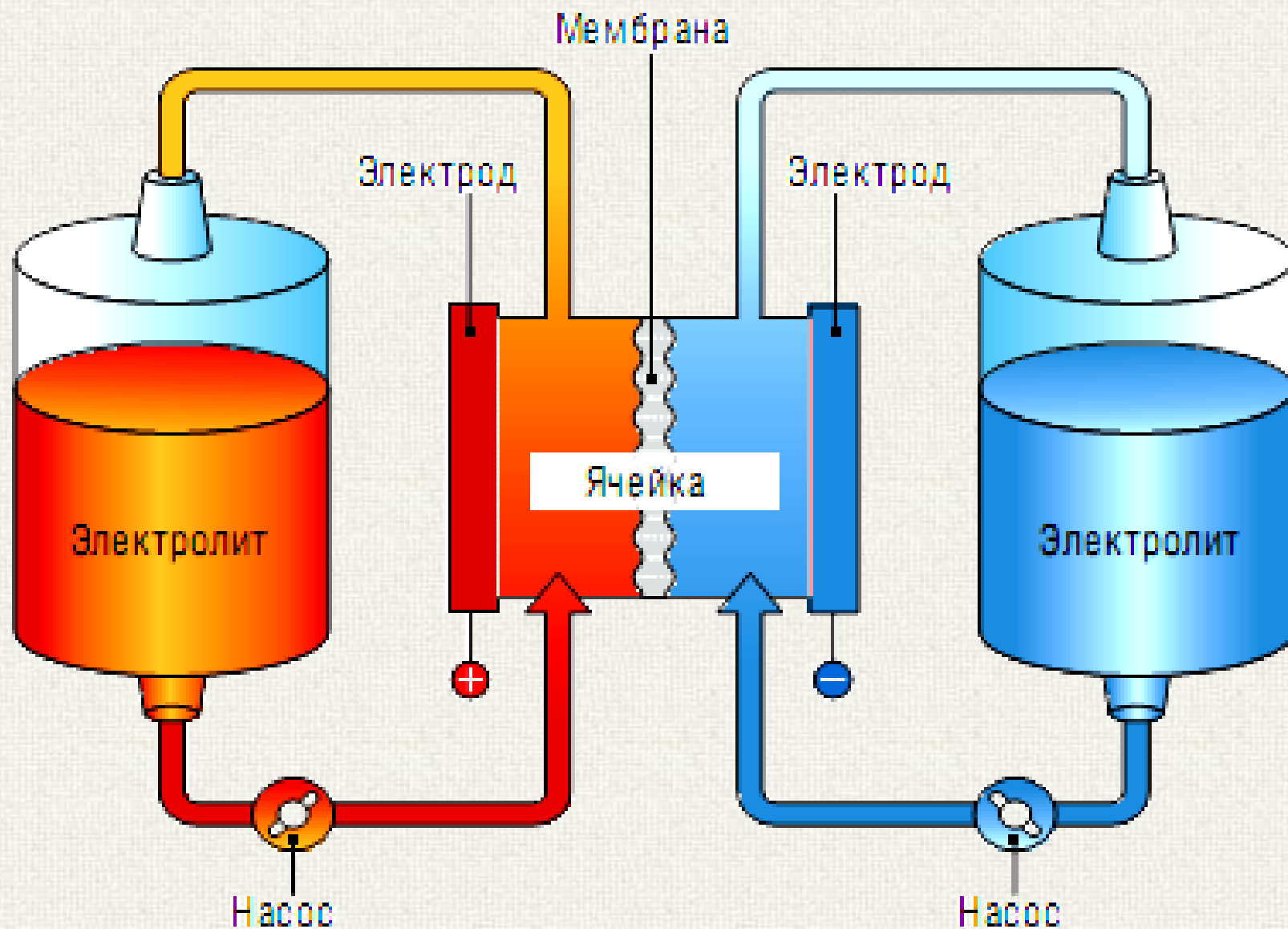


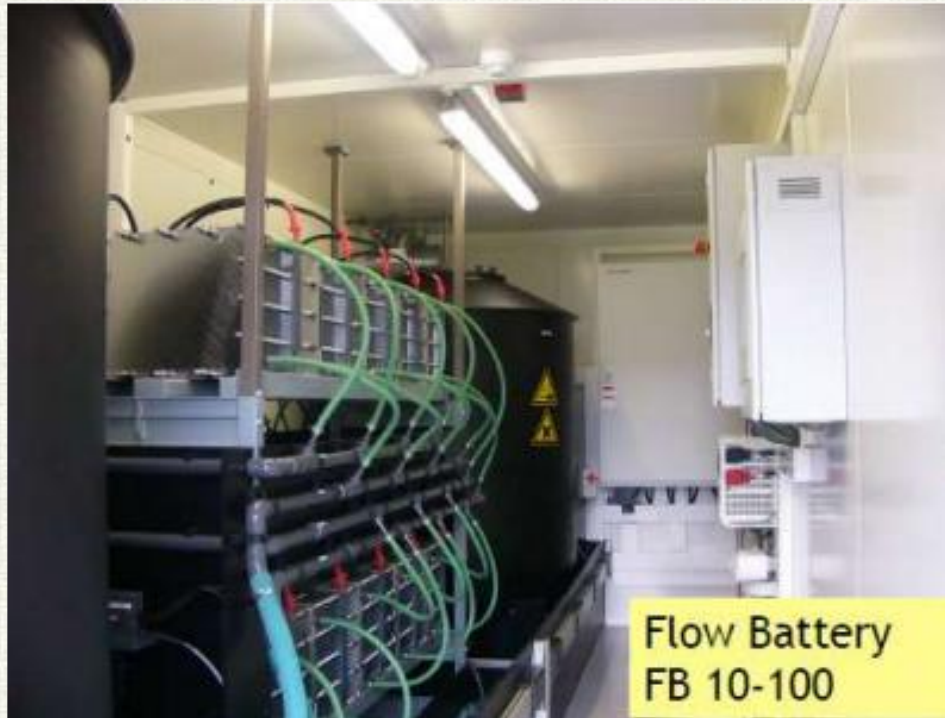
Схема редокс-батареї



Застосування редокс – накопичувача



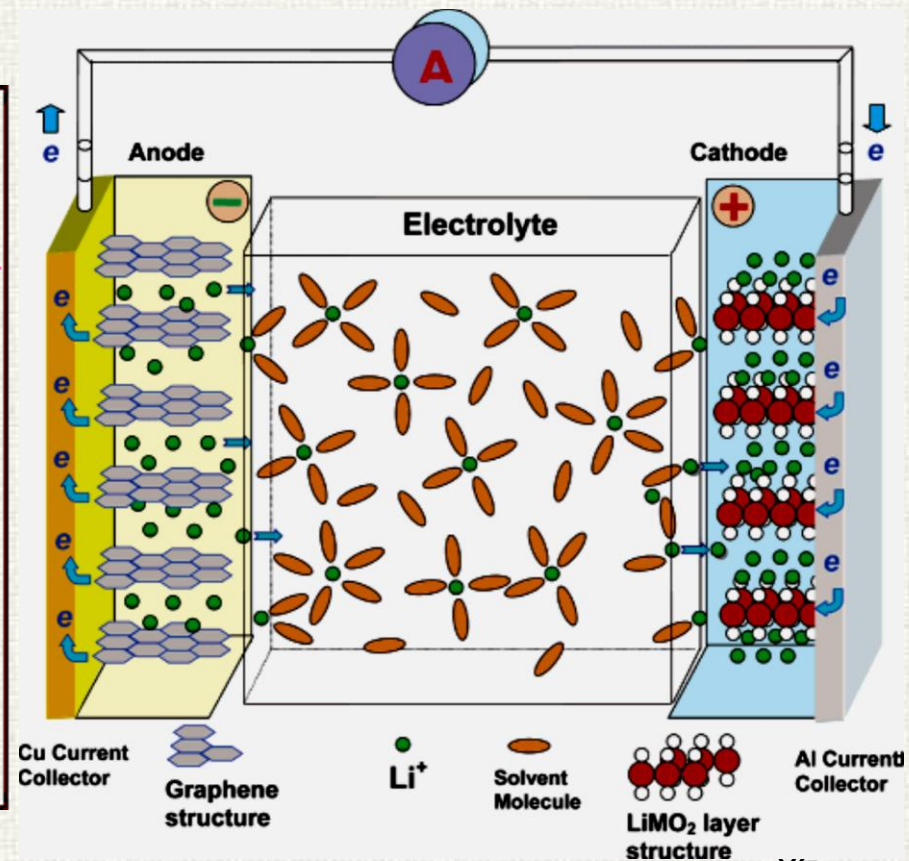
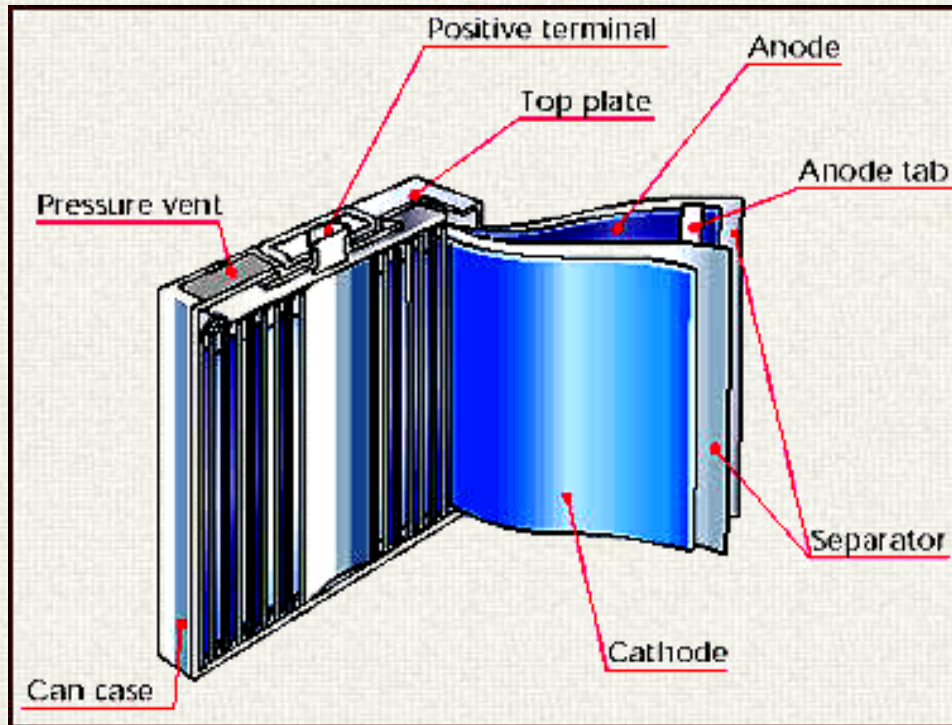
Дослідний зразок редокс-накопичувача на автономній фотоелектричній енергоустановці (Флоренція, Італія)
Потужність сонячної батареї – 3 кВт,
накопичувача – 2 кВт.



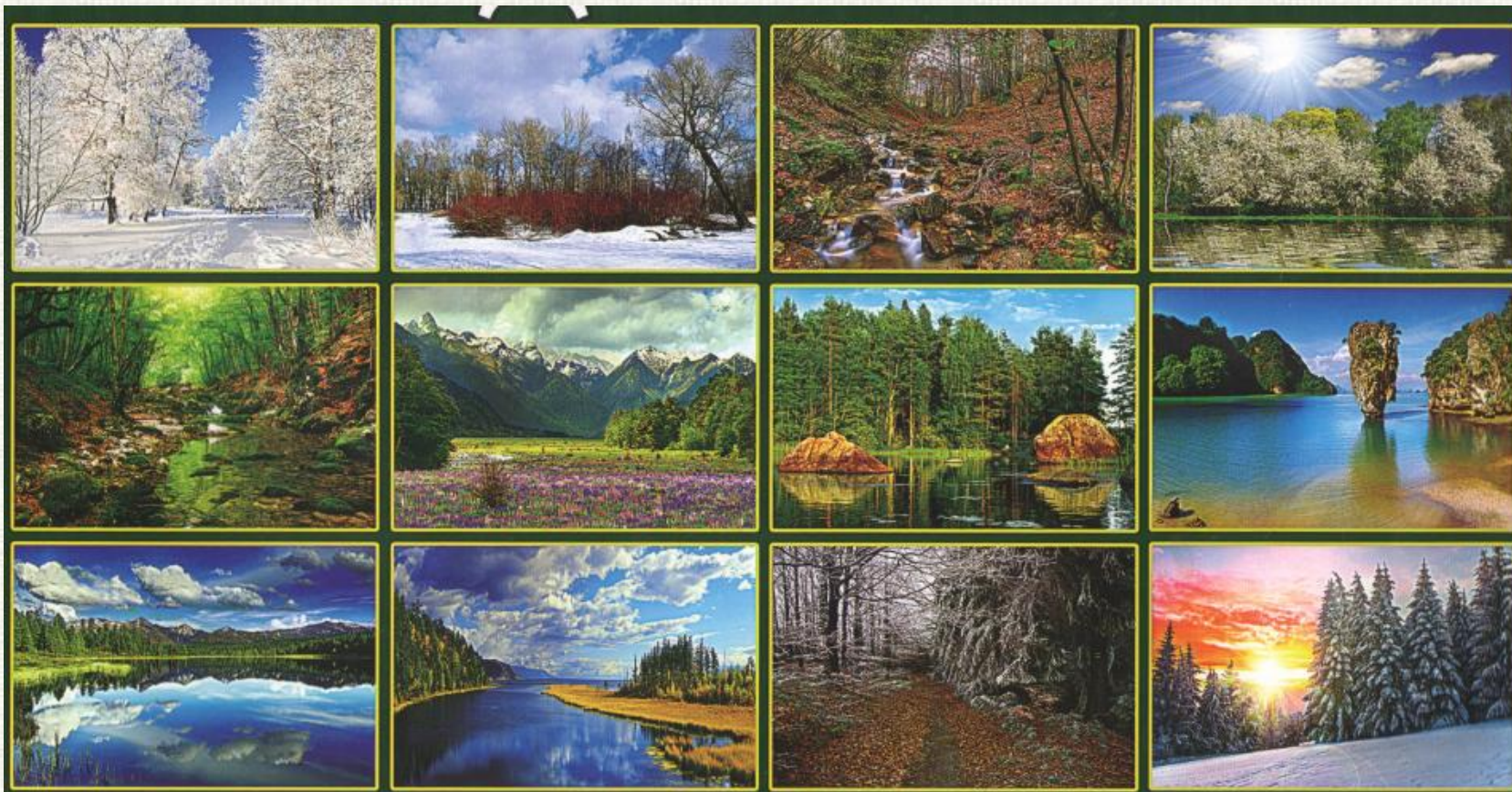
Вигляд накопичувача CellStrom Power
FB-10-100

Літєві акумулятори

- $\text{Li}_x\text{C}_6 \mid \text{LiAlF}_4 \mid \text{Li}_x\text{CoO}_2$
- The *emf* – 3.5-3.7 V;
- Energy density – 150-500 watt-hour/kg;
- 500-1000 of charge–discharge cycles;
- $T = -40 - +60 \text{ }^\circ\text{C}$.



Такою ми одержали землю...



Але нам потрібен літій...

Видобуток літію, необхідного для «зеленої» енергетики, завдає значної шкоди довкіллю: виснажує водні ресурси (до 45 млн тонн води щорічно у пустелі Атакама), забруднює ґрунти та воду хімікатами, спричиняє вирубку лісів та руйнує екосистеми. Основні загрози включають колосальне споживання води, викиди CO₂ при переробці та токсичні відходи.



Соляна рівнина Марікунга в чилійській пустелі Атакама.

Екологічні наслідки видобутку літію очевидні та масштабні. Величезна кількість прісної води, яка класифікується як дорогоцінний ресурс у цих посушливих регіонах, перенаправляється на операції з видобутку літію, підживлюючи соляний розчин