

Міжнародний гуманітарний університет
Кафедра комп'ютерних наук

Русу О.П.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ПРИСТРОЇ ТА СИСТЕМИ

конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського)

рівня, які навчаються за спеціальностями

121 – Інженерія програмного забезпечення

122 – Комп'ютерні науки

123 – Комп'ютерна інженерія

125 – Кібербезпека та захист інформації

172 – Електронні комунікації та радіотехніка

014.09 – Середня освіта (Інформатика)

Одеса 2024

Затверджено Вченою Радою Міжнародного гуманітарного університету (протокол № 13 від 16.08.2024 р.).

Русу О.П.

Інтелектуальні пристрої та системи: конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня, які навчаються за спеціальностями: 121 – Інженерія програмного забезпечення, 122 – Комп’ютерні науки, 123 – Комп’ютерна інженерія, 125 – Кібербезпека та захист інформації, 172 – Електронні комунікації та радіотехніка, 014.09 – Середня освіта (Інформатика). [Електронне видання] / Русу О.П. Кафедра комп’ютерних наук Міжнародного гуманітарного університету. Одеса, 2024. – 149 с.

Конспект лекцій для курсу «Інтелектуальні пристрої та системи» призначені для самостійної роботи здобувачів, що навчаються за другим (магістерським) рівнем за спеціальностями: 121 – Інженерія програмного забезпечення, 122 – Комп’ютерні науки, 123 – Комп’ютерна інженерія, 125 – Кібербезпека та захист інформації, 172 – Електронні комунікації та радіотехніка, 014.09 – Середня освіта (Інформатика).

Дисципліна «Інтелектуальні пристрої та системи» надає здобувачам знання з особливостей використання програмних застосунків, комп’ютерних пристроїв або засобів кібербезпеки та захисту інформації в інтелектуальних пристроях та системах. При вивченні дисципліни особливу увагу приділяється існуючим та перспективним напрямкам розвитку інтелектуальних пристроїв та систем, спрямованих на зменшення рівня екологічного навантаження на довколишнє середовище та підвищення рівня енергетичної ефективності пристроїв та систем, що використовуються в різноманітних сферах людської діяльності.

ЗМІСТ

1. Введення в дисципліну	4
2. Сонячні колектори	25
3. Сонячні фотоелементи	44
4. Вітрогенератори	67
5. Накопичувачі енергії	97
6. Інтелектуальні енергетичні системи	117
7. Особливості проведення енергоаудиту будівель	136
8. Рекомендована література	148

1. Введення в дисципліну

Автоматизовані пристрої та системи вже давно стали невід'ємною частиною нашого життя. Історія деяких автоматів налічує вже кілька століть. Самим відомим автоматизованим пристроєм, який хоча б раз використовував у своєму житті кожен із вас, є звичайний будильник. Цей пристрій вмикає звуковий сигнал у певний заздалегідь запрограмований час і тим самим нагадує нам, що потрібно прокидатись, або що потрібно виконати якусь певну роботу.

Автоматизовані пристрої та системи



Автоматизовані пристрої та системи вже давно стали невід'ємною частиною нашого життя

Самим відомим автоматизованим пристроєм є будильник

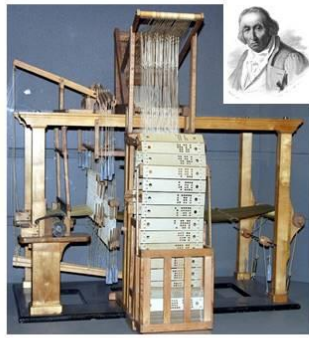
Як бачите, автоматизовані пристрої та системи не завжди були електронними. Годинники з боєм, музичні шкатулки з'явилися ще у часи, коли про електричний струм ніхто нічого не знав. І зараз можна тільки здогадуватись, скільки кропіткої праці необхідно було вкласти у ці механічні вироби, використовуючи для їх створення лише самі прості інструменти, які існували у той час.

Механічні автоматизовані пристрої



Більше того, механічні автоматизовані пристрої із програмним керуванням вже давно не є чимось винятковим. Достатньо згадати всесвітньо відомий ткацький верстат створений французьким винахідником Жозефом Марі Жакаром у 1804 році. Це промислове обладнання призначалося для виробництва візерунчастих тканин, відомих зараз як жакардові тканини. Ручне виготовлення подібних виробів потребувало дуже багато праці, тому ці тканини спершу були дуже дорогими. А от перехід на автоматизоване виробництво дозволив, не тільки значно скоротити витрати часу на їх виготовлення, а істотно розширити асортимент продукції. У цьому верстаті розташування кожної нитки в тканині кодувалося шляхом формування отворів у картонних перфокартах, які зшивалися у безперервну стрічку і подавалися на верстат.

Жакардовий ткацький верстат (1804 р.)



Діюча модель



Клавіатура для програмування



Результат роботи



Перфокарта з програмою

Але в дисципліні «Інтелектуальні пристрої та системи» нас буде цікавити не тільки техніка, яка використовувалась колись або використовується зараз. У цій дисципліні ми будемо вивчати техніку, яку людина, з високою імовірністю, буде використовувати у своєму майбутньому. Інтелектуальні пристрої і системи, які ми будемо вивчати протягом семестру, ще тільки створюються, тому достовірної інформації про них не дуже багато. А от та інформація, що існує, може мати величезну кількість протиріч, і взагалі більше схожа на міф, ніж на правду. Тому моя першочергова задача, як викладача, донести до слухачів мого курсу саме адекватну інформацію про сучасні тенденції розвитку інтелектуальних автоматизованих систем, і можливо зорієнтувати вас у тому інформаційному хаосі, які наразі існує в мережі Інтернет та різних виданнях. І хто знає, може саме ви через кілька років станете автором якоїсь нової розробки, яка зробить вагомий внесок у світовий науково-технічний прогрес і переведе життя усіх людей на зовсім інший рівень якості.

Інтелектуальні пристрої та системи



У дисципліні «Інтелектуальні пристрої та системи» буде вивчатися техніка, яку людина буде використовувати у своєму майбутньому

Але перед тим як перейти до розгляду вже безпосередньо якихось технічних питань, давайте спершу докладно проаналізуємо назву нашої дисципліни, хоча б для того, щоб самім зрозуміти, що ми конкретно будемо вивчати. Отже читаємо уважно назву «Інтелектуальні пристрої та системи». У цій назві є усього три слова, кожне з яких має свій сенс. Слово «інтелектуальні» означає, що речі, які ми будемо далі вивчати, можуть вирішувати задачі, які потребують прийняття рішень у ситуаціях, для вирішення яких необхідно задіяти розумові здібності людини. Головним призначенням інтелектуальних автоматизованих пристроїв та систем є вирішення задач, які не можна вирішити за допомогою звичайних систем із «жорсткою» логікою, тобто вони призначені для задач, які до недавнього часу могла вирішити тільки людина.

Інтелектуальні пристрої та системи



- **Інтелект** – частина розуму, яка відповідає за обробку інформації, абстрактне мислення, винахідницьку діяльність і прийняття рішень
- **Пристрій** – сукупність технічних вузлів, окремий технічний засіб або його складова частина, які призначені для виконання однієї або кількох заданих функцій
- **Система** – множина взаємопов'язаних елементів, що утворюють єдине ціле, взаємодіють із середовищем та між собою і мають певне призначення

Ну а слова «пристрої» та «системи» ви вже повинні добре знати. Пристрій – це певна сукупність якихось технічних вузлів, що утворюють якусь самостійну технічну одиницю, призначену для виконання певних функцій, а система – це, відповідно, сукупність, якихось взаємопов'язаних пристроїв, що утворюють єдине ціле, взаємодіють із середовищем та між собою і мають певне призначення. Отже тепер зрозуміло, що ми будемо вивчати – пристрої та системи, що можуть забезпечувати функції, які до недавнього часу могла вирішити тільки людина. Але тут одразу виникають питання – а для чого конкретно ці системи потрібні? Невже до цього часу таких систем не існувало?

Той, хто більш-менш орієнтується у сучасному технічному світі, напевно знає, що автоматизовані та роботизовані системи використовуються людиною вже протягом кількох десятиліть. У якості прикладу можна навести промислові комплекси, наприклад, автоматизовані конвеєри для зборки електронного обладнання або для зборки автомобільної техніки. Ви всі добре розумієте, що сучасний мікропроцесор, що містить мільйони мікроскопічних транзисторів, людина вручну виготовити просто фізично неспроможна. Тому їх виготовлення без використання автоматизованих ліній просто неможливе. Так само і в автомобільній техніці – використання автоматизованих конвеєрів із застосуванням роботів дозволяє значно здешевити та прискорити виробництво. Тому можна сказати, що автоматизовані пристрої та системи вже давно не є чимось новим.

Автоматизовані системи



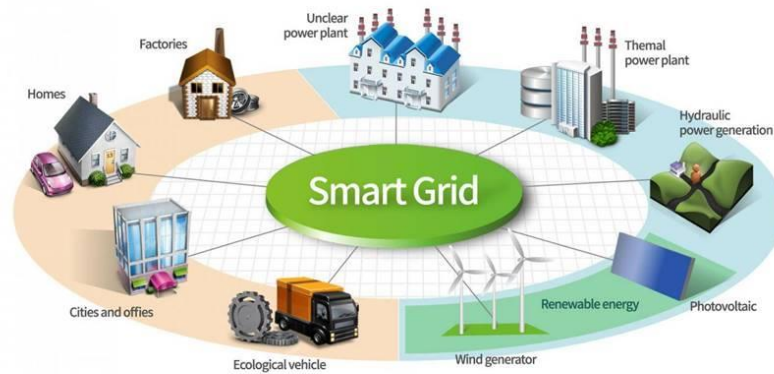
Автоматизована лінія зборки електронного обладнання



Автоматизована лінія зборки автомобілів з використанням роботів

Але великі промислові автоматизовані комплекси у рамках дисципліни «Інтелектуальні пристрої та системи» нас мало цікавлять. Річ у тому, що вони існують вже десятки років, і є певна кількість університетів та спеціальностей, де вони докладно вивчаються протягом усього циклу навчання. А ми, у курсі «Інтелектуальні пристрої та системи», будемо розглядати проблеми, які поки що не мають вирішення. Наприклад, ми будемо вивчати інтелектуальні енергетичні системи, які поки що знаходяться в стадії розвитку. До недавнього часу в них не було особливої потреби, тому вони практично не розвивалися. Але глобальні кліматичні зміни спонукали людство до переходу на альтернативні джерела енергії, які без інтелектуальних енергетичних систем дуже складно використовувати.

Інтелектуальна енергетична система



Тому перед початком вивчення курсу, давайте спершу дуже стисло ознайомимося із основними проблемами, які стоять перед людством. Їх, звісно, існує багато, проте головними є лише дві: нестача продовольчих товарів та екологічне забруднення довколишнього середовища. Ці проблеми можуть бути по-різному сформульовані, наприклад, нестачу продовольчих товарів можна пояснити результатом перенаселення землі, демографічним бкмом або ще якимось по іншому, але суть від цього не змінюється. Отже, давайте розбиратися.

Головні проблеми людства



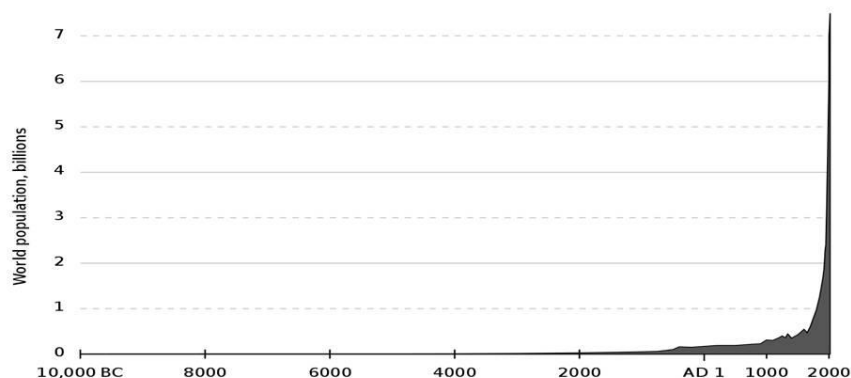
Нестача продовольчих товарів



Забруднення довколишнього середовища

Почнемо із нестачі продовольчих товарів. Проблема полягає у наступному. Зараз кількість людей, що живе на землі, сягає майже вісім мільярдів. Це дуже велика цифра і вона постійно збільшується. Зрозуміло, що цих людей потрібно щоденно годувати, а для цього потрібно десь брати для них продукти. А звідки ж вони беруться?

Чисельність населення землі



Усі продукти, які вживає людина, можна умовно поділити на продукти рослинного та тваринного походження. Для вирощування продуктів рослинного походження потрібен

грунт, у якому вони будуть рости. Аналогічний ґрунт, а саме ґрунт, придатний для сільськогосподарського використання, потрібен і для створення продуктів тваринного походження, оскільки усі харчові ланцюжки, у тому числі, харчові ланцюжки хижаків та людини, у кінцевому рахунку, закінчуються на рослинах. Отже земля, що на якій може щось вирости, є стратегічним ресурсом будь-якої країни.

Харчові ланцюжки



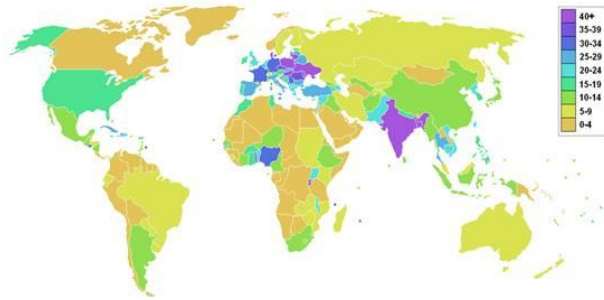
Якщо проаналізувати кількість культивованої землі, тобто землі, яка так чи інакше використовується у сільському господарстві, то можна побачити, що Україна входить у першу десятку країн, що має подібний ресурс. Наразі Україна має понад 300 тисяч квадратних кілометрів землі, на якій можна щось виростити. Це приблизно восьме місце у світі за абсолютною кількістю.

Список країн за використанням землі сільськогосподарського призначення(сортування за абсолютною кількістю)

Місце	Країна	Загальна площа, км²	Культивовані землі		Орні землі		Землі під багаторічними культурами	
			площа, км²	частка від загальної площі, %	площа, км²	частка від загальної площі, %	площа, км²	частка від загальної площі, %
—	Світ	149000000	17298900	11,61	15749300	10,57	1549600	1,04
1	США	9161923	1669302	18,22	1650062	18,01	19240	0,21
2	Індія	2973193	1535060	51,63	1451810	48,83	83249	2,8
3	КНР	9326410	1504350	16,13	1385905	14,86	118445	1,27
4	Росія	16377742	1192300	7,28	1174284	7,17	18016	0,11
5	Бразилія	8456510	661299	7,82	586036	6,93	75263	0,89
6	Канада	9093507	474681	5,22	415573	4,57	59108	0,65
7	Австралія	7617930	471550	6,19	468503	6,15	3047	0,04
8	Україна	603700	333847	55,3	324791	53,8	9056	1,5
9	Індонезія	1820440	330037	18,07	261456	14,33	128381	7,04
10	Нігерія	910768	329334	36,16	300736	33,02	28598	3,14
11	Аргентина	2736690	284342	10,39	274490	10,03	9852	0,36
12	Мексика	1923040	268072	13,94	243457	12,66	24615	1,28
13	Туреччина	770760	255893	33,2	229764	29,81	26129	3,39

Така кількість культивованої землі становить більше половини від загальної площі нашої країни, що також є дуже високим показником. У цілому в Україні знаходиться приблизно 2% світових ресурсів культивованих земель, що, разом із сприятливим м'яким кліматом, може зробити нашу країну одним із провідних світових експортерів продовольчих товарів. Проте у цьому випадку ключовим словом є саме «може», оскільки наявність великих обсягів родючого ґрунту, ще не означає, що цей ґрунт буде належним чином використовуватись.

Відсоток культивованих земель за країнами



Більше половини території України (55,3%) є землями, придатними для сільськогосподарського використання (8 місце у світі)

- Загальна площа сучасного землі ≈ 150 млрд. км²
- Культивовані землі (землі, на яких можна виростити продукти харчування) $\approx 17,3$ млрд. км² (11,6%)
- Кількість культивованої землі в Україні $\approx 0,33$ млрд. км² ($\approx 2\%$ від загальної кількості культивованих земель)

До цього питання ми ще повернемося трохи пізніше, а зараз давайте ще раз проаналізуємо ці цифри, але вже з іншого боку. Загальна кількість культивованої землі на нашій планеті дорівнює приблизно 17,3 мільйона квадратних кілометрів, а на землі зараз проживає майже 8 мільярдів людей. Нескладні арифметичні підрахунки показують, що на одну людину зараз приходить приблизно 0,002 квадратних кілометрів або 0,2 гектара, або, як кажуть у народі, 20 соток. Багато це чи мало? Давайте розбиратися.

Розрахунок кількості сільськогосподарської землі на одну людину

- Загальна площа землі, придатної для сільськогосподарського використання $\approx 17,3$ млн. км²
- Загальна кількість населення землі ≈ 8 млрд.
- На одну людину приходить
-

$$17,3 \cdot 10^6 / 8 \cdot 10^9 \approx 0,002 \text{ км}^2 \approx 0,2 \text{ га}$$

При існуючому рівні технологій виробництва продуктів, для того щоб повноцінно прокормити одну людину потрібно приблизно 0,15 га

При існуючому рівні технологій, для того щоб повноцінно годувати одну людину протягом року зараз потрібно приблизно 15 соток культивованої землі. На цій землі повинні вирощуватися рослинні продукти, такі як пшениця, гречка, огірки та усі інші злаки, овочі та фрукти. Ця цифра враховує також і площу, необхідну для ставків, де буде плавати риба, а також ланів, де будуть випасатися корови, свині, кури та інші тварини. Звісно, це дуже приблизна цифра, оскільки у людей, що живуть в різних країнах, різні харчові раціони. У когось головним харчовим продуктом є картопля, а у когось риба та інші морепродукти, для вирощування яких орна земля не потрібна. Проте давайте поки що хоча б приблизно візьмемо цю цифру за основу. Отже поки здається, що все дуже добре. Для однієї людини потрібно приблизно 15 соток орної землі, а зараз приходить майже 20. Проте це лише так здається.

Причини зменшення кількості землі, придатної для сільськогосподарського використання



Збільшення кількості місць, де проживають люди



Неправильне господарювання

Річ й тому, що кількість населення на нашій землі росте, а кількість земель придатних для сільськогосподарського використання зменшується. Відбувається це через постійне збільшення кількості місць, де проживають люди, яке відбувається у тому числі і за рахунок місць, придатних для сільськогосподарського використання. Також вагомою причиною зменшення кількості родючої землі є неправильне господарювання, що призводить до виснаження ґрунту та отруєння його хімікатами та добривами.

Причини зменшення кількості землі, придатної для сільськогосподарського використання



Техногенні катастрофи (Чорнобильська АЕС – 5 млн. га землі)



Масштабні проекти (аеропорт Аль Мактум, Дубай, ОАЕ)

Кількість орної землі також зменшується через різні техногенні катастрофи, наприклад, через аварію на Чорнобильській атомній станції, яка сталася у 1986 році, із практичного використання було виведено близько 5 мільйонів гектарів родючої землі. І ця земля ще довгі часи буде непридатна для безпечного використання людиною. Також великі втрати сільськогосподарської землі відбуваються через будівництво різних інженерних проектів, що потребують великої площі, наприклад, аеропортів або гідроелектростанцій.

Одним із прикладів такого проекту є найбільша у світі, на сьогоднішній день, гідроелектростанція «Три ущелини» розташована на річці Янцзи у Китаї. Її почали будувати у 1992 році, і на той час вона повинна була забезпечувати приблизно 20% електричної енергії, яка була необхідна Китаю у той час. Проте коли у 2012 році її будівництво було завершено, то виявилось що за ці 20 років енергоспоживання Китаю зросло на порядок, і зараз замість 20% вона тепер спроможна згенерувати лише 2% від загальної кількості електричної енергії, яка наразі необхідна Китаю. Приблизно 30% бюджету цієї електростанції припадало для переселення приблизно 1,3 мільйонів мешканців, які опинилися у зоні затоплення, загальна площа якого становила майже 28 тисяч гектарів. У

результаті будівництва греблі цієї електростанції приблизно 39 мільярдів тон води було піднято на висоту 175 метрів, що призвело до збільшенню моменту інерції Землі і, збільшило тривалість земної доби приблизно на 0,06 мікросекунди.

Три ущелини (Китай)



- Потужність – 22,5 ГВт
- Розташована на річці Янцзи
- Початок будівництва – 1992 рік
- Найбільша електростанція у світі
- Найбільша у світі технічна споруда
- Середньорічна кількість виробленої енергії – 93,5 млрд кВт-год
- Для будівництва електростанції довелося переселити 1,3 млн. мешканців
- При будівництві цієї електростанції було затоплено 27820 га (278 км²) землі, що використовувалась для сільськогосподарських потреб

Ця електростанція змінила форму Землі та збільшила тривалість земної доби на 0,06 мікросекунди

В Україні також є проекти, які можна внести у цей список. Одним із них є відомий на всю Україну промисловий ринок «7-кілометр», розташований неподалік від Одеси. Він був створений у 1986 році на полі, де колись традиційно вирощувалась пшениця, кукурудза та інші сільськогосподарські культури. Оскільки у 90-х роках потреба у подібних торгових точках була дуже актуальною, то він поступово розширився і став однією з найбільших та найпопулярніших торгових площадок в Україні. У часи розквіту цей ринок забезпечував робочими місцями приблизно 60 000 працівників, а за день його могло відвідати до 250 000 покупців. Наразі цей торгівельний майданчик займає приблизно 115 гектар землі, 75 гектар з яких вже задіяні безпосередньо під торгові точки, а ще 40 гектар зарезервовано під можливе подальше розширення. Така площа робить його одним із найбільших ринків Європи. Ще раз хочу звернути увагу, що цей ринок, як багато інших українських ринків, терміналів, складів та промислових виробництв, розташований на землях, які колись використовувались у сільському господарстві.

Промисловий ринок «Сьомий кілометр» (Одеська область, Україна)



- Рік заснування – 1989
- Загальна площа 115 га (1,15 км²)
- Кількість співробітників ≈ 60 000
- Кількість відвідувачів ≈ до 250 000 за день

Один із найбільших ринків в Європі

Отже, те, що зараз на одну людину, що живе на землі, припадає 20 соток родючої землі, при нормі 15 соток, не означає, що так буде надалі. За оцінками фахівців приблизно у 2050 році на землі вже не буде вистачати сільськогосподарської землі для вирощування продуктів. Це дуже серйозна проблема, яка стоїть перед усім людством, і яку конче потрібно вирішувати.

Розрахунок кількості сільськогосподарської землі на одну людину

- Загальна площа землі, придатної для сільськогосподарського використання $\approx 17,3$ млн. км²
- Загальна кількість населення землі ≈ 8 млрд.
- На одну людину приходить

$$17,3 \cdot 10^6 / 8 \cdot 10^9 \approx 0,002 \text{ км}^2 \approx 0,2 \text{ га}$$

За оцінками фахівців приблизно у 2050 році на землі не буде вистачати сільськогосподарської землі для вирощування продуктів

Зверніть увагу, коли мова йшла про 15 соток землі, необхідної для того, щоб прокормити одну людину, то там йшла обмовка про сучасний рівень технологій. А до сучасних технологій виготовлення харчових продуктів, відноситься і активне використання штучних добрив, і активне використання консервантів, і активне використання генетично модифікованих продуктів. Без цього сьогодні просто неможливо забезпечити людство їжею в необхідній кількості, хоча б через те, що вже зараз просто не вистачить родючої землі для того, щоб прокормити усі 8 мільярдів людей, які живуть на землі.

Сучасні харчові технології



- Використання штучних добрив
- Використання консервантів
- Використання генетично модифікованих продуктів
- Виготовлення штучного м'яса

Ще однією технологією, якій слід приділити увагу у цьому огляді, є технологія штучного вирощування харчових продуктів, зокрема м'яса. Вона є дуже привабливою з економічної точки, оскільки дозволяє створювати продукти харчування взагалі без використання земельних ресурсів. Перший у світі гамбургер, створений із м'яса, вирощеного у лабораторних умовах, було приготовано та вжито у 2013 році. Автором цього проєкту був нідерландський фармаколог Маркус Йоганнес Пост. Цей гамбургер, напевно, є одним із самих дорогих гамбургерів за всю історію існування людства, оскільки для приготування котлети для нього було використано м'ясо, на створення якого було витрачено понад 300 000 доларів США, а його вирощування тривало більше ніж 2 роки. Проте за останні 10 років ці технології продовжують активно розвиватися і наразі його вартість знизилась на кілька порядків. Зараз страви зі штучного м'яса, яке вже навіть офіційну назву – «культивоване», можна спробувати у доволі великій кількості елітних ресторанів по всьому світу. Масове виробництво культивованого м'яса поки що не планується, проте цілком можливо, що це стане нашою об'єктивною реальністю вже в найближчому майбутньому.

Дегустація першого у світі гамбургера з культивованого м'яса (2013 р.)



Вартість цього гамбургера становила понад 300 000 доларів США, а його виробництво тривало понад 2 роки

Та якщо вирощування культивованого м'яса потребує доволі-таки значних зусиль, у першу чергу – наукових, то вирощування рослин у штучних умовах вже давно не є чимось фантастичним. Наразі існує доволі багато компаній, що спеціалізуються на цьому напрямку. Більше того, ці технології є відносно простими, і вже зараз, у тому числі і в Україні, можна придбати стартові набори, за допомогою яких можна створити власну гідропонну плантацію у себе вдома. Головною особливістю цієї технології є те, що для вирощування рослин взагалі не потрібен ґрунт. Корні рослин знаходяться у спеціальному розчині, який містить усі необхідні речовини для життя рослини.

Штучне вирощування рослин



Більше того, виявляється, що рослини можна вирощувати не тільки без використання ґрунту, а ще й без використання світла. А це дозволяє створювати продукти харчування у місцях, які раніше були взагалі непридатними для цього. Зараз по всьому світу все більшої популярності набуває тенденція, яка отримала назву сіті-фермерство. Наразі це дуже широке поняття, яке охоплює і проєкти ферм на стінах і дахах багатоповерхівок, так і створення мікроскопічних ферм безпосередньо на кухні. Головною особливістю цих технологій є те, що для вирощування рослин взагалі не потрібно використовувати сільськогосподарські землі.

Штучне вирощування рослин



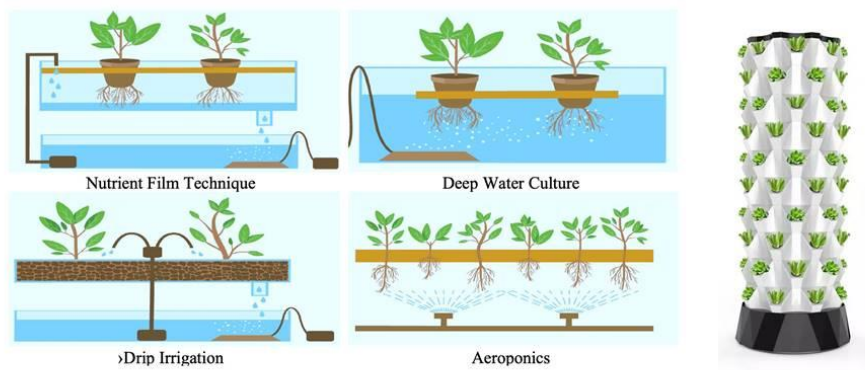
А ці проєкти є вже дуже цікавими для фахівців, що планують працювати в галузі інформаційних технологій. Річ у тому, що гідропонна система, тобто система, призначена для штучного вирощування рослин без використання ґрунту є типовою автоматизованою системою, яка повинна постійно контролювати хімічний стан живильного розчину, і додавати до нього необхідні речовини, залежно від виду та віку рослини. Зрозуміло, що без використання інформаційних технологій та відповідних апаратно-програмних засобів створити цю систему буде доволі важко. При цьому треба мати на увазі, що для досягнення необхідної врожайності вирощуваних культур, потрібно доволі точно слідувати життєвому циклу рослини, і для деяких культур любе відхилення від цього профілю призведе або до значного зменшення врожайності, або, у гіршому випадку, навіть до загибелі усієї плантації.

Сіті-фермерство



Гідропонні системи, або системи для вирощування рослин без використання ґрунту, є лише одним із напрямків використання інтелектуальних пристроїв та систем. Проте і традиційні підходи до вирощування рослин також потребують подальшого розвитку. Наприклад, вже давно відомо, що врожайність культур, що вирощують в теплицях, залежить від підтримки необхідного рівня мікроклімату. Наразі для цього використовуються системи, що мають автоматизовані на рівні усієї теплиці. Це можна доволі просто зробити, наприклад, з використанням вже існуючих промислових контролерів, які нескладно запрограмувати для керування лампами, вентиляторами, зрошувальними системами та іншими агрегатами, що використовують в теплицях.

Гідропонні системи



Проте, як показують сучасні дослідження, такий підхід не є оптимальним, оскільки централізована система керування теплицею неспроможна підтримати оптимальний мікроклімат на всіх її ділянках. Тому на практиці, врожайність рослин різних ділянок теплиць є різною. Більше того, централізований підхід призводить до нераціональних витрат енергії та води – основних ресурсів, які входять у собівартість кінцевої продукції. Тому зараз все більше провідних компаній, що працюють у цій галузі поступово розвивають і впроваджують сучасні інтелектуальні технології, що дозволяють контролювати, в ідеалі, стан кожної рослини. Тобто умови росту кожної рослини постійно контролюються, а сама рослина отримує лише ту кількість добрив, води, тепла та світла, яка їй необхідна для забезпечення максимальної врожайності. Зрозуміло, що такі системи вже потребують використання роботів, оскільки людина фізично неспроможна це робити із необхідною точністю та якістю.

Автоматизовані теплиці



Те ж саме стосується і вирощування рослин у відкритому ґрунті. Наразі все більше агрономічних компаній, у тому числі і українських, починають використовувати для вирощування рослин різноманітні літальні апарати, такі як дрони та квадрокоптери. За допомогою цих апаратів можна точно визначити стан культури. За допомогою сільськогосподарських дронів можна поливати поля, причому кількість води, необхідну для конкретної ділянки також можна визначати за допомогою літаючої техніки. За допомогою літальних апаратів можна вносити добрива та засоби для захисту від шкідників. Причому, як показує досвід подібні системи мають безліч переваг перед тими, які використовувались до цього часу, наприклад, за допомогою літаків, тракторів або квадроциклів. Зрозуміло, що такі системи вже конче потребують використання елементів штучного інтелекту, оскільки кількість ситуацій, у які може потрапити той же самий квадрокоптер, заздалегідь передбачити

просто неможливо. Крім того, також дуже складно індивідуально керувати кожним літальним апаратом. Тому ефективність цих систем буде високою лише в тому випадку, коли кожен літальний апарат буде мати певний рівень самостійності у прийнятті рішень.

Роботизовані теплиці



Роботів можна використовувати не тільки для вирощування рослин. Наразі їх також активно використовують і для нагляду за тваринами. Наприклад, зараз доволі велика компанія спеціалізується на розробці спеціалізованих роботів пастухів, які наглядають за тваринами і самостійно, або за допомогою оператора, намагаються утримувати отару в межах необхідного пасовища. Зрозуміло, що потрібні засоби також повинні мати певний рівень інтелектуальної свободи і приймати певну кількість рішень самостійно без втручання людини.

Роботи пастухи



Отже, ви вже зрозуміли, що вирішити проблему нестачі продовольчих товарів без використання сучасних інтелектуальних пристроїв та систем дуже важко, а точніше просто неможливо. Головне, що ці напрямки, знаходяться у стані бурхливого розвитку, тобто наразі у світі просто ще немає компаній-монополістів, які були б спроможні забезпечити увесь світ необхідними товарами та послугами. Більше того, наразі ще не існує і готових рішень, які б на 100% вирішували ті задачі, які зараз стоять перед фермерами. І головне, для того щоб підключитися до цього процесу не потрібно великих інвестицій. Як буде показано далі – у наступних матеріалах – для початку роботи над подібними проектами не потрібно якихось значних інвестицій. Головним елементом тут є інтелектуальна праця – тобто програма, яка буде поєднувати усі елементи системи у єдине ціле і яка буде спроможна приймати необхідні рішення самостійно без втручання людини.

Інтелектуальні комбайни (один водій керує одночасно кількома машинами)



Та окрім нестачі продовольчих товарів є ще одна проблема, яка стоїть перед усім людством. І проблема ця полягає у тому, що людство, створив сучасну техногенну цивілізацію, вже так встигло забруднити нашу планету, що скоро на ній вже неможливо буде жити.

Головні проблеми людства



Нестача продовольчих товарів



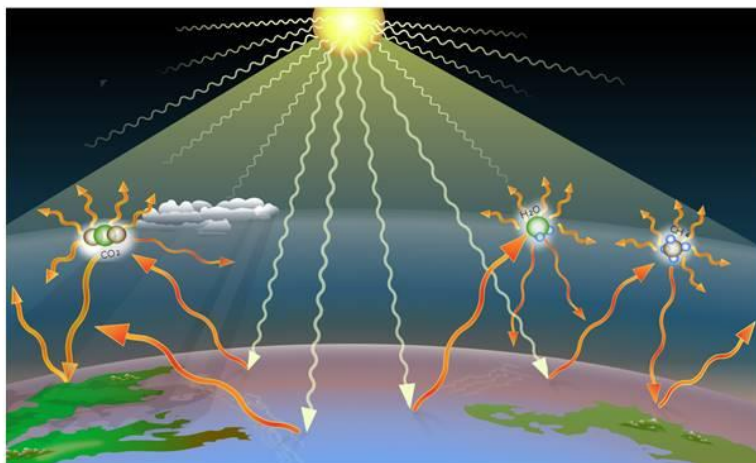
Забруднення довколишнього середовища

І річ не тільки у смітті, яке у величезній кількості людство щодня викидає на сміттєзвалища. Переробка цього сміття – це окрема тема, яку можна вирішити і без використання інтелектуальних технологій. Хоча цілком можливо, що у якомусь не такому далекому майбутньому, сучасні сміттєзвалища стануть родовищами корисних копалин. І тут мова йде не про речовини, які можуть стати джерелами енергії. Мова йде про елементи, яких дійсно дуже мало на землі, такі як літій, індій, германій або інші. Ці хімічні елементи зараз активно використовуються у різній техніці. Наприклад, індій, відомих запасів якого при сучасному рівні споживання вистачить людству всього на 20 років, є одним із елементів, необхідних для створення сучасних рідкокристалічних дисплеїв. А літій є основою для сучасних акумуляторів великої ємності. А зараз старі монітори та мобільні телефони дуже часто не йдуть на необхідну переробку, а потрапляють на звалища, що призводить до незворотної втрати дуже рідкісних елементів, родовища яких можуть дуже швидко вичерпатися.

Та у курсі «Інтелектуальні пристрої та системи» будуть вивчатися напрямки зменшення рівня сміття, яке є невидимим для людського ока, і тому багато людей навіть не

знають або не хочуть нічого знати про його існування. У даному випадку мова йде про зменшення викидів газів, які призводять до парникового ефекту. Про що йде мова? Усім відомо, що сонце, фактично, є єдиним джерелом енергії на землі, і що сонце щодня надає землі дуже велику кількість енергії, яка надходить на землю в основному у видимій частині спектру. Отже, вдень поверхня земної кулі, яка освітлюється сонцем, доволі сильно нагрівається, особливо в екваторіальних районах, де рівень інсоляції є найбільшим. А от з боку, не освітленого сонцем – там де зараз ніч – земна куля охолоджується. Причому охолодження земної кулі відбувається шляхом випромінювання у космос променів, розташованих вже в невидимій інфрачервоній частині спектру.

Парниковий ефект

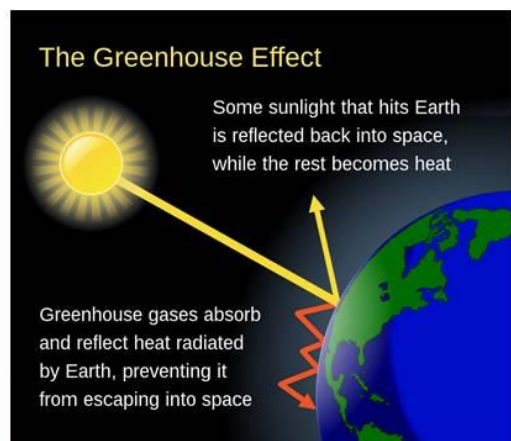


Парникові гази

- Вуглекислий газ (діоксид вуглецю) CO_2
- Метан CH_4
- Закис азоту N_2O
- Гідрофторвуглецеві сполуки
- Перфторвуглецеві сполуки
- Гексафторид сірки SF_6

Основним джерелом інфрачервоного випромінювання є тверда поверхня землі, оскільки вона за день поглинає набагато більше енергії ніж прозоре повітря. Оскільки інтенсивність інфрачервоного випромінювання пропорційна температурі, то на землі утворюється певний енергетичний і, відповідно, температурний баланс. Отже температура земної кулі буде залежати від того яку кількість енергії вона отримала від сонця вдень та повернула у космос вночі. Проте між поверхнею землі та космосом ще знаходиться атмосфера – суміш газів, які мають різні властивості для випромінювання, розташованого у різних частинах спектру. Молекули деяких газів, наприклад, вуглекислого газу, спроможні поглинати інфрачервоне випромінювання, а потім перевипромінювати його повторно. Та от виявляється, що перевипромінювання інфрачервоного випромінювання молекулами відбувається у випадковому напрямку. Коли повторне випромінювання відбувається у напрямку космосу, то все добре – земля буде охолоджуватись. Але якщо повторне випромінювання буде відбуватися у зворотному напрямку, тобто у напрямку земної поверхні, що поверхня землі замість того щоб охолоджуватись буде знову нагріватись. Таким чином, парникові гази виконують функцію теплої ковдри, яка з одного боку – вільно пропускає видиме світло, яка нагріває землю, а з іншого – перешкоджає її охолодженню.

Парниковий ефект



Отже наявність в атмосфері землі певних газів призводить до парникового ефекту – ефекту який широко використовується в парниках та теплицях для збільшення внутрішньої температури. Проте, якщо в парниках та теплицях цей ефект є корисним, то у масштабах планети наявність парникових газів призводить до збільшення температури поверхні землі і, відповідно, до збільшення температури повітря. Наразі відомі певна кількість парникових газів, кожен з яких вносить свою частку у загальне потепління, проте найбільший внесок наразі у збільшення температури на нашій планеті вносить газ, який називається діоксидом вуглецю або вуглекислим газом.

Вуглекислий газ



Вуглекислий газ – неотруйний газ, без кольору і запаху, що є природною складовою атмосфери

Критична концентрація вуглекислого газу (CO₂) – 400 ppm
(ppm – parts per million – мільйонна частка)



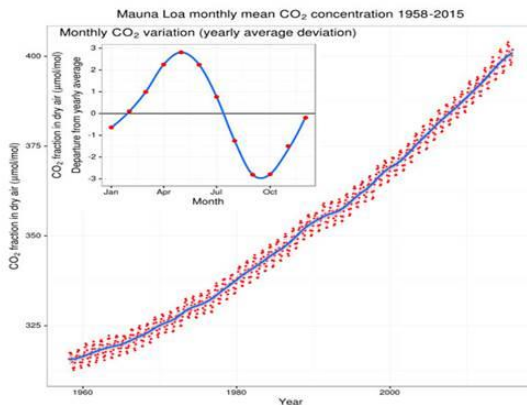
Якщо концентрація CO₂ перевищить 400 ppm на Землі почнуться незворотні зміни клімату

Рівень концентрації CO₂ у кінці 2018 року – 415 ppm

Незворотні зміни клімату на Землі почалися з 2015 року

Вуглекислий газ у невеликих концентраціях, зокрема у концентраціях у яких він присутній в атмосфері землі, є неотруйним газом, що не має ні кольору, ні запаху, тому багато людей навіть не підозрюють про його існування. Проте навіть невеликі концентрації вуглекислого газу можуть призводити до значних парникових ефектів в атмосфері землі. Критичною концентрацією вуглекислого газу більшість фахівців з кліматології вважають концентрацію у 400 мільйонних часток – ця одиниця виміру зчитується українською як «пі пі ем». Якщо ця концентрація вуглекислого газу перетне цю межу, то на землі почнуться незворотні зміни клімату, які, фактично, переведуть її у іншу геологічну епоху, у якій повністю зміниться увесь склад біосфери, тобто існуючі види рослин та тварин або загинуть, або значно зміняться у результаті пристосування до нових умов.

Концентрація вуглекислого газу в атмосфері землі



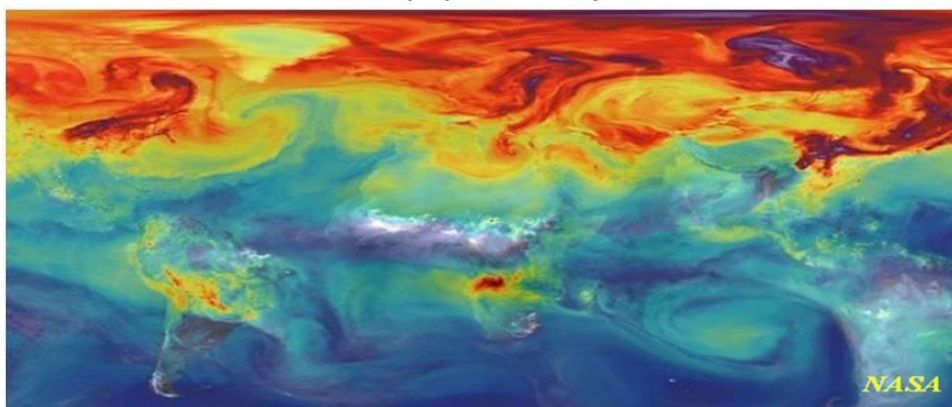
Причини збільшення концентрації CO₂

- Геологічна активність планети (вулкани)
- Техногенна діяльність людини (використання органічних видів палива)

Систематичні спостереження за концентрацією вуглекислого газу в атмосфері землі ведуться вже більше століття, і їхні результати є невтішними. З часу, коли людина почала активно використовувати різні види викопних джерел енергії, таких як вугілля, нафта та природний газ, концентрація вуглекислого газу в атмосфері землі почала постійно зростати. Результати вимірів показують, що концентрація вуглекислого газу має сезонні коливання. Вона відчутно зростає у період з жовтня по травень – коли у північній кулі настає зима і людство починає збільшувати витрати енергії на опалення своїх приміщень. Потім вона зменшується, оскільки в північній настає літо, а у південній, де живе набагато менше людей, ніж у північній, на обігрів приміщень потрібно менше енергії. Та усе одно концентрація вуглекислого газу у жовтні наступного року буде більше, ніж у тому самому місяці попереднього року.

Критичну межу концентрації вуглекислого газу у 400 мільйонних частот людство почало перетинати у 2015 році. А це означає, що з цього року на землі почалися незворотні зміни клімату, наслідки яких людина може відчувати вже сьогодні. Звісно пандемія коронавірусу, яка призвела до часткової ізоляції людей та зменшення рівня промислового виробництва дещо уповільнила цей процес, проте це уповільнення має лише тимчасовий характер.

Концентрація вуглекислого газу в атмосфері землі у січні



Очікуваними результатами зміни клімату є збільшення температури на землі, що призведе до танення льодовиків на північному та південному полюсах, у результаті якого підвищиться рівень світового океану у цілі міста, розташовані у низинних районах, підуть

під воду. Танення льодовиків призведе, у першу чергу, до масової загибелі усього живого, що живе у цих регіонах оскільки зруйнуються усі існуючі на сьогоднішній день природні харчові ланцюжки, і цим тваринам просто нічого буде їсти. Проте і мешканців, що живуть у більш високих місцевостях, також чекають значні неприємності.

Результати зміни клімату



Річ у тому, що ще задовго до танення льодовиків, розпочнуться значні зміни погоди, які будуть мати самий різноманітний вигляд: посухи та повені, зливи, буревії та навіть смерчі – усі ці явища за останні роки значно почастішали на території багатьох країн, і Україна не є винятком. Особливий масштаб у останні роки набули лісові пожежі, які проходять по всьому світу. Вони вже знищили сотні гектарів лісів і передумов для покращення цієї ситуації поки що не видно.

Результати зміни клімату



Україна, Миколаївська область
8 червня 2019 року



Україна, Болградський р-н,
село Оксамитове 1 вересня 2019 р.



Україна, Херсонська обл.
2019 рік

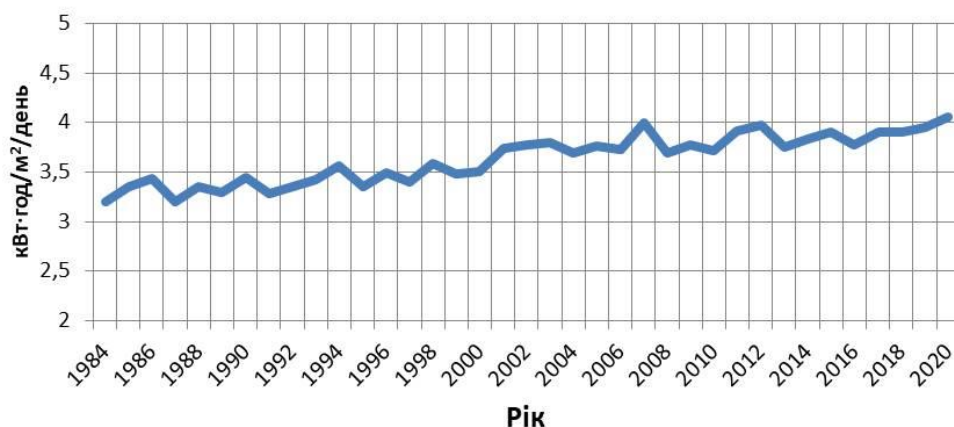


Лісові пожежі в Австралії
2020 рік

- Повені
- Буревії
- Смерчі
- Посухи
- Зливи
- Пожежі

І якщо хтось ще й досі вважає це випадковістю, то результати дослідження кількості сонячної енергії, що отримує за день один квадратний метр земної поверхні у місті Одеса з урахуванням погодних умов, показують, що за останні 40 років ця величина збільшилась майже на 20%. Це означає, що за останні 40 років у місті Одеса стало менше хмар, і, відповідно, менше дощів. Це вже призвело до порушення життя окремих рослин. Зокрема в Одесі та Одеській області стали масово хворіти каштани та грецькі горіхи, збільшилося кількість проблем із вирощування винограду, томатів, огірків та інших сільськогосподарських культур. Отже, як бачите, незважаючи на те, що Україна має доволі великі ресурси землі, придатної для вирощування продуктів харчування, зміна клімату може звести нанівець усі ці стратегічні переваги.

Середньорічний рівень інсоляції у місті Одеса з урахуванням погодних умов (дані NASA)



Головною причиною такої поведінки природи є втручання людини у природний коловорот вуглекислого газу у природі. Річ у тому, що на самому початку існування землі концентрація вуглекислого газу в атмосфері була набагато вищою, ніж зараз, і, відповідно температура поверхні землі також була набагато вищою ніж у наші дні. Та майже одразу після формування нашої планети на ній виникло життя, і рослини, які жили за рахунок реакції фотосинтезу, за мільярди років вивели вуглець із атмосфери, накопичивши його у власних тілах, які потім перетворилися на вугілля, нафту, природний газ, торф та інші органічні корисні копалини. Процесі реакції фотосинтезу вуглекислий газ, який рослина отримує безпосередньо з атмосфери, розщеплюється на кисень та вуглець. Вуглець йде на будівництво тіла рослини, а кисень повертається у атмосферу. Отже результатом такої реакції є зменшення в атмосфері землі концентрації вуглекислого газу та збільшення концентрації кисню. Оскільки така реакція рано чи пізно призведе до загибелі рослин, яким не стане чим дихати, то природа знайшла чим компенсувати цей процес. Ви добре знаєте, що окрім рослин на землі є це й тварини, які дихають киснем і видихають вуглекислий газ. Отже на землі вже мільйони років існує певна рівновага: рослини дихають вуглекислим газом та видихають кисень, а тварини навпаки – дихають киснем та видихають вуглекислий газ. Таким чином у природі існує коловорот кисню та вуглекислого газу, тому концентрація цих двох речовин була відносно стабільною.

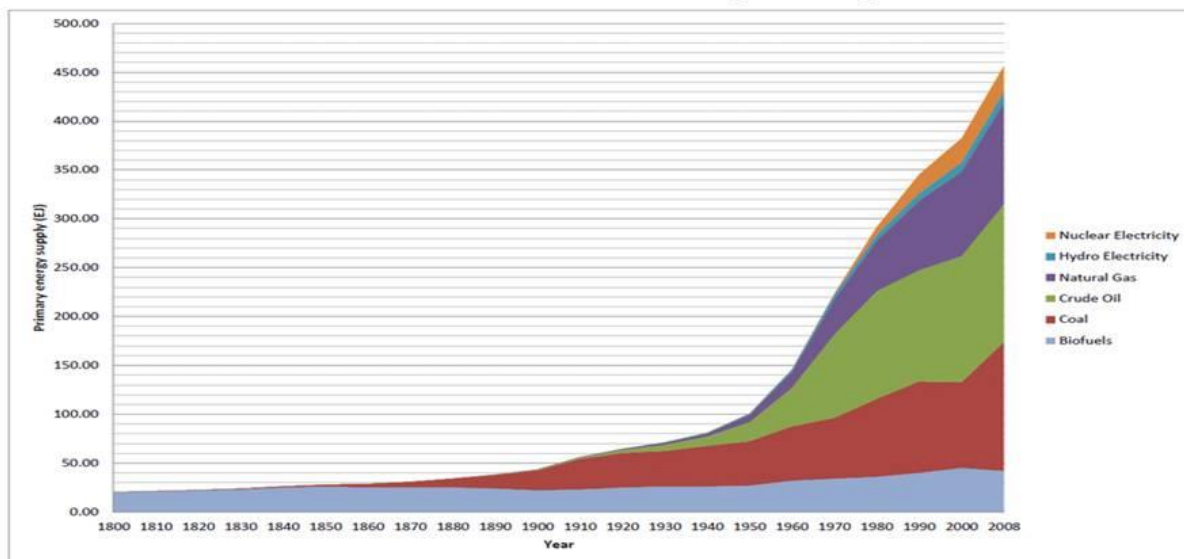
Коловорот вуглекислого газу в природі



- Вугілля
- Нафта
- Природний газ
- Торф
- Інші викопні органічні види палива

Проте коли людина зрозуміла, що залишки стародавніх рослин, а саме торф, вугілля, нафту та природний газ можна використовувати у якості джерел енергії, то людина, не подумавши про наслідки, почала активно їх використовувати. Це призвело до того, що вуглець, який мільярдами років виводився з атмосфери землі, зараз почав активно повертатися в атмосферу. При цьому, кількість рослин, які б могли його знову вивести з атмосфери, постійно зменшується, а якихось промислових агрегатів, спроможних виконувати цю функцію, людство поки ще не вигадало.

Споживання енергії у світі



Тому зараз по всьому світу спостерігається стала тенденція по зменшенню рівня екологічного навантаження на довколишній світ, зокрема, викидів парникових газів. Ця тенденція має два головних напрямки. Першим напрямком є зменшення кількості споживання енергії, він реалізується шляхом впровадження енергозберігаючих технологій, про які ми обов'язково будемо говорити на протязі усього курсу. А другим напрямком є поступова відмова від використання викопних органічних видів енергоресурсів та заміна їх альтернативними енергоресурсами.

Основні напрямки зменшення кількості викидів парникових газів



- Зменшення рівня споживання викопних видів енергоресурсів
- Перехід на альтернативні джерела енергії

Проте вже давно з'ясувалось, що досягти бажаного успіху в альтернативній енергетиці при використанні традиційних автоматизованих систем неможливо. Річ у тому, що альтернативні джерела енергії дуже нестабільні. При їх використанні доводиться аналізувати та враховувати величезний обсяг взаємозалежних факторів, і приймати одне більш-менш оптимальне рішення серед великої кількості можливих варіантів. Тому сучасні енергетичні системи, в яких інтегровані і традиційні і альтернативні джерела енергії вже використовують елементи штучного інтелекту.

Використання інтелектуальних пристроїв та систем



- Контроль та динамічне керування рівнем енергоспоживання
- Використання усіх наявних можливостей зменшення рівня використання джерел енергії, що забруднюють довколишній світ

Отже ви вже зрозуміли, що інтелектуальні пристрої та системи не є чимось винятковим. Вони існують та використовуються вже зараз, а потреба в них буде збільшуватися з кожним роком. Тому я маю надію, що цей курс стане вам у нагоді, і та інформація, яку ви будете отримувати на лекціях та практичних заняттях принесе користь у вашій майбутній професійній діяльності.

2. Сонячні колектори

Із попередньої лекції ви вже знаєте, що одним із актуальних напрямків розвитку сучасного людства є зменшення рівня екологічного навантаження на довколишнє середовище, причиною якого є значне забруднення довкілля продуктами технічної діяльності людини, у першу чергу – продуктами спалювання органічних видів палива, таких як вугілля, нафта та природний газ. Отже зараз людина практично вимушена шукати альтернативні види енергоресурсів, використання яких не призводить, або істотно зменшує кількість парникових газів, що викидаються в атмосферу Землі.

Та річ у тому, що використання альтернативних видів енергоресурсів пов'язане із певною кількістю технічних складностей, інакше людина вже б давно використовувала тільки альтернативні види енергії. Більше того, як показує практика, сучасні енергетичні системи повинні бути саме інтелектуальними, оскільки реалізувати їх на традиційних засобах автоматизації дуже складно, а інколи і взагалі неможливо. Але перед тим як почати розглядати безпосередньо інтелектуальні енергетичні системи, слід спочатку розібратися із особливостями альтернативних джерел енергії. І саме цим ми й будемо займатися на протязі кількох наступних тижнів.

А почнемо ми із розгляду джерел, що відносяться до сонячної енергетики. І це не випадково. Річ у тому, що сонце є практично невичерпним енергоресурсом, якого достатньо для того, що забезпечити енергією кілька десятків тисяч сучасних земних цивілізацій. Звісно, для людства отримувати та використовувати таку кількість енергії є поки що недосяжною задачею. Але навіть якщо реально оцінити потенціал сонячної енергетики, то виявиться, що навіть при сучасному рівні розвитку земної техніки тільки одне Сонце спроможне забезпечити усе людство майже безкоштовною і головне – екологічно чистою, енергією.

Сонце

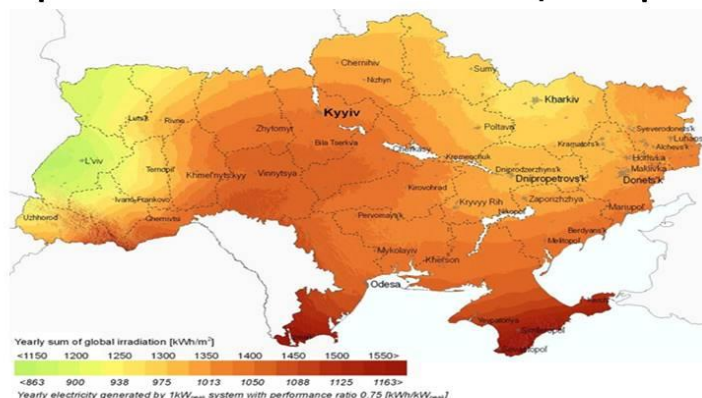


- Головне джерело енергії на Землі
- Середня потужність опромінення на рівні поверхні Землі – 1 кВт/м^2
- Річна кількість енергії, що отримує Земля від Сонця – $81\,000 \cdot 10^6 \text{ МВт-год}$ ($54\,000 \cdot 10^6 \text{ МВт-год}$ – океан, $27\,000 \cdot 10^6 \text{ МВт-год}$ – континенти)
- Річна кількість енергії, що споживає людство – $10 \cdot 10^6 \text{ МВт-год}$
- Технічно досяжний потенціал освоєння сонячної енергетики – $12 \cdot 10^6 \text{ МВт-год}$

Геліоенергетика потенційно спроможна повністю забезпечити людство енергією та відмовитися від викопних видів палива

Тема сонячної енергетики є дуже цікавою та актуальною для України. Річ у тому, що Україна знаходиться у зоні із високим технічним потенціалом цього енергоресурсу. Причому рівень цього потенціалу та зручність його використання інколи можуть бути навіть більшими, ніж у країн, розташованих в екваторіальній зоні, що мають найвищий рівень інсоляції. Річ у тому, що в екваторіальних країнах через високу температуру та віддаленість від районів масово проживання людей використання та транспортування виробленої енергії може бути дещо утруднене, хоча б через те, що, наприклад, ККД сонячних елементів істотно зменшується за високих температур.

Карта сонячної інсоляції України



Кількість енергії, що отримує поверхня Землі, залежить від багатьох факторів, у першу чергу від географічної широти конкретної місцевості. Але не тільки широта на це впливає. Деякі регіони, наприклад, розташовані в горах, через особливості рельєфу можуть мати підвищений рівень хмарності і великий відсоток опадів. Усе це негативно впливає на кількість енергії, яку можна отримати від Сонця. Ну і, звісно, кількість енергії, яку спроможні згенерувати сонячні енергетичні пристрої та системи, залежить від пори року. Для України рівень сонячної інсоляції взимку приблизно втричі менше за рівень, який отримає українська земля влітку. Це, звісно, не дуже добре з енергетичної точки зору, проте, як буде показано далі, навіть взимку кількість сонячної енергії, теоретично, може бути достатньою для якщо не повної відмови від традиційних видів енергоресурсів, то хоча б для зменшення кількості їх споживання.

Середній рівень сонячної радіації кВт·год/(м²·день)

Region	Місяць												Сер.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Вінниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,30	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,90	3,11
Дніпро	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36
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
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
Івано-Франківськ	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
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
Кропивницький	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
Луганськ	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	3,34
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
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
Хмельницький	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	3,06
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

Отже Сонце цілком спроможне забезпечити українських споживачів певною кількістю енергії. Але як цю енергію можна отримати та використовувати? На сьогоднішній день існує два головних напрямки використання сонячної енергії. Першим напрямком є перетворення сонячної енергії на теплову. Це один із найпростіших варіантів використання сонячної енергії. Проте теплову енергію дуже складно зберігати, передавати та великі відстані а також перетворювати в інші види енергії. Тому більш цікавим і більш перспективним є перетворення сонячної енергії на електричну, оскільки електричну енергію набагато простіше передавати на великі відстані та перетворювати в інші види енергії, наприклад, механічну або світлову.

Напрями використання сонячної енергетики в Україні

- **Перетворення в низькопотенційну теплову енергію для гарячого водопостачання** об'єктів, комунально-побутового і технологічного теплопостачання, потреб сільського господарства з коефіцієнтом корисної дії 45...60% (без попередньої концентрації потоку сонячної радіації) або 80...85% (з використанням концентраторів)
- **Перетворення в електричну енергію** за допомогою фотоперетворювачів з коефіцієнтом корисної дії 10...15%.

Оптимально підібране обладнання може зменшити річне використання енергії для підігрівання води на 50...60 % та електричної енергії на 50...70%.

У період з квітня по вересень правильно встановлена геліосистема може зменшити витрат тепла та енергії на 95 %!

Отже існує два напрямки використання сонячної енергії, які забезпечуються за допомогою спеціальних пристроїв, які називаються сонячними колекторами та фотоелементами. Сонячні колектори призначені для перетворення сонячної енергії на теплову, а фотоелементи – для перетворення сонячної енергії на електричну. Зовні ці пристрої дуже схожі – усі вони мають певну площину, яка поглинає сонячну радіацію, проте їх будова та принцип роботи зовсім різні. Про фотоелементи, більш відомі як сонячні батареї, ми поговоримо на одній із наступних лекцій. А сьогодні ми докладно розглянемо тільки сонячні колектори – пристрої, які перетворюють сонячну енергію на теплову.

Основні напрями використання сонячної енергії



Сонячні колектори – перетворюють сонячну енергію на теплову



Фотоелементи – перетворюють сонячну енергію на електричну

Для фахівців з галузі інформаційних технологій особливості використання сонячних колекторів, які, фактично тільки підігрівають воду або якийсь інший теплоносіє, може бути не таким цікавим, як використання сонячних батарей, які виробляють безпосередньо електричну енергію. Але так здається лише на перший погляд. Річ у тому, що якщо обчислити кількість енергії, яку отримують поверхні, середньостатистичного приватного будинку, розташованого, наприклад, в Одеській області, то виявиться, що в період опалювального сезону, що триває із жовтня по квітень, стіни та дах такого будинку отримують приблизно 150 ГДж теплової енергії. Приблизно така ж сама кількість енергії виділиться, якщо спалити 4 000 кубічних метрів природного газу – а це менше ніж потрібно для опалення подібної споруди. Зверніть увагу, що ця цифра була отримана за допомогою затверджених українськими законами методик, які використовуються будівельниками під час розрахунків, тому цій цифрі можна цілком довіряти. Отже виявляється, що, потенційно, для опалення наших будинків можна взагалі не використовувати природний газ, дрова або якийсь інші енергоносії. Це, звісно, лише теоретично. Та якщо навіть зберегти та використати хоча б половину цієї енергії, то це дозволить значно скоротити витрати на опалення, оскільки сонячну енергію нам, поки що, не потрібно купувати. Тому давайте розглянемо, які ж бувають сонячні колектори, як вони працюють, та як їх можна використовувати.

Рівень сонячної інсоляції



Сонячні колектори для підігріву води

Із найпростішим сонячним колектором ви усі, напевно, добре знайомі. Якщо влітку взяти звичайне відро з водою та поставити його в місце, що добре освітлюється сонцем, то через кілька годин вода нагріється і її можна використовувати, наприклад, для того, щоб помитися. Це й роблять багато українців. Тільки замість відер використовують більш великі ємності, наприклад бочки, бажано чорного кольору, який добре поглинає сонячні промені, і створюють споруди, відомі багатьом українцям як літній душ. А тепер саме цікаве. Виявляється що така бочка має офіційну технічну назву і називається відкритий сонячний колектор.

Найпростіший сонячний колектор



Ємність з водою (бажано чорного кольору), що знаходиться під сонячними променями, може влітку підігріти воду до температури 50...60 °C

Відкриті сонячні колектори можуть мати різні конструкції. Наприклад, для підігріву води в басейнах використовують спеціалізовані сонячні колектори, які, фактично, є чорним шлангом, згорнутим у спіраль або у прямокутник, по якому циркулює вода. Циркуляція води може бути природною або забезпечуватися за допомогою спеціальних насосів.

Відкритий сонячний колектор



- Найпростіший і найдешевший тип колектора
- Використовуються для нагрівання води у літніх басейнах та застосовуються у країнах з теплим кліматом і великою кількістю ясних сонячних днів

Інколи поверхню, що поглинає сонячні промені, додатково ізолюють від зовнішнього повітря за допомогою прозорої плівки – це зменшує кількість втрат тепла та підвищує

коефіцієнт корисної дії колектора. Відкриті сонячні колектори є найпростішими та найдешевшими сонячними колекторами. Їх можна зробити власноруч із матеріалів, що є в наявності. Проте, з точки зору енергоефективності, вони є найгіршими. В цих колекторах дуже багато тепла, отриманого від сонця, втрачається через контакт активних поверхонь із зовнішнім повітрям. Тому вони спроможні підігріти воду не більше ніж на 10...15 градусів по відношенню до температури довколишнього повітря. Через це відкриті сонячні колектори використовують лише влітку для підігріву води для басейнів, для літніх душів та для багатьох інших подібних застосунків. А от для того, щоб більш ефективно використовувати теплову енергію Сонця, особливо взимку, вже потрібно використовувати інші рішення.

Відкритий сонячний колектор



Переваги

- Простота
- Низька вартість
- Можливість зробити власноруч із доступних матеріалів

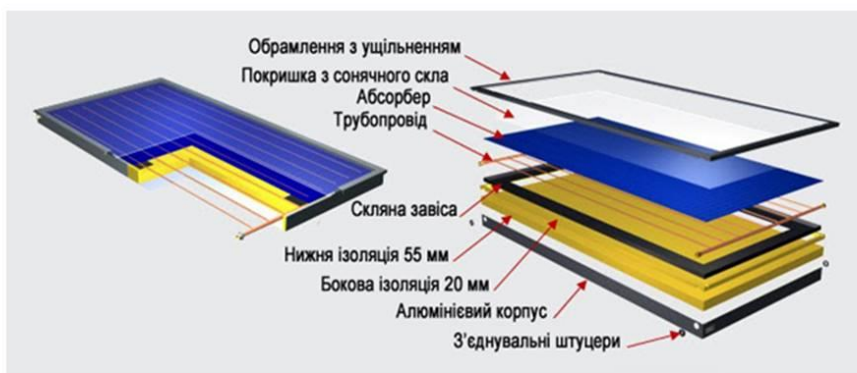
Недоліки

- Низька ефективність
- Невеликий термін експлуатації (залежить від типів використаних матеріалів)

Відсутність теплоізолятора робить відкриті сонячні колектори непридатними для використання при температурі повітря менше 20 °C

Одним із них є плоский сонячний колектор. Головним елементом плоского сонячного колектора є абсорбер – плоска металева пластина, вкрита шаром фарби, що добре поглинає сонячні промені. Із цією пластиною має гарний тепловий контакт система трубопроводів, по якій циркулює теплоносієм. Абсорбер та трубопроводи ізолюють від довколишнього середовища за допомогою шару теплоізоляції, у якості якого використовують пінопласт, мінеральну вату або інші теплоізоляційні матеріали. Усе це розміщується у відповідному корпусі, передня частина якого є прозорою. Зазвичай її виготовляють із віконного або органічного скла.

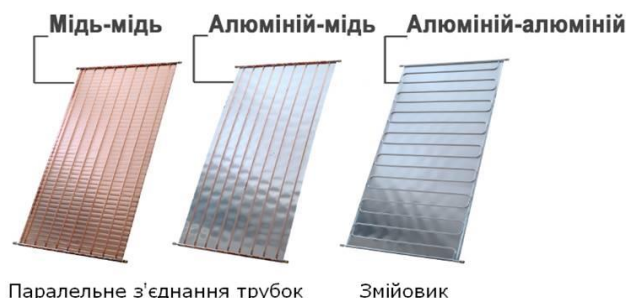
Плоский сонячний колектор



Конструкція системи абсорбер-трубопроводи може бути різною. Трубки можуть бути приварені до задньої стінки абсорбера або сформовані безпосередньо у його товщі. У якості матеріалів для трубок та абсорбера використовують метали, що мають високу теплопровідність. Найчастіше для цього використовують мідь, латунь та алюміній, проте можна використовувати і інші метали та сплави, наприклад, залізо або чавун. Трубки, що

забирають тепло від абсорбера, можуть бути з'єднані паралельно або мати форму змійовика. При паралельному з'єднанні трубок через сонячний колектор за одиницю часу можна пропустити більшу кількість теплоносія, проте температура його підігріву буде невисокою. А от формування трубок у формі змійки дозволить збільшити різницю температур води, що подається та видаляється з колектора, проте пропустити через таку систему велику кількість води буде набагато складніше.

Способи з'єднання трубок абсорбера



Плоский сонячний колектор є своєрідним компромісним рішенням. Він набагато ефективніший за відкриті сонячні колектори, але не такий ефективний як вакуумні сонячні колектори, про які піде мова далі. Відкриті сонячні колектори в українських кліматичних умовах можна використовувати лише влітку, у той час як плоскі сонячні колектори можна використовувати протягом усього року.

Плоский сонячний колектор



Переваги

- Простота
- Низька вартість
- Можливість зробити власноруч із доступних матеріалів
- Можливість роботи цілий рік

Недоліки

- Не сама висока ефективність

За допомогою плоских сонячних колекторів можна забезпечувати потреби у гарячій воді майже цілорічно

Ще однією перевагою плоских сонячних колекторів є те, що їх також можна виготовити власноруч. І дійсно, у конструкції плоских сонячних колекторів не використовуються специфічні матеріали і технології, тому при наявності відповідних інструментів та навиків роботи із металами, склом та деревом його можна виготовити в домашніх умовах. Більше того, для плоских сонячних колекторів можна використовувати елементи, що вже були у використанні. Наприклад, деякі українці виготовляють плоскі сонячні колектори, у яких функцію абсорбера виконують старі батареї опалення, а для передньої прозорої поверхні використовують шматки старого віконного скла.

Саморобний плоский сонячний колектор



Проте більшість українців все ж таки надають перевагу плоским сонячним колекторам, що виготовляються у промислових умовах. Зараз на ринку України та й інших країн, можна знайти доволі велику кількість плоских сонячних колекторів, які цілком придатні для використання у системах гарячого водопостачання та обігріву будинків. Встановлюють їх, зазвичай на дахах будинків, або на спеціальних стойках чи каркасах. Сонячні колектори, на відміну від сонячних батарей, зазвичай не потребують використання систем слідкування за сонцем. Тому в Україні їх монтують таким чином, щоб активна поверхня була зорієнтована на південь, а сам колектор встановлюють під фіксованим кутом, оптимальним для тої пори року, коли в ньому виникає найбільша потреба.

Плоскі сонячні колектори на даху будівлі



Як вже говорилося, плоскі сонячні колектори є певним компромісним рішенням. Компроміс полягає у найбільш оптимальному для більшості українських споживачів співвідношенні ціни та коефіцієнту корисної дії. Але якщо вам потрібно отримати максимальну кількість теплової енергії з мінімальної площі, тоді потрібно звернути увагу на вакуумні сонячні колектори, які на сьогоднішній день є найкращим технічним засобом, спроможним поглинути найбільшу кількість енергії.

Вакуумний сонячний колектор

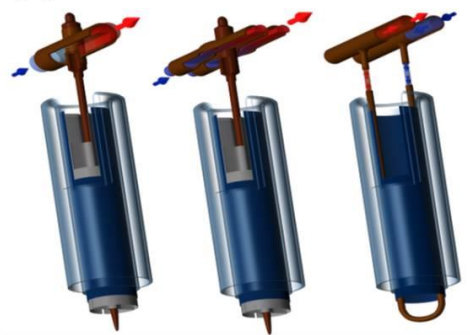


Основним елементом вакуумного сонячного колектора є трубка із спеціалізованого боросилікатного скла, яке спроможне витримати майже усі українські погодні умови, у тому

числі і середньостатистичний градус. Всередині такого скляного циліндра розташовується герметична мідна трубка, всередині якої знаходиться робоча рідина. Скляна трубка є герметичною – і з неї викачане повітря, тому ці колектори і називаються вакуумними. Відсутність повітря всередині трубки забезпечує мінімальні втрати тепла, тому ці колектори мають найвищий коефіцієнт корисної дії. Крім того, внутрішня поверхня скляного циліндра покрита спеціальною плівкою яка відбиває сонячні промені і, завдяки циліндричній формі, фокусує їх на поверхню мідної трубки. Циліндрична форма також сприяє підвищенню ефективності роботи всієї системи на протязі усього дня – особливо вранці та ввечері, коли сонце знаходиться під кутами, за якими плоскі сонячні колектори не працюють.

Відбір тепла відбувається від кінців мідної трубки, які через спеціальну герметичну пробку виводять назовні. Існує декілька різновидів вакуумних сонячних колекторів. У найпростішому та найдешевшому варіанті трубка має лише один кінець, який має тепловий контакт із зовнішнім контуром. Проте найбільшу ефективність показали сонячні колектори, у яких форма мідної трубки нагадує латинську букву U і назовні скляного циліндра виведені обидва кінці. Проте слід зауважити, що такі системи є більш складними і, відповідно, більш дорогими.

Види трубок сонячних колекторів



Вакуумні сонячні колектори складаються із певної кількості окремих вакуумних елементів, які розташовуються на спеціалізованому каркасі. Вакуумні сонячні колектори на території України можна використовувати цілорічно. Вони мають найбільшу ефективність, проте вони також мають і найбільшу ціну. На сьогоднішній день, за допомогою вакуумних сонячних колекторів можна практично повністю забезпечити власні потреби у гарячій воді. А ще їх також можна використовувати у системах обігріву приміщень.

Вакуумний сонячний колектор



Переваги

- Висока ефективність
- Можливість роботи цілий рік



Недоліки

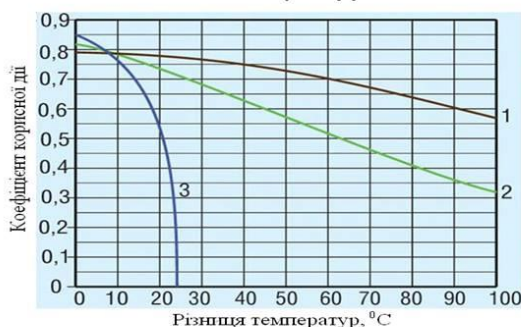
- Висока вартість

За допомогою вакуумних сонячних колекторів можна забезпечувати потреби у гарячій воді майже цілорічно

Ефективність різних типів сонячних колекторів добре видно на графіку, який ви зараз бачите на екрані. Як бачите, відкриті сонячні колектори через великі втрати тепла неспроможні підігріти теплоносієм більше ніж на 20°. Реально ж вони можуть збільшити температуру теплоносія приблизно на 10°. Плоскі та вакуумні сонячні колектори є більш ефективними і можуть підвищити температуру теплоносія на доволі велику кількість

градусів. Особливо це стосується вакуумних сонячних колекторів, які навіть взимку та у хмарну погоду спроможні підігріти воду до температури 60...80 °С.

Залежність ККД сонячних колекторів від різниці температур

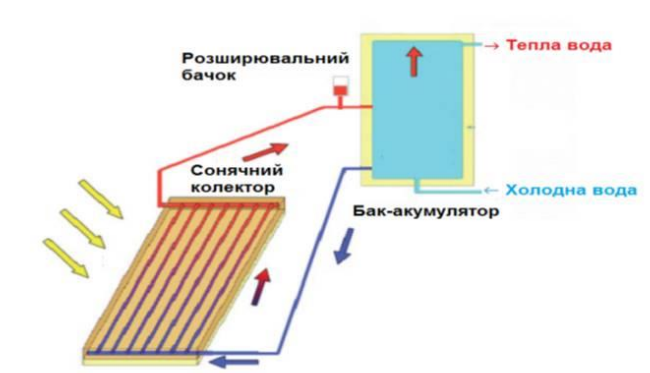


1 – вакуумний, 2 – плоский, 3 – відкритий

Проте для того що реально використовувати сонячні колектори у системах гарячого водопостачання одного тільки сонячного колектора недостатньо. Ви ж самі добре розумієте, що потреба у гарячій воді може бути цілодобовою, а сонце світить лише вдень. Та й на протязі світлового дня можуть бути години ясної погоди, а можуть бути години, коли на небі присутні хмари і рівень інсоляції зменшується у рази. Отже для компенсації цих коливань потрібно мати якийсь тепловий акумулятор.

У якості таких теплових акумуляторів використовують спеціальні теплоізовані баки, у яких власне і зберігається гаряча вода. Інколи такі баки називають бойлерами. У найпростішому випадку сонячний колектор підключають до бойлера безпосередньо, і по його трубкам протікає та ж сама вода, яку використовують на практиці. Така система називається одноконтурною. В одноконтурній системі один вивід сонячного колектора підключається до нижньої частини бака. Із цієї трубки холодна вода попадає у сонячний колектор, підігрівається, і через інший вивід знову повертається у середню частину бака. Оскільки її температура у цей момент є найвищою, то вона піднімається у верхню частину бойлера, і за необхідності використовується за призначенням.

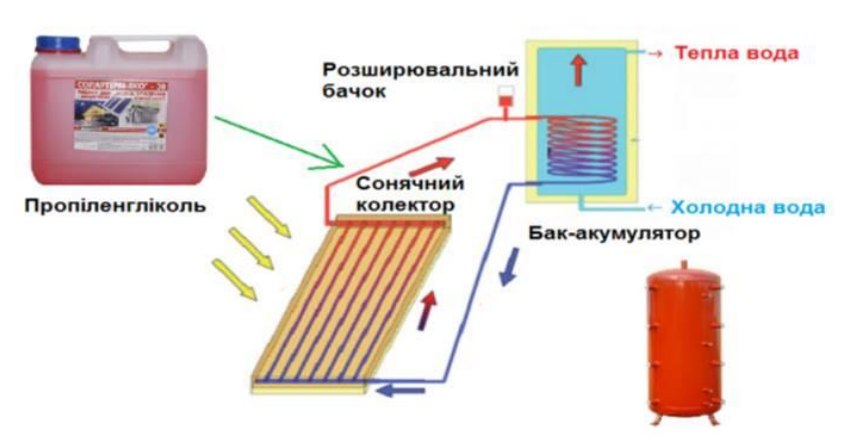
Одноконтурна система гарячого водопостачання із використанням сонячних колекторів



Перевагами одноконтурної системи є простота та низька вартість. Проте в кліматичних умовах України таку систему можна використовувати лише за позитивних температур довколишнього середовища. Коли температура повітря стає нижче нуля вода у сонячному колекторі та з'єднувальних трубках може замерзнути, що призведе до виходу з ладу усієї системи. І якщо у морозний день така система ще, можливо, якось зможе працювати, проте вночі, коли сонце освітлює протилежну половину земної кулі, імовірність замерзання води при негативних температурах дорівнює майже 100%.

Виходом із цієї ситуації є заміна води на якийсь інший теплоносі, який не буде замерзати. У якості такого носія може виступати пропіленкліколь – рідина, яку використовують в автомобілях для очистки скла взимку. Але пропіленкліколь не повинен ніяк контактувати із водою. Тому для його циркуляції у системах опалення та гарячого водопостачання створюють окремий ізольований контур. Така система отримала назву «двоконтурна». Вона дійсно складається із двох контурів: у першому контурі циркулює рідина, яка не замерзає при негативних температурах, а у другому – безпосередньо вода. Для обміну тепловою енергією у баку накопичувача встановлюють додатковий теплообмінник, виготовлений з мідної або латунної трубки, наприклад, згорнутої у спіраль і розташованої всередині бака.

Двоконтурна система гарячого водопостачання із використанням сонячних колекторів



Як вже було не раз сказано раніше, сонячні колектори можна використовувати не тільки у системах гарячого водопостачання, а ще й в системах опалення. Приклад такої системи опалення ви зараз бачите на екрані. Її головним елементом є бак-накопичувач, вода з якого циркулює по радіаторам, які підігрівають повітря всередині приміщень. До цього баку підключаються усі наявні джерела тепла, що є в будівлі. Це можуть бути газові або твердопаливні котли, теплові насоси і сонячні колектори. Така система опалення обов'язково повинна бути автоматизованою і автоматично регулювати кількість теплоносія, що подається у радіатори. Інакше температура у приміщеннях буде залежати від температури води в баку, яка у сонячний день може значно збільшитися. Якщо ж енергії, яку дає сонце, недостатньо для підтримання необхідної температури, тоді вмикаються котли, які і забезпечать необхідний рівень комфорту.

Система опалення із використанням сонячних колекторів



Зверніть увагу на одну цікаву річ. У розглянутих системах сонячна енергія не є єдиним видом енергії, яка використовується для обігріву приміщень. Тобто система опалення із сонячними колекторами не замінює повністю традиційну систему опалення, а лише доповнює її додатковим джерелом тепла. Тому у подібних системах опалення сонячна енергія на замінює інші види енергоресурсів, а лише зменшує кількість інших енергоносіїв. Тобто, ми беремо від Сонця те, що можемо забрати, а залишок необхідної енергії ми беремо із традиційних джерел.

І ще один момент. У загальному випадку, системи опалення та гарячого водопостачання можуть бути самостійними та незалежними. Таким чином, у будівлі повинно бути два баки – один для зберігання чистої гарячої води, яку можна використовувати також і для приготування їжі, і один бак для зберігання гарячої води, яка циркулює по системі опалення. Вода, що циркулює у системі опалення, є технічною і може мати певні хімічні домішки, наприклад для зменшення рівня накипу в батареях та трубах, тому її не можна використовувати для побутових потреб.

Проте зараз з кожним роком все більшої популярності набувають комбіновані системи у яких системи обігріву та гарячого водопостачання об'єднані. У таких системах використовується один бойлер, який фактично складається із двох, причому бак для побутової гарячої води розташовується всередині загального бака, що використовується для системи обігріву приміщень. Така система, хоч і є більш складною у технічному плані, проте виявляється дешевшою і потребує меншої площі за рахунок використання лише одного бака.

Комбінована система опалення та гарячого водопостачання



Зверніть увагу, що подібну систему дуже складно налаштовувати та контролювати у ручному режимі. І дійсно, навіть якщо погодні умови не змінюються на протязі дня, усе одно, таку систему потрібно переналаштовувати щонайменше двічі за добу, оскільки вночі сонячні колектори не функціонують. А ще потрібно постійно підлаштовуватись під погодні умови, оскільки від них також безпосередньо залежить кількість, яка витрачається на опалення. Тому подібні системи обов'язково повинні бути автоматизовані.

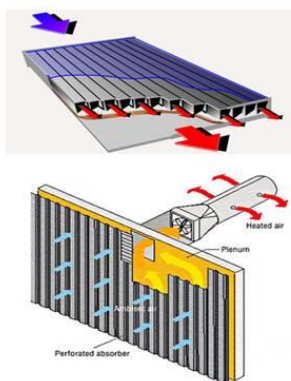
Однак звичайними засобами автоматизації підтримувати необхідний рівень ефективності такої складної системи опалення майже неможливо. Тому зараз для керування подібними системами використовують комп'ютери із відповідним програмним забезпеченням. Використання комп'ютерів дозволяє не тільки підтримувати систему у робочому режимі, а ще дистанційно, через мережу Інтернет, керувати нею, а також оптимізувати певні процеси по критерію мінімальних витрат енергоресурсів. Тому сьогодні для керування подібними системами усе частіше використовують штучний інтелект, наприклад, на основі нейронних мереж.

Сонячні колектори для підігріву повітря

Усі розглянуті приклади сонячних колекторів призначалися для підігріву речовин у рідкому стані, наприклад, води, пропіленгліколю, або якихось інших рідин. Напевно ви також звернули увагу на те, що при використанні рідини у якості енергоносія, центральним елементом системи гарячого водопостачання або системи обігріву приміщень є бак-накопичувач, який виконує функцію теплового акумулятора. А тепер на хвилинку уявіть собі цю систему. Бак-накопичувач може мати об'єм кілька сотень, а для великих будинків – і кілька тисяч літрів. Тобто, це доволі великий і важкий елемент, який у будь-якому місці приміщення не встановиш. Крім того, система теплоізованих трубопроводів також є доволі складним інженерним об'єктом, який має доволі великі розміри.

Із системою гарячого водопостачання усе зрозуміло – підігрів води є кінцевою метою роботи цієї системи, тому баз баку, трубопроводів, кранів та насосів не обійтись ніяк. А от більшість систем обігріву приміщень, у кінцевому рахунку, призначені для обігріву повітря. Дійсно, у традиційній системі опалення є газовий, електричний або твердопаливний котел, який підігріває теплоносії, який потім подається до радіаторів опалення, які передають своє тепло повітрю. А чи можна за допомогою сонця гріти безпосередньо повітря? Виявляється, що можна. І на сьогоднішній день існує певних клас сонячних колекторів, які отримали назву «повітряні сонячні колектори».

Повітряний сонячний колектор



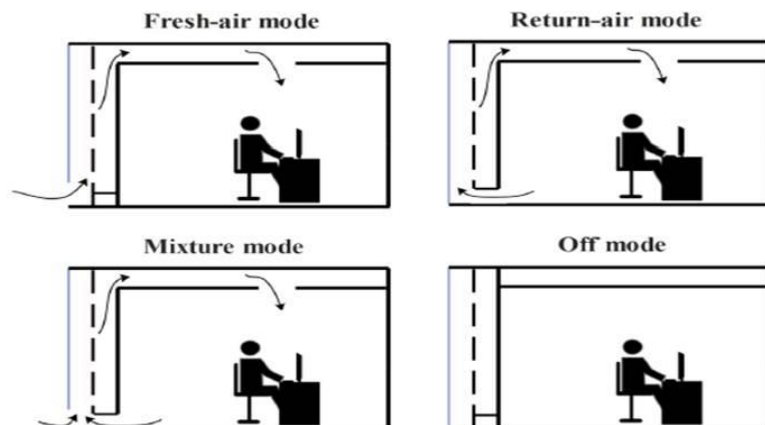
- Проста конструкція
- Проста інтеграція у будівлю
- Можлива комбінація із системою вентиляції
- Можна використовувати існуючі будівельні матеріали (наприклад, шифер або металопрофіль)
- Можна зробити власноруч із доступних матеріалів

Конструкція повітряного сонячного колектора подібна до конструкції сонячного колектора, призначеного для підігріву рідини. Він також має абсорбер – спеціальну поверхню, яка добре поглинає сонячні промені. Але із цією поверхнею замість рідини контактує повітря. Абсорбер може розташовуватись як безпосередньо на вулиці, тобто фізично контактувати із повітрям довколишнього середовища, так і, так само як в плоских та вакуумних сонячних колекторах, розташовуватись у теплоізованому відсіку за прозорим склом. Головною перевагою повітряних сонячних колекторів є простота. Його не потрібно герметизувати, його можна розташовувати у будь-якому місці будівлі. Більше того, у якості абсорбера можна використовувати навіть існуючі огорожувальні конструкції будівлі.

Зараз на екрані ви бачите повітряний сонячний колектор, інтегрований в одну зі стін будівлі – зазвичай, це стіна, орієнтована на південь. Як бачите, у цьому випадку, сонячний колектор може працювати у кількох режимах. У режимі обігріву, повітря забирається із нижньої частини приміщення, проходить через сонячний колектор, а потім це підігріте сонцем повітря повертається у верхню частину приміщення. У режимі вентиляції, повітря забирається із довколишнього середовища, підігрівається сонячним колектором і надходить у верхню частину приміщення. У цьому режимі забезпечується не тільки обігрів приміщення, а ще й заміна повітря у приміщенні, що є дуже важливою умовою для забезпечення необхідного рівня комфорту. Ця система також може працювати і у змішаному режимі, коли тепле повітря, що надходить у приміщення має лише частку свіжого повітря. Ну і ніхто не

забороняє вимкнути цю систему взагалі, наприклад, вночі, коли сонячні колектори не функціонують.

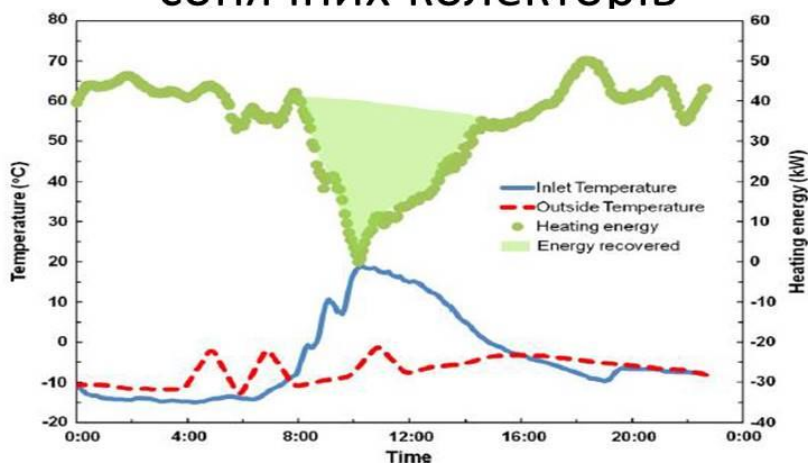
Різні варіанти використання повітряних сонячних колекторів



Зверніть увагу на простоту такого рішення. У даному випадку не потрібно монтувати додаткову систему трубопроводів та встановлювати якісь баки-накопичувачі. Для роботи цієї системи достатньо лише мінімальної переробки приміщення та використання кількох малопотужних вентиляторів, які, до речі, можна живити і від сонячних батарей, оскільки сонячні батареї будуть вироблювати електричну енергію лише тоді, коли буде світити сонце.

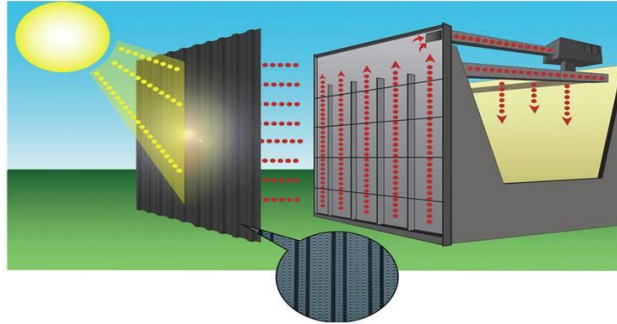
Результати досліджень подібних систем показують, що повітряні сонячні колектори також спроможні зменшити кількість енергії, яка використовується для обігріву приміщень. Як видно з графіку, що ви зараз бачите на екрані, це відбувається, природно, вдень, причому кількість енергії, отриманої від повітряного сонячного колектора, достатньо навіть для повного вимкнення системи опалення десь близько півдня.

Результати досліджень повітряних сонячних колекторів



Ключовою особливістю повітряних сонячних колекторів є те, що у якості їх можна використовувати навіть існуючі огорожувальні конструкції будівель, наприклад, стіни, виготовлені із металевого профілю. Поверхня, що абсорбує сонячне тепло, може бути суцільною, а може й мати невеличкі отвори для забору зовнішнього повітря. У цьому випадку система обігріву приміщення фактично інтегрується із системою вентиляції, забезпечуючи будівлю теплим та чистим повітрям щонайменше на протязі світлового дня.

Принцип роботи повітряного сонячного колектора



Поверхня, що абсорбує сонячне тепло, також може розташовуватись за захисним склом. Таке рішення зменшує величину втрат тепла, та підвищує коефіцієнт корисної дії усієї системи. Результати досліджень експериментальних будівель, створених за подібною технологією, показують, що цей напрямок є доволі перспективним і може зменшити кількість енергоресурсів, що використовуються взимку для обігріву приміщень.

Повітряний сонячний колектор



Особливістю та ключовою перевагою повітряних сонячних колекторів є простота конструкції, тому доволі багато українських винахідників виготовляють подібні системи власноруч із матеріалів, що є у наявності. На фотографії, що ви зараз бачите на екрані, показаний повітряний сонячний колектор, створений із чорних пластикових поліетиленових труб, що є найдешевшими на українському ринку. Як видно із фотографії, для теплоізоляції використовуються одноразові пластикові пляшки. На жаль, більшість саморобних сонячних колекторів виготовляється людьми, що не мають необхідної наукової освіти, тому об'єктивно кількісно оцінити ефективність роботи такого колектора дуже складно.

Повітряний сонячний колектор із пластикових пляшок



Ще одну конструкцію саморобного повітряного сонячного колектора ви також бачите на екрані. У якості абсорбера, тобто поверхні, що акумулює сонячне тепло, використовуються алюмінієві банки у яких продають різні напої. Ці банки склеюються у повітряні труби, які потім, для покращення поглинання сонячних променів фарбуються у чорний колір. Уся конструкція розташовується у теплоізовованому дерев'яному ящику, передня стінка якого виготовляється зі скла. Така конструкція розташовується або на стіні, або на даху будівлі, а циркуляція повітря всередині колектора забезпечується малопотужним вентилятором через два отвори, зроблені в стіні безпосередньо у місці розташування сонячного колектора. На жаль, об'єктивні дослідження роботи такої системи також відсутні, тому зараз поки що не можна оцінити ні кількість теплової енергії, яку можна отримати від подібної конструкції, ні її коефіцієнт корисної дії.

Повітряний сонячний колектор із алюмінієвих банок

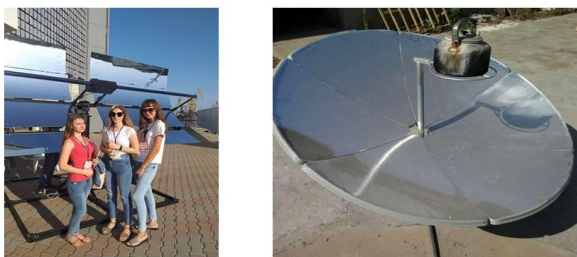


Сонячні концентратори

І наостанок, розглянемо ще кілька напрямків використання сонячних колекторів, які через технічну складність є менш популярними, проте теоретично вони можуть забезпечити більшу енергетичну ефективність ніж системи, які ми розглядали перед цим.

Одним із таких напрямків є використання сонячних концентраторів. Основним елементом сонячного концентратора є параболічне дзеркало, у фокусі якого розташовується абсорбер – елемент який поглинає сонячну енергію. Наявність дзеркала дозволяє значно підвищити температуру теплоносія, що розташовується у його фокусі. В експериментальних системах, призначених для розчеплення води на кисень та водень, у сонячний день фокусі дзеркал можна отримати температуру, що досягає кількох тисяч градусів Цельсія. Навіть прості установки із параболічними дзеркалами дозволяють підігрівати воду до температури кипіння, що цілком достатньо для приготування їжі, тому подібні установки отримали назву «сонячні печі».

Сонячні концентратори



Недоліком параболічних концентраторів є необхідність слідувати за сонцем, тобто подібні системи повинні постійно слідити за тим, щоб абсорбер постійно знаходився у фокусі. На лівій фотографії показано перший український параболічний сонячний концентратор, виготовлений фахівцями із Дніпра, оснащений автоматичною системою слідування за сонцем, тобто уся ця конструкція має можливість обертатися у двох площинах – по вертикалі та горизонталі. Особливістю цієї конструкції є зменшена парусність, що забезпечується спеціальною формою дзеркал, які для цього були поділені на сегменти. Таке рішення дозволяє витримувати навіть самі сильні вітри, які бувають на території України. Цей сонячний концентратор був представлений на міжнародній виставці «Електроніка та енергетика», яка постійно проходила у вересні в Одесі на морському вокзалі. Коли була можливість ми зі студентами, яких ви також бачите на лівій фотографії, щорічно її відвідували для того, щоб знайомитись із останніми досягненнями українських та закордонних виробників електронного та енергетичного обладнання.

Сонячні концентратори



Сонячні концентратори можуть мати саму різноманітну конструкцію. Наразі існує доволі багато варіантів побудови дзеркал. Деякі моделі потребують зміщення дзеркала лише по одній вісі, а деякі – по двом, а деякі не потребують зовсім. Усі конструкції мають свої переваги, недоліки та особливості і наразі не існує, якихось сталих рішень у цьому напрямку. Проте головною особливістю параболічних сонячних колекторів є надвисока температура, що утворюється у фокусі дзеркала – яка набагато перевищує температуру кипіння води, тобто 100°C . Це, з одного боку, ускладнює використання їх для підігріву води, а з другого – розширює сферу їх застосування.

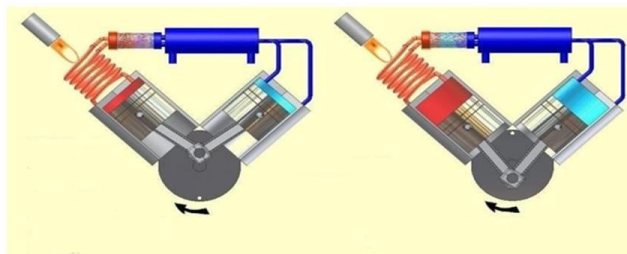
Одним із прикладів практичного використання параболічних сонячних концентраторів, використання їх для генерації електричної енергії. На наступній лекції ми будемо докладно розглядати особливості сонячних електростанцій, проте ми будемо розглядати сонячні електростанції основі фотоелементів. А на рисунку, що ви зараз бачите на екрані, показаний параболічний сонячний концентратор, у фокусі дзеркала якого розташований двигун Стірлінга, точніше один з його різновидів. Двигуни Стірлінга є одними із самих ефективних двигунів, що для роботи яких не потрібно палива, а потрібна лише різниця температур. У даному випадку сонячна енергія, сконцентрована у фокусі параболічного дзеркала, за допомогою двигуна Стірлінга перетворюється на механічну, яка потім за допомогою звичайного електричного генератора перетворюється на електричну.

Сонячна електростанція потужністю 25 кВт
(діаметр дзеркала – 13 м)



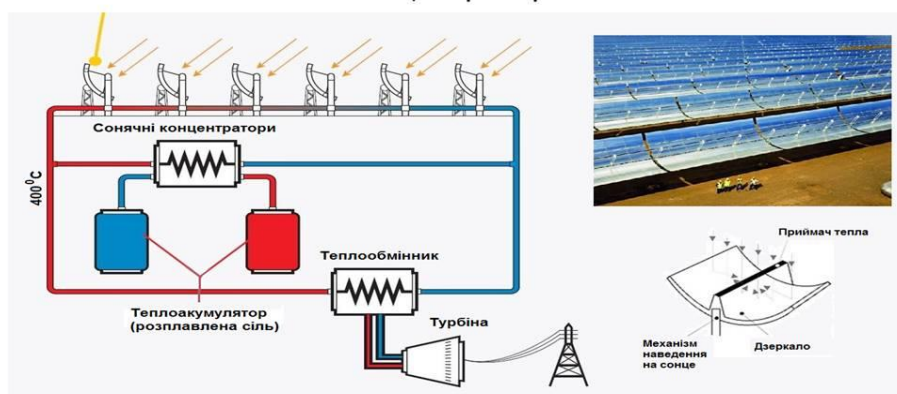
Такі сонячні електростанції мають більший коефіцієнт корисної дії, порівняно із сучасними електростанціями на фотоелементах. Як бачите, при діаметрі дзеркала лише 13 м, що має площу близько 130 м², така система може розвинути потужність до 25 кВт. Для порівняння традиційна сонячна електростанція на фотоелементах, з аналогічною площею, буде мати потужність близько 13 кВт, що удвічі менше. Проте такі електростанції є доволі складними та дорогими, хоча б через те, що дзеркало повинно бути постійно спрямоване на сонце.

Двигун Стірлінга



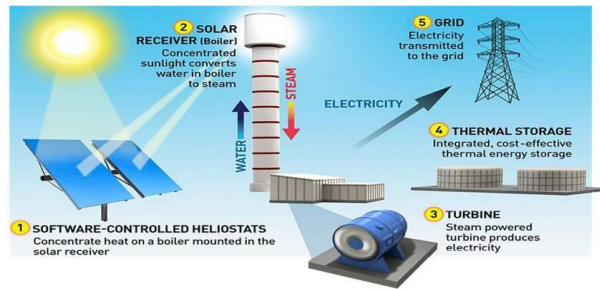
Ще одним варіантом сонячної електростанції на параболічних сонячних концентраторах, є електростанція, у якій сонячні колектори використовуються традиційно – для підігріву теплоносія. Проте теплоносієм у цій системі використовується не для побутових потреб, а для обертання турбіни, з'єднаної із електричним генератором. Тобто така електростанція працює майже так само, як і звичайна теплова електростанція. Тільки теплоносієм у даному випадку підігрівається не вугіллям або природним газом, а сонцем. Зверніть увагу на наявність теплового акумулятора, у якості якого використовується ємність із розплавом солі. Наявність такого акумулятора дозволяє, по-перше, оперативно регулювати потужність електростанції, що є обов'язковою умовою для інтеграції її у загальну енергетичну мережу, а по-друге, дозволяє запасати теплову енергію і працювати у періоди, коли сонячні концентратори не функціонують, наприклад, у похмурий період доби або вночі.

Електростанція на основі параболічних сонячних концентраторів



Ще одним прикладом використання сонячної енергії є сонячні башти або сонячні вежі. Наразі їх існує два варіанти. У першому випадку сонячні промені за допомогою системи дзеркал, що обертаються за допомогою комп'ютера, фокусуються на верхівці башти, де накопичена енергія передається теплоносієм. Потім цей теплоносієм подається на турбіну, яка обертає генератор, який, у свою чергу, виробляє електричну енергію. Тобто ця система дуже сильно нагадує електростанцію, яку ми перед цим розглядали, тільки у попередній електростанції використовувались сонячні концентратори, розташовані на поверхні землі, а у цій системі уся теплова енергія концентрується в одному місці.

Сонячні башти (вежі)



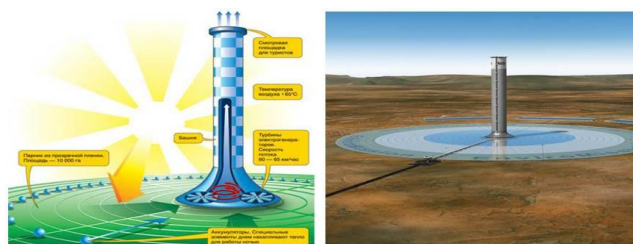
Наразі в світі існує кілька подібних сонячних башт. Тільки у США з 1982 року було побудовано декілька станцій баштового типу потужністю від 10 до 100 МВт. Докладний економічний аналіз систем цього типу показав, що з урахуванням всіх витрат на спорудження 1 кВт встановленої потужності коштує приблизно 1150 доларів США, а одна кіловат-година електроенергії, виробленої за допомогою електростанцій подібного типу коштує близько 15 центів США.

Сонячні башти



Іншим типом сонячних башт є теплотягові сонячні башти. Вони мають зовсім інший принцип роботи. У цій системі поверхня землі навколо башти вкривається теплоізолятором, наприклад склом, або поліетиленовою плівкою. Отже тут у якості абсорбера використовується безпосередньо поверхня землі. Тепле повітря, підігріте землею, підіймається по трубі, встановленій всередині теплоізолюваної ділянки, створюючи достатньо потужний повітряний потік. Цей потік обертає лопаті вітрогенераторів, які і вироблюють електричну енергію. Особливістю такої конструкції є те, що землю навколо башти, можна використовувати для сільськогосподарських потреб, оскільки земля, вкрита склом, фактично є теплицею, де можна вирощувати рослини. Отже головною перевагою електростанцій подібного типу є те, що більше 90% землі, яку вона займає, можна використовувати для інших потреб, що є дуже цікавим для України, більшість території якої є орною землею.

Теплотягова сонячна башта



Отже тепер ви зрозуміли, що сонячна енергетика є дуже цікавим та перспективним напрямком для України. Більше того, ця галузь енергетики дуже бурхливо розвивається. А головне – у цих системах обов’язково повинні використовуватись інформаційні технології та відповідне програмне забезпечення, оскільки досягти високої ефективності систем опалення та гарячого водопостачання, у яких використовуються сонячні колектори, а також сонячних електростанцій, які працюють в умовах та режимах, що постійно змінюються, ні теоретично, ні практично неможливо.

3. Сонячні фотоелементи

На попередній лекції ми з вами почали розглядати елементи інтелектуальних енергетичних систем, зокрема – систем альтернативної енергетики. Ви пам'ятаєте, що сонячна енергетика є доволі перспективним напрямком як для всього людства, так і для України, хоча б через те, що навіть при сучасному рівні розвитку технологій лише тільки одна сонячна енергетика спроможна забезпечити енергією майже усе людство. А загальної кількості енергії, яку виробляє наше сонце, достатньо для того щоб забезпечити енергією кілька тисяч таких цивілізацій як сучасна земля.

Сонце



- Головне джерело енергії на Землі
- Середня потужність опромінення на рівні поверхні Землі – 1 кВт/м^2
- Річна кількість енергії, що отримує Земля від Сонця – $81\,000 \cdot 10^6 \text{ МВт} \cdot \text{год}$ ($54\,000 \cdot 10^6 \text{ МВт} \cdot \text{год}$ – океан, $27\,000 \cdot 10^6 \text{ МВт} \cdot \text{год}$ – континенти)
- Річна кількість енергії, що споживає людство – $10 \cdot 10^6 \text{ МВт} \cdot \text{год}$
- Технічно досяжний потенціал освоєння сонячної енергетики – $12 \cdot 10^6 \text{ МВт} \cdot \text{год}$

Геліоенергетика потенційно спроможна повністю забезпечити людство енергією та відмовитися від викопних видів палива

Ви вже знаєте, що отримати енергію від сонця можна за допомогою двох типів пристроїв: сонячних колекторів та фотоелементів. На минулій лекції ми з вами докладно розглянули, сонячні колектори. Ви пам'ятаєте, що сонячні колектори перетворюють енергію сонячної радіації на теплову, яку потім можна використовувати або безпосередньо – для підігріву води та обігріву приміщень, або перетворювати спочатку на механічну, а вже потім за допомогою електрогенераторів – на електричну.

Основні напрями використання сонячної енергії



Сонячні колектори – перетворюють енергію електромагнітного випромінювання на теплову



Сонячні фотоелементи – перетворюють енергію електромагнітного випромінювання на електричну

А ще ми з'ясували, що існують кілька типів систем обігріву приміщень та гарячого водопостачання на основі сонячних колекторів. За позитивних температур довколишнього середовища використовуються більш прості та дешеві одноконтурні системи, а от цілорічно отримувати теплову енергію від сонця в умовах українського клімату можна лише за допомогою більш складних та дорогих двоконтурних систем, в яких у якості теплоносія використовуються рідини, що не замерзають при негативних температурах, такі як пропіленгліколь. І ви ще пам'ятаєте, що існують також і комбіновані системи, у яких системи обігріву приміщень та гарячого водопостачання об'єднуються в одну.

Комбінована система опалення та гарячого водопостачання



Сьогодні при продовжимо розглядати елементи інтелектуальних енергетичних систем майбутнього. У цій лекції мова піде про інші типи перетворювачів енергії сонячного випромінювання на електричну, які називаються фотоелементами. Особливістю цих пристроїв є те, що вони перетворюють енергію електромагнітного випромінювання, чим фактично і є світло, безпосередньо на електричний струм без будь-яких проміжних перетворень у інші види енергії.

Сонячні фотоелементи



Сонячні фотоелементи перетворюють енергію електромагнітного випромінювання безпосередньо на електричну без будь-яких проміжних перетворень в інші види енергії

Типи сонячних фотоелементів

На сьогоднішній день, людина винайшла декілька типів пристроїв, здатних перетворити енергію електромагнітного випромінювання безпосередньо на електричну, проте найбільш поширеними із них є фотоелементи. До появи напівпровідникової техніки електровакуумні фотоелементи були єдиним типом пристроїв, які могли виконувати таку функцію. Проте електровакуумні фотоелементи мають значні габарити та невисокий коефіцієнт корисної дії, тому зараз вони використовуються лише у якості датчиків випромінювання в обмеженій кількості специфічних застосунків. Через це ми їх далі розглядати не будемо, оскільки про жодні енергетичні системи на основі вакуумних фотоелементів мені, поки ще, не відомо.

Отже зараз перетворити енергію світлового випромінювання безпосередньо на електричну із відносно високим ККД можна лише за допомогою напівпровідникових фотоелементів. Фотоелементи цього типу є фотодіодами, на виводах яких виникає електрорушійна сила при освітленні їх р-n переходу. Проте на відміну від фотодіодів, які використовують у якості датчиків випромінювання і зовні мало чим відрізняються від інших електронних компонентів, фотоелементи, призначені для використання у якості джерел живлення, мають специфічну конструкцію, яку важко з сплутати з чимось іншим.

Фотоелемент



Електровакуумний фотоелемент

Фотоелемент – електронний прилад, який перетворює енергію фотонів у електричну енергію

Типи фотоелементів:

- Електровакуумні
- Напівпровідникові

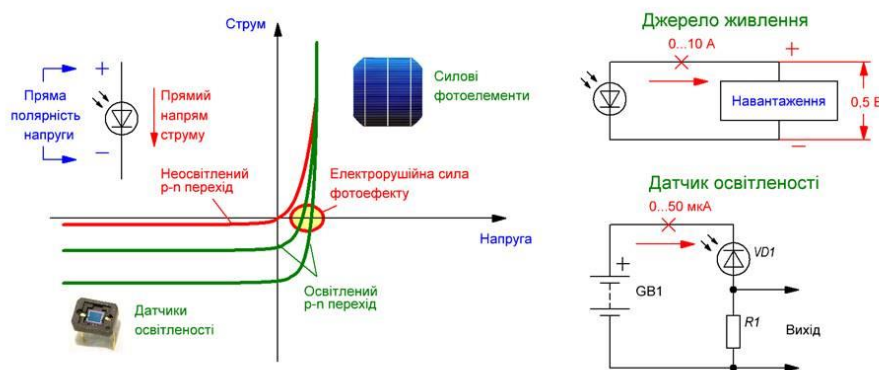
Для генерації електричної енергії використовуються напівпровідникові фотоелементи

7

Вольт-амперна характеристика фотодіода із неосвітленим р-п переходом нічим не відрізняється від вольт-амперної характеристики звичайного напівпровідникового діода. Так само як і в діоді, якщо прикласти до його виводів напругу у прямій полярності, тобто плюсом до анода, а мінусом до катода, то через нього почне протікати доволі значний струм, а напруга на виводах буде приблизно 0,7 В. Якщо ж прикласти до неосвітленого фотодіода зворотну напругу, тобто плюсом до катода а мінусом до анода, то через нього буде протікати лише незначний зворотний струм, який інколи навіть важко визначити за допомогою вимірювальних приладів.

Проте поведінка фотодіода кардинально змінюється якщо його р-п перехід освітити. Якщо до освітленого р-п переходу буде прикладено зворотну напругу, наприклад, від стороннього джерела живлення, то через фотодіод почне протікати зворотний струм, який буде залежати від рівня освітлення і майже не буде залежати від зовнішньої напруги. Величина цього струму незначна, зазвичай, не більше 50 мкА, проте її цілком достатньо для доволі точного визначення не тільки факту освітлення, а ще й його інтенсивності. Цей ефект використовується у різноманітних датчиках, наприклад, датчиках, що автоматично вмикають штучне освітлення у темну пору доби.

Вольт-амперна характеристика фотодіода

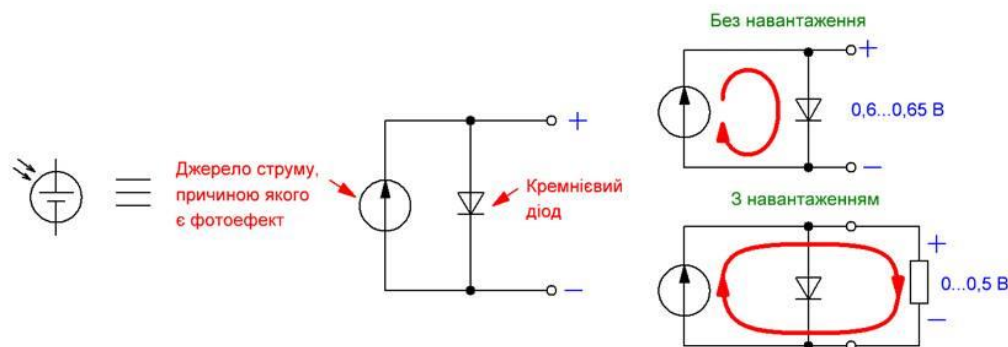


Якщо ж до освітленого р-п переходу не прикладати ніякої зовнішньої напруги, то на виводах фотодіода з'явиться електрорушійна сила, величина якої буде обмежена на рівні близько 0,6...0,7 В. Проте якщо замкнути електричне коло, то через фотодіод почне протікати доволі значний струм, величина якого прямо пропорційна рівню освітлення та площі фотодіода. Саме в цьому режимі і працюють фотоелементи сонячних електростанцій, у яких фотодіоди виконують функцію джерел живлення.

Глибше зрозуміти це явище можна, якщо розглянути еквівалентну схему фотодіода. Якщо не враховувати паразитні параметри, то вона буде складатися із двох головних

елементів: кремнієвого діода та джерела струму, причиною якого є фотоэффект. Коли освітлений фотодіод не під'єднаний до зовнішнього електричного кола, то струм, зумовлений фотоэффектом, немовби замикається через внутрішній діод, тому вихідна напруга фотоелемента завжди обмежена на рівні прямого падіння напруги на цьому діоді, тобто на рівні $0,6 \dots 0,65$ В. Якщо ж підключити освітлений фотоелемент до зовнішнього кола з доволі низьким опором, то падіння напруги на виводах фотоелемента зменшиться і струм буде протікати по шляху із найменшим опором, тобто через зовнішнє електричне коло, а не через внутрішній діод.

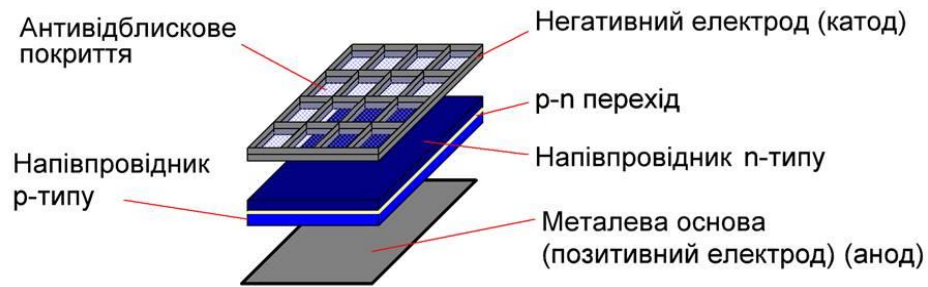
Еквівалентна схема фотодіода



Зверніть увагу, що це лише еквівалентна схема, яка допомагає нам зрозуміти фізичні процеси, що протікають у фотоелементі. Насправді ніяких джерел струму та окремих діодів всередині фотоелемента немає, і, відповідно, ніяких струмів у непідключеному фотоелементі також немає. У цьому режимі у фотоелементі відбуваються більш глибокі фізичні процеси, які виходять за рамки теорії електричних кіл та електротехніки. Через це, щоб не вносити зайву плутанину в електричні схеми, силові фотоелементи часто позначають на схемах не у вигляді фотодіодів, а у вигляді джерел живлення, тобто батарейки із двома стрілками, спрямованими в її сторону, що означає, що цей елемент генерує електричну енергію при поглинанні зовнішнього випромінювання.

Оскільки вихідна потужність фотоелемента, яка для енергетичних систем є головним параметром, безпосередньо залежить від кількості отриманих фотонів, то силові фотоелементи мають доволі значну площу. Потужні фотоелементи, що використовуються у сонячних енергетичних системах, є дуже тонкою – зазвичай не більше ніж половина міліметра – плівкою або пластиною, на верхній та нижній частинах якої формуються контактні поверхні, призначені для збору струму. Активна поверхня такого фотоелемента, тобто поверхня, що безпосередньо поглинає світлову радіацію, дуже часто вкривається спеціальним антивідблисковим покриттям, яке зменшує рівень відбитого світла і, тим самим, підвищує вихідну потужність. Електрод, розташований зі сторони поверхні, що поглинає сонячне світло, дуже часто виготовляється прозорим, або у вигляді сітки до якої під час зборки сонячних панелей припаюються струмопровідні провідники.

Будова напівпровідникового силового кремнієвого кристалічного фотоелемента



Особливістю напівпровідникових фотоелементів є те, що вони є генераторами струму, а не напруги. Вихідна напруга одного фотоелемента у робочому режимі дорівнює близько 0,5 В і може змінюватися у широких межах, залежно від параметрів конкретного зовнішнього кола. А от максимальний струм, який може згенерувати фотоелемент, залежить від його площі та інтенсивності опромінення. Тому якщо замкнути накоротко виводи фотоелемента, то через нього буде протікати лише струм, обмежений кількістю отриманих фотонів, тобто рівнем опромінення.

Вольт-амперна характеристика типового фотоелемента

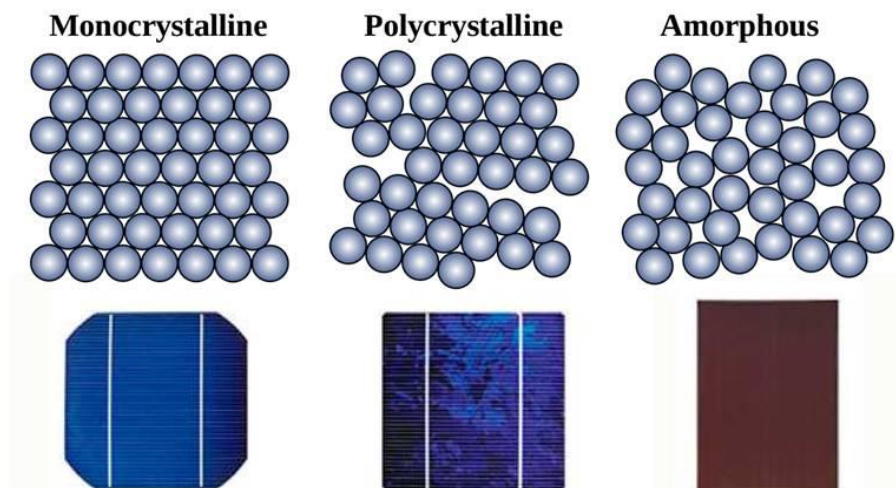


Фотоелемент є **генератором струму**, величина якого залежить від рівня освітлення

Максимальна напруга на фотоелементі не перевищує 0,6 В (для фотоелементів із кремнію)

Характеристики фотоелементів залежать, у першу чергу, від матеріалу напівпровідника. На сьогоднішній день, найбільш поширеними є фотоелементи, виготовлені із монокристалічного, полікристалічного та аморфного кремнію. Технологія виготовлення кремнієвих фотоелементів добре налагоджена, і у світі зараз вже побудовано доволі велику кількість заводів, що виготовляють фотоелементи цього типу у великих обсягах. Серед силових фотоелементів, що серійно випускаються промисловістю, кремнієві фотоелементи мають найкращі співвідношення технічних, економічних та експлуатаційних характеристик, що робить їх найбільш привабливою основою для побудови сонячних електростанцій. Тому у багатьох оглядах, присвячених питанням сонячної енергетики, приводяться лише фотоелементи, виготовлені із кремнієвих напівпровідників, хоча насправді, як буде показано далі, їх існує набагато більше.

Кремнієві сонячні фотоелементи



Монокристалічний кремній, частіше за все, вирощується по методу Чохральського з невеликого затравочного кристалу, який повільно витягується з розплаву полікремнію в циліндричний злиток. Отримана заготовка фактично є одним великим кристалом, що має правильну атомну решітку. Процес росту такого монокристалу вимагає доволі великих енергетичних витрат та тривалого часу, тому монокристалічні фотоелементи є одними із найдорожчих кремнієвих фотоелементів, але вони також мають і найкращі електричні характеристики, у першу чергу – високий ККД.

Монокристалічний кремній



Монокристалічний кремній вирощується з невеликого затравочного кристала, який повільно витягується з розплаву полікремнію в циліндричний злиток (ingot)

Процес росту кристалу вимагає великих витрат часу, енергії та води, тому ці фотоелементи є найдорожчими

Після вирощення монокристалу циліндричну заготовку розпилюють на тонкі пластини, які потім проходять хімічну обробку, у тому числі і легіювання різними домішками, для того, щоб у їх товщі утворився напівпровідниковий p-n перехід. Оскільки круг є не зовсім вдалою формою для заповнення поверхні майбутньої сонячної батареї, то фотоелементи обрізають до форми квадрату. Проте якщо із круглих заготовок створювати фотоелементи правильної квадратної форми, то залишиться доволі велика кількість відходів, на які перед цим було витрачено доволі велику кількість енергії, води та часу. Тому для зменшення вартості монокристалічні фотоелементи, зазвичай, мають форму квадрату із обрізаними кутами. Саме ця ознака – правильний квадрат із обрізаними кутами – є однією із специфічних ознак кремнієвих монокристалічних фотоелементів.

Фотоелементи із монокристалічного кремнію



Фотоелемент



Панель (змонтовані фотоелементи)

- Високий ККД (до 22%)
- Тривалий термін служби (до 40 років)
- Низький рівень деградації при підвищенні температури (можуть працювати до 70 °C)
- Вихідна потужність суттєво залежить від рівня освітлення (погано працюють у хмарну погоду, бажано використання систем наведення на сонце)
- Менший процент браку за рахунок більш міцного матеріалу
- Висока вартість

Монокристалічні фотоелементи, зазвичай, мають форму правильного квадрату із обрізаними кутами

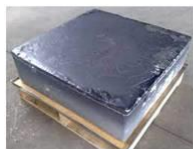
Монокристалічні фотоелементи мають найкращі характеристик серед фотоелементів, виготовлених із кремнію. Вони мають високий ККД, тривалий термін експлуатації та здатні працювати при високих температурах. Оскільки фотоелементи цього типу виготовляються із суцільного кристалу, то вони мають більшу механічну міцність, що істотно зменшує процент браку при подальшому виготовленні сонячних модулів. До недоліків монокристалічних кремнієвих фотоелементів можна віднести найвищу вартість та доволі суттєве зниження коефіцієнту корисної дії при погіршенні умов опромінення. Вихідна потужність фотоелементів цього типу доволі сильно знижується навіть при невеликій хмарності, а також при зміні куту падіння променів. Через це монокристалічні фотоелементи доцільно використовувати у місцевостях із малою кількістю хмарних днів, а також у електростанціях, що мають систему автоматичного стеження за сонцем.

Основою для полікристалічних фотоелементів є кремній, який отримують шляхом плавлення окремих кристалів. Така заготовка має правильну прямокутну форму, але сам кристал не є суцільним, а складається із безлічі окремих кристалічних осередків. Після застигання, первинна заготовка розрізається на тонкі пластини, які після відповідної хімічної обробки та нанесення металевих провідників ще раз розрізається, але вже на окремі елементи. Полікристалічні фотоелементи завжди мають правильну прямокутну форму, але через те, що первинна заготовка є сплавом окремих кристалів, тому на їх поверхні навіть неозброєним оком можна розгледіти окремі неоднорідності, що є однією із головних відмінностей фотоелементів цього типу.

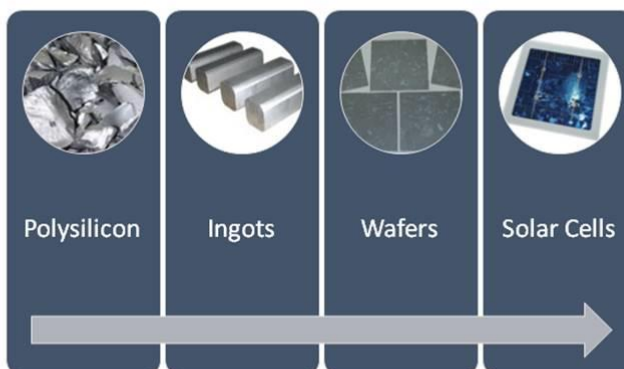
Полікристалічний кремній



Первинна сировина



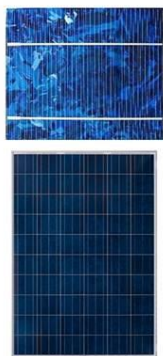
Заготовка (ingot)



Оскільки первинну заготовку для полікристалічних фотоелементів не вирощують а виплавляють, що вимагає менших витрат часу та енергії, то полікристалічні фотоелементи є

дешевшими ніж монокристалічні. Але і їх коефіцієнт корисної дії також є меншим. А це означає, що сонячна електростанція на основі полікристалічних фотоелементів буде займати щонайменше на 5% більшу площу ніж електростанція тої ж самої потужності на основі монокристалічних фотоелементів. Проте полікристалічні фотоелементи не так критичні до умов освітленості, тому у хмарну погоду вони вироблюють більшу кількість енергії, ніж їх монокристалічні аналоги. Крім того, фотоелементи цього типу можуть непогано працювати навіть при доволі великих відхиленнях кутів опромінення від нормалі, тому полікристалічні сонячні модулі можна встановлювати стаціонарно без використання систем стеження за сонцем, а вироблювати електричну енергію на протязі світлового дня вони можуть довше, ніж монокристалічні.

Фотоелементи із полікристалічного кремнію

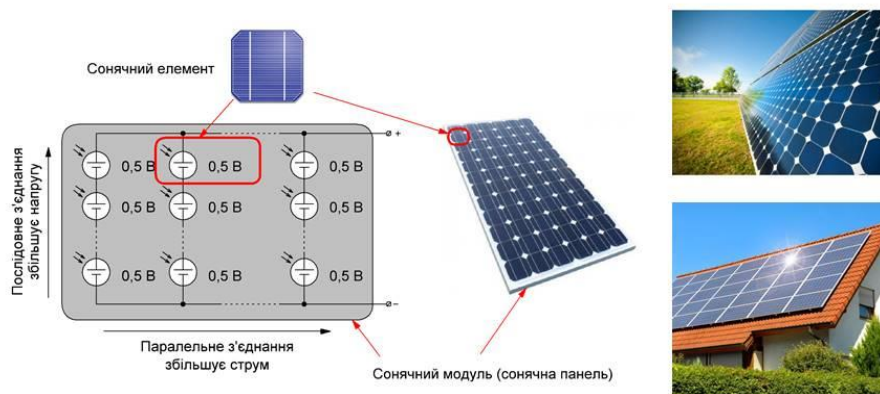


- Менший ККД (до 17%)
- Потребують більшої площі (на 5% більше порівняно із монокристалічними елементами)
- Більший рівень деградації при підвищенні температури
- Менший термін служби (до 20 років)
- Мають неоднорідності, що видно неозброєним оком (зменшення естетичного вигляду)
- Здатні працювати у хмарну погоду (не потребують систем наведення на Сонце)
- Менша вартість

На поверхні полікристалічних фотоелементів добре видно неоднорідності

Але і монокристалічні, і полікристалічні фотоелементи є доволі дорогими напівпровідниковими приладами. Через особливості виробництва кристалічного кремнію геометричні розміри фотоелементів цих типів не можуть бути великими, тому для створення електростанцій великої потужності монокристалічні та полікристалічні фотоелементи об'єднують у спеціалізовані конструкції, які називають сонячними модулями або сонячними панелями. Кристалічні фотоелементи є дуже тонкими та легко ламаються навіть при найменших механічних навантаженнях. Тому процес зборки сонячних фотоелементів у сонячні модулі є доволі складним і може мати доволі високий процент браку через високу імовірність пошкодження фотоелементів під час транспортування на монтаж. Тому вартість сонячних панелей, незважаючи на істотний розвиток технології їх виготовлення, все ще залишається доволі високою.

Будова сонячного модуля (панелі)



Зменшити вартість сонячних електростанцій потенційно можливо шляхом відмови від кристалічних фотоелементів, що мають жорстку геометричну форму, та переходу на плівкові

технології. Одними з фотоелементів, у яких використана подібна технологія, є фотоелементи, виготовлені із аморфного кремнію. На сьогоднішній день, аморфна, тобто некристалічна, форма кремнію, використовується у багатьох застосунках, у тому числі і при виготовленні тонкоплівкових транзисторів, які є основою для матриць рідкокристалічних дисплеїв.

Аморфний кремній



Аморфний кремній – некристалічна форма кремнію, що використовується для виготовлення тонкоплівкових транзисторів (використовуються у матрицях рідкокристалічних дисплеїв) та у силвих фотоелементах

Аморфний кремній є перспективною технологією із високим потенціалом

Головною особливістю фотоелементів, виготовлених із аморфного кремнію, є те, що вони є майже прозорими та гнучкими. Крім того, фотоелементи із аморфного кремнію можна виготовити будь яких розмірів, що зменшує майже до нуля витрати на монтаж фотоелементів у модуль. Аморфні фотоелементи мають також найнижчу вартість серед фотоелементів, виготовлених із кремнію і спроможні генерувати електричну енергію при освітленні, за якого фотоелементи із кристалічного кремнію вже не працюють. Проте коефіцієнт корисної дії типових аморфних фотоелементів приблизно удвічі менше ніж у їх монокристалічних та полікристалічних аналогів. Але не слід забувати, що ця технологія ще знаходиться у стадії розвитку. Вже зараз існують експериментальні зразки аморфних фотоелементів з ККД, що дорівнює 22%, що практично дорівнює ККД найкращих монокристалічних аналогів. А це означає, що й майбутньому можуть з'явитися набагато дешевші та простіші сонячні панелі, ефективність яких майже не буде відрізнятися від кращих кристалічних аналогів.

Фотоелементи із аморфного кремнію



- Висока ефективність при підвищенні температури
- Висока ефективність при зниженні рівня освітлення
- Можливість непомітної інтеграції у будівлю
- Більш просте виробництво та менший відсоток браку.
- Низький ККД (7...13%, експериментальні зразки – 22,3%)
- Невеликий термін служби (у середньому 10 років)
- Найнижча вартість

Елементи аморфного кремнію відкривають доволі широкі можливості для інтеграції їх у існуючі будівлі. Якщо сонячні панелі із кристалічного кремнію необхідно встановлювати на спеціальні каркаси, які, давайте говорити відверто, можуть істотно зіпсувати зовнішній

вигляд будівлі, то аморфні сонячні панелі можна непомітно нанести на існуючі огорожувальні конструкції і не спотворювати фасад. Більше того, оскільки аморфні сонячні панелі є тонкими і майже прозорими, тому їх можна розташовувати безпосередньо на склі вікон. При цьому сонячна панель буде виглядати, наприклад, як тонова плівка, що додасть до зовнішнього вигляду будівлі та інтер'єру приміщення певного колориту.

Фасад будинку з інтегрованими сонячними панелями із аморфного кремнію



Проте кремній є не єдиним напівпровідниковим матеріалом із якого можна виготовити силові фотоелементи. Одними із альтернатив цьому напівпровідникового матеріалу є телурид кадмію. Основою телурид-кадмієвих панелей є підкладка із прозорим провідником, виготовленим із сплаву окису індію та олова, на який наноситься активний напівпровідниковий шар. Ці панелі почали виготовляти ще у 70-х роках ХХ сторіччя, і активно використовували у якості джерел живлення для перших космічних апаратів.

Телурид-кадмієві фотоелементи

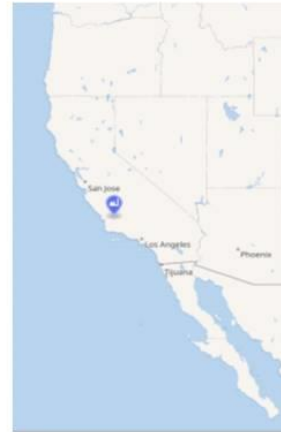


Сонячні панелі із телуриду кадмію CdTe виробляються на підкладці з прозорим провідником, який виготовляється з оксиду індію та олова і використовується як передній контакт.

- ККД 8,5%...10%
- Випускаються та використовуються із 70-х років ХХ сторіччя
- Активно використовуються у космосі
- Колір від дзеркального темно-зеленого до чорного
- **Кадмій є отруйною речовиною**
- **Телурій є дуже рідкісним елементом**

Телурид-кадмієві сонячні панелі так само як і панелі виготовлені із аморфного кремнію відносяться до панелей, виготовлених по плівковій технології, тому вони можуть бути будь-яких розмірів та бути гнучкими. Ще однією особливістю панелей цього типу є найменші витрати енергії та води при їх виготовленні, тому ці панелі мають найменшу вартість, а термін їх окупності дорівнює усього кільком рокам. Але кадмій є отруйною речовиною, що призводить до необхідності використовувати спеціальну процедуру їх утилізації. Крім того, телурій є доволі рідкісним елементом на землі, тому, незважаючи на те, що на основі телурид-кадмієвих панелей вже побудовано кілька крупних сонячних електростанцій, наприклад, сонячна ферма Тораз, розташована у США, до можливості масового виробництва цих панелей фахівці відносяться доволі скептично.

Сонячна ферма Тораз на основі телурид-кадмієвих фотоелементів (Каліфорнія, США)



Іще однією перспективною плівковою технологією, яку використовують для виготовлення сонячних фотоелементів, є технологія на основі селеніду міді та індію. Сонячна батарея виготовлена із цих матеріалів є комбінацією тонкоплівкових фотоелементів, виготовлених шляхом нанесення тонких шарів розчинів селенідів на скляну або пластикову основу разом із електродами для збору струму. Такий напівпровідниковий матеріал має високий коефіцієнт поглинання сонячного світла, тому для створення фотоелемента потрібна набагато тонша плівка, ніж для інших напівпровідникових матеріалів. Оскільки родовищ індію на землі небагато, а він конче необхідний для створення рідкокристалічних матриць, то замість індію часто використовують галій, який має схожі властивості. Ця технологія, на сьогоднішній день, поки ще знаходиться у стадії розвитку. Тому якщо розробникам вдасться довести коефіцієнт корисної дії цих фотоелементів до рівня їх кремнієвих аналогів, то вони, завдяки невисокій вартості, притаманній усім плівковим технологіям, зможуть витіснити панелі, що масово використовуються сьогодні.

Фотоелементи на основі селеніду індію (галію) та міді



Активним напівпровідниковим матеріалом в **CIS (CIGS) фотоелементах** є діселенід індію і міді, що часто легується галієм і (або) сіркою

- ККД від 9% до 11% (15%...20%)
- Форма елемента відповідає формі модуля
- Товщина модуля в незагартованому склі від 2 мм до 4мм
- Колір від темно-сірого до чорного, однорідний зовнішній вигляд



Замість індію (що використовуються для виготовлення рідкокристалічних моніторів) часто використовують галій

Ще однією з перспективних технологій виготовлення сонячних фотоелементів є технологія на основі полімерних матеріалів, таких як поліфенілен, фуллен, фталоціанін міді та інших. Головною перевагою цих панелей є наднизька вартість, оскільки при їх виготовленні не використовуються рідкісні хімічні елементи. Крім того, ці панелі можуть мати будь-яку форму та будь-який колір, що дозволяє перетворити сонячні панелі на

вишукані дизайнерські речі, у яких сонячну батарею навіть важко впізнати. Проте, на жаль, їх коефіцієнт корисної дії, на сьогоднішній день, є, напевно, самим малим, тому для промислового використання цієї технології поки що дуже далеко.

Полімерні сонячні панелі



У якості напівпровідника виступають поліфенілен, фуреллен, фталоціанін міді

Особливості:

- Товщина плівки 100 нм
- ККД – 5%
- Наднизька вартість
- Доступність матеріалів
- Відсутність шкідливих виділень в атмосферу
- Еластичні та екологічні

Проте це не означає, що їх не можна використовувати у якості елементів живлення для певних застосунків, наприклад для пристроїв Інтернету-речей, які для своєї роботи потребують мінімальну кількість електричної енергії. І хоч елементи живлення на основі цих елементів будуть мати щонайменше у три рази більшу площу, порівняно із кремнієвими аналогами, наднизька вартість та естетичний зовнішній вигляд може стати остаточним фактором при їх виборі. Тому вам, як потенційним авторам пристроїв майбутнього, слід звернути особливу увагу на ці елементи, оскільки саме вони можуть стати основним джерелом живлення для ваших розробок.

Полімерні сонячні панелі



Отже, порівнюючи найбільш поширені силові фотоелементи, які сьогодні виготовляються у промислових масштабах, можна зробити висновок, що найбільший ККД, на сьогоднішній день, мають фотоелементи, виготовлені із кристалічних форм кремнію. Проте ці елементи є і найдорожчими. Тому будемо мати надію, що виробники плівкових фотоелементів, тобто фотоелементів, виготовлених із аморфного кремнію або із полімерних матеріалів, все ж таки зможуть доробити свої технології та створити фотоелементи, які можна буде використовувати для живлення не тільки вузлів інформаційного обладнання, а й в енергетичних системах майбутнього.

Порівняльна характеристика сонячних панелей різних типів

Тип панелі	ККД
Монокристалічні	17...22%
Полікристалічні	12...18%
Аморфні	5...6%
Телурид кадмію	10...12%
Селенід міді-індію-галію	15...20%
Полімерні	5...6%

Перспективні технології фотоелементів

Цей огляд був би неповним, якби ми не торкнулися фотоелементів, які поки ще знаходяться на стадії лабораторних досліджень. Усі розглянуті перед цим технології так чи інакше доведені до стану серійного виробництва, що означає що фотоелементи цих типів можна придбати в магазинах, або безпосередньо у виробників. А от фотоелементи, що будуть розглянуті далі, придбати поки що дуже важко, оскільки вони або серійно не випускаються, або випускаються лише в обмеженій кількості.

У першу чергу слід познайомитися із фотоелементами, що мають найвищий на сьогоднішній день коефіцієнт корисної дії, який дорівнює майже 45%. Ці елементи відносяться до категорії багатошарових, тобто можна сказати, що вони складаються із декількох окремих фотоелементів, кожен з яких поглинає «свою» частину спектру сонячного випромінювання.

Фотоелемент із найбільшим ККД (44,7%)



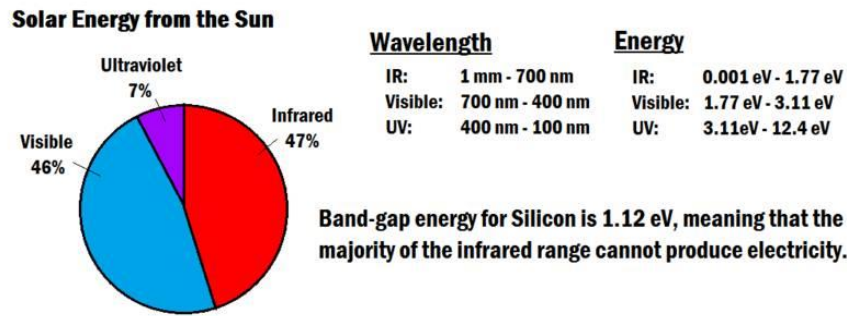
Створений групою фахівців з Інституту систем сонячної енергії суспільства Фраунгофера, компаній Soitec, CEA-Leti і Центру імені Гельмгольца (Берлін) у 2013 році.



Призначений для роботи з концентратором, який концентрує потік сонячних променів в 297,3 рази (площа лінз приблизно в 300 разів більше площі фотоелемента). Енергія хвиль довжиною 200-1800 нм забирається чотирма внутрішніми шарами.

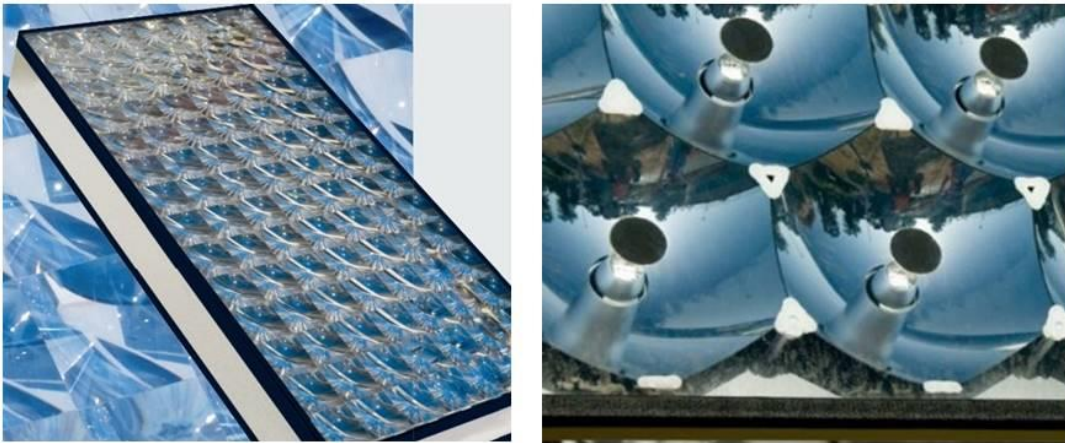
Така конструкція пов'язана із тим, що сонце генерує електромагнітні хвилі у дуже широкому діапазоні частот, і кожна частина спектру містить свою кількість енергії. А усі розглянути вище напівпровідникові матеріали мали лише одну фіксовану ширину забороненої зони – це один із головних параметрів любого напівпровідника. Це означає, що вони фізично могли поглинути, тобто перетворити на електричну енергію, лише одну доволі вузьку частину спектру сонячного випромінювання. Саме тому їх коефіцієнт корисної дії відносно невеликий, бо поглинути усю енергію, яка розподілена по широкій полосі частот, за допомогою напівпровідника лише одного типу фізично неможливо.

Спектр сонячного випромінювання



Але якщо фотоелемент побудувати на основі кількох різних напівпровідників із різною шириною забороненої зони, то кількість енергії, які можна поглинути значно збільшиться. Саме по такому шляху йдуть розробники багат шарових фотоелементів, кожен шар яких призначений для поглинання своєї частини спектру. Зверніть увагу, що така сонячна панель значно відрізняється від сонячних панелей, які ми перед цим розглядали. Сам фотоелемент має невеликі розміри, проте він працює разом із спеціалізованими дзеркалами або рефлекторами, які концентрують сонячну радіацію на фотоелементі, збільшуючи її інтенсивність приблизно у 300 разів.

Багат шарові сонячні фотоелементи



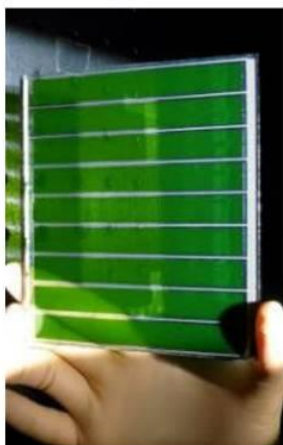
Якщо ми вже говоримо про технології використання сонячної енергії, то не слід забувати і про технології, що існують у живій природі. Варто лише згадати, що усю енергію, яка використовується для життя живих істот, ми отримуємо безпосередньо від сонця. Саме енергію сонячного випромінювання поглинають рослини, які у процесі фотосинтезу створюють хімічні сполуки, які потім використовуються у якості джерел енергії для тварин і людей. Тому б було доцільно розібратися із тим, яким чином рослини поглинають енергію сонячного випромінювання і хоча б спробувати відтворити цю технологію у штучних системах.

Рослини є самим ефективними сонячними фотоелементами



Приблизно таким шляхом пішов швейцарський хімік Мікаель Гретцель разом зі своїми колегами, які у 1991 році створили структуру, відому зараз як комірка Гретцеля. Комірки Гретцеля створюються на основі сенсibilізованих барвниками фотоелектрохімічних осередків, в яких використовуються фоточутливі мезопористі оксидні напівпровідники з широкою забороненою зоною. Сонячні фотоелементи цього типу є доволі перспективними, оскільки виготовляються з дешевих матеріалів і не вимагають складної апаратури при виробництві.

Комірки Гретцеля



Сенсibilізовані барвником сонячні фотоелементи – фотоелектрохімічні осередки, в яких використовуються фоточутливі мезопористі оксидні напівпровідники з широкою забороненою зоною

Винайдені в 1991 році Гретцелем і його колегами, на ім'я якого і отримали назву осередків Гретцеля

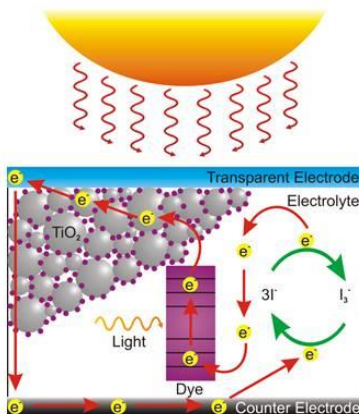
Принцип роботи схожий із реакцією фотосинтезу

Осередки Гретцеля мають просту структуру. Вони складаються з двох електродів і йодовмісного електроліту. Один електрод складається з високопористого насиченого барвником діоксиду титану, нанесеного на прозору електропровідну підкладку. Інший електрод є простою прозорою електропровідною плівкою. Особливістю комірок Гретцеля є те, що вони можуть мати різний колір, що дозволяє створювати із цих сонячних елементів доволі цікаві дизайнерські рішення. Механізм роботи комірок Гретцеля часто порівнюється з механізмом фотосинтезу, оскільки обидва процеси використовують окислювально-відновну реакцію, що протікає в електроліті. Коефіцієнт корисної дії елементів Гретцеля ще не досяг рівня кремнієвих фотоелементів і дорівнює приблизно 10%, хоча, теоретичні розрахунки показують, що його можна довести до 33 %.

Принцип роботи комірок Гретцеля



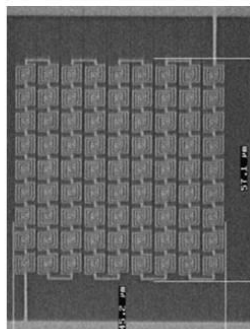
Мікаель Гретцель
1944 р.н.



Вікна, що генерують
електричну енергію
(конференц-центр
«SwissTech», Швейцарія)

Ще одним напрямком розвитку сонячної енергетики, який кардинально відрізняється від усіх, розглянутих вище технологій, є отримання електричної енергії за допомогою наноантен. Принцип цієї технології полягає у тому, що світло є електромагнітним випромінюванням, тому його можна поглинути за допомогою електричної або магнітної антени, розрахованої на роботу у відповідному діапазоні хвиль. Проблема полягає у тому, що довжина хвилі випромінювання видимого і невидимого світла знаходиться у діапазоні нанометрів, тому антена, що може ефективно поглинути це випромінювання повинна мати мікроскопічні розміри. Ідею подібного перетворення світлової енергії на електричну запропонував ще Нікола Тесла у 1901 році, проте у той час не було технологій, які б могли цю ідею практично реалізувати. Та з часом такі технології все ж таки з'явилися і в 1972 році Роберт Бейлі почав активно працювати у цьому напрямку.

Сонячні наноантени



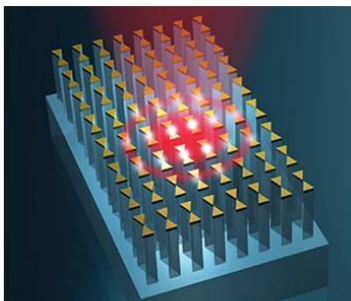
Наноантена – пристрій перетворення сонячної енергії в електричний струм шляхом випрямлення високочастотних коливань струму

- Запропонована Ніколою Тесла в патенті № 685,957 від 05.11.1901
- Підтримана Робертом Бейлі в 1972 році

Головними перевагами наноантен є можливість налаштування на будь-яку довжину хвилі, що дозволяє використовувати їх не тільки для генерації електричної енергії, а ще й, наприклад, для охолодження приміщень. Річ у тому, що наноантену можна налаштувати для роботи у будь-якому діапазоні частот, у тому числі і в діапазоні, що відповідає інфрачервоному випромінюванню. А це дозволить використовувати наноантени не тільки для генерації електричної енергії, а ще й для поглинання теплового випромінювання і, відповідно, для охолодження речей та приміщення у цілому. Проте зараз головною проблемою при створенні наноантен є не технологія їх виробництва, хоча там також існує певна кількість труднощів. Головна проблема полягає у тому, що електричний струм, який виникає при поглинанні електромагнітного випромінювання, є змінним і має дуже високу частоту. Тому його доволі складно перетворити на придатний для практичного використання

постійний струм, оскільки більшість сучасних напівпровідникових діодів, здатних виконувати таке перетворення, не можуть ефективно працювати у потрібному діапазоні частот. Проте технології постійно розвиваються і є висока імовірність, що з часом і ця проблема буде вирішена.

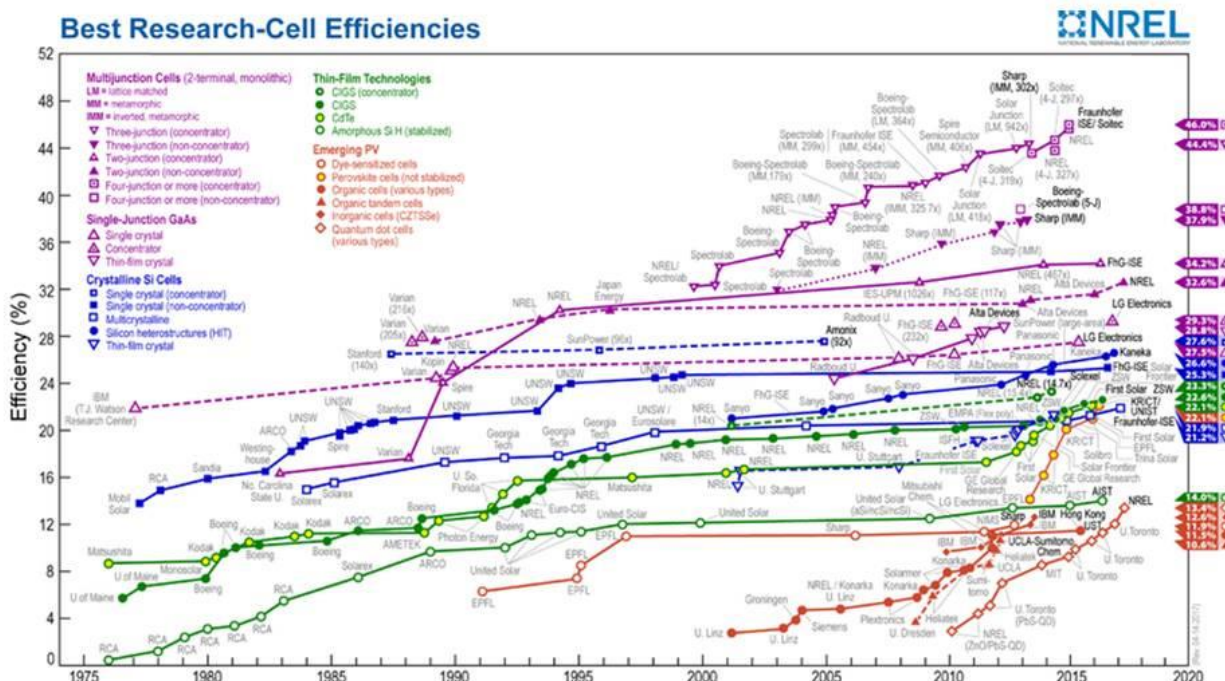
Наноантени



- Генерація електричної енергії
- Охолодження приміщень

Основною проблемою є не виготовлення наноантен, а створення випрямляча, зданого працювати на таких частотах

Отже, ви вже напевно зрозуміли, що фотоелементи, тобто перетворювачі енергії електромагнітного випромінювання на електричну енергію, поки що не досягли максимально можливого рівня. Але, якщо поглянути на графік, що ви зараз бачите на екрані, то добре видно, що за останні 50 років прогрес у цьому напрямку є великий. А це означає, що у будь-який момент, можливо навіть і сьогодні, може з'явитися нова технологія, яка виведе сонячні електростанції на зовсім новий рівень якості. А зараз нам потрібно розібратися із питанням практичного використання вже існуючих типів фотоелементів, оскільки один окремо взятий сонячний фотоелемент має невелику практичну користь. Тому давайте розбиратись із тим яким же чином ці фотоелементи використовують у практичних застосунках.



Особливості використання сонячних фотоелементів

Давайте спочатку ще раз подивимось на вольт-амперну характеристику типового кремнієвого фотоелемента. Як вже було сказано раніше, напівпровідникові фотоелементи є генераторами струму, величина якого прямо пропорційна площі фотоелемента та рівню опромінення. Напруга на виводах фотоелемента може коливатися у широких межах, але максимальне її значення не перевищує 0,65 вольт. Це максимальна напруга, яка може бути на виводах кремнієвого фотоелемента, який не підключений до електричного кола. Для фотоелементів, виготовлених із інших напівпровідників, ця цифра може бути і іншою.

Вольт-амперна характеристика типового фотоелемента

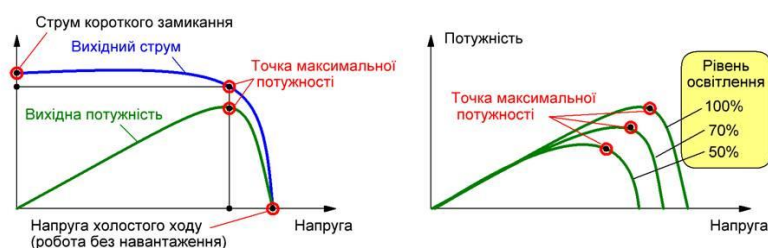


Фотоелемент є **генератором струму**, величина якого залежить від рівня освітлення

Максимальна напруга на фотоелементі не перевищує 0,6 В

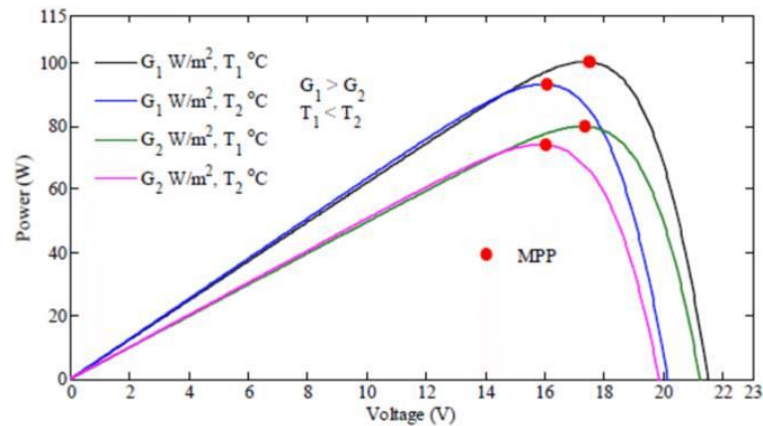
Коливання напруги на виводах фотоелемента у широких межах призводить до того, що вихідна потужність фотоелемента також може коливатися у широких межах, що є не дуже добрим явищем. Потужність є добутком напруги та струму, тому при роботі у режимі холостого ходу, коли вихідний струм фотоелемента дорівнює нулю, або при роботі у режимі короткого замикання, коли вихідна напруга фотоелемента дорівнює нулю, вихідна потужність фотоелемента, тобто кількість енергії, згенеровано за певний проміжок часу, також дорівнює нулю. А от максимальне значення вихідної потужності буде забезпечуватися лише при якихось проміжних значення напруги та струму. Ця точка отримала назву «точка максимальної потужності» (Maximum Power Point, MPP).

Точка максимальної потужності



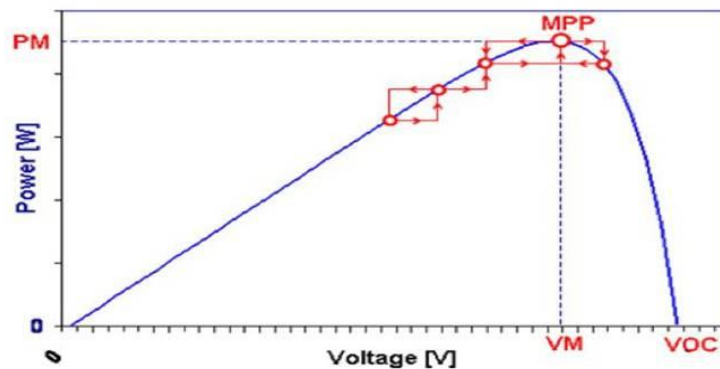
Проблема полягає у тому, що струм, який генерує фотоелемент, залежить не тільки від його площі, а ще й від рівня освітленості та температури. Тому як тільки на небі з'явиться хоча б невеличка хмарка, струм, який генерує фотоелемент зміниться, і це призведе до того, що електрична енергія буде генеруватися у меншій кількості, ніж можна отримати у даних умовах.

Дрейф точки максимальної потужності при зміні рівня опромінення та температури



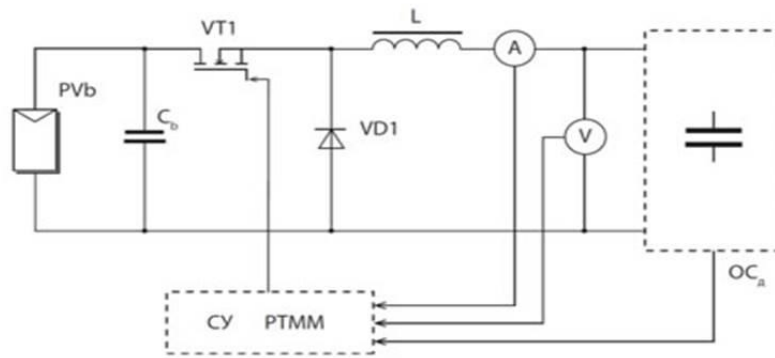
Отже пристрій, який підключається до сонячної батареї, повинен постійно слідкувати за режимом роботи фотоелементів, підтримуючи його так, щоб добуток напруги на виводах фотоелемента та струму, що протікає через нього, був максимальним. Отже якщо перетворювач, що підключається до сонячної батареї, не має функції контролю точки максимальної потужності – а таких контролерів сьогодні є багато на ринку – то ефективність використання сонячних фотоелементів буде катастрофічно падати. Без цієї функції ви просто будете втрачати доволі велику частину енергії, яку могли отримати в даних умовах.

Алгоритм пошуку ТМП (МРР)



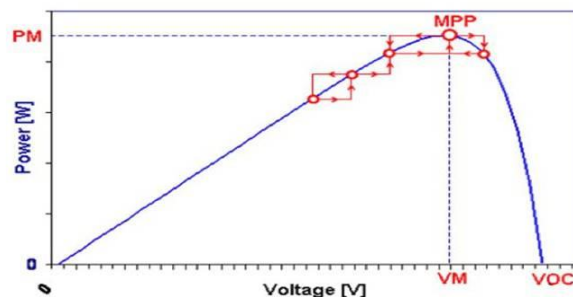
Технічно це реалізується за допомогою імпульсних перетворювачів постійної напруги, вхід яких підключається до фотоелементів, а вихід – до накопичувача електричної енергії, у якості якого може використовуватись акумулятори або суперконденсатори. Зверніть увагу, що силова частина перетворювача керується мікроконтролером, який постійно контролює напругу та струм на виході перетворювача, і формує сигнали керування транзисторами перетворювача таким чином, щоб вихідна потужність такої системи була максимальною. Отже функція контролю за точкою максимальної потужності реалізується виключно програмним способом, тому вам, як фахівцям з інформаційних технологій, цей момент може бути доволі цікавим.

Контролер сонячної батареї



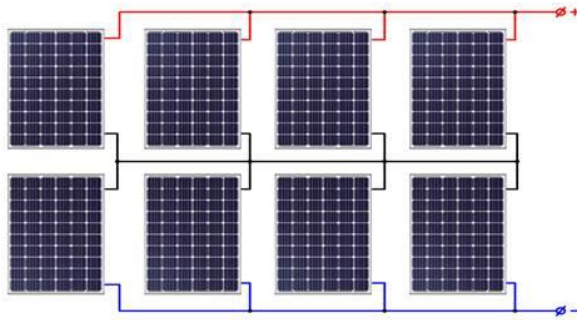
Сам алгоритм пошуку точки максимальної потужності полягає у постійній зміні режиму роботи імпульсного перетворювача. На першій ітерації алгоритму силова частина перетворювача налаштовується таким чином, щоб відібрати від фотоелемента певний струм, який вважається точкою максимальної потужності. На наступному кроці контролер пробує цей струм, наприклад, збільшити. Якщо збільшення призвело до підвищення потужності, тобто добутку напруги та струму, то ця точка стає новою точкою максимальної потужності. Якщо при збільшенні струму потужність фотоелемента зменшилась, тоді контролер зменшує величину споживаного струму. Якщо зменшення струму також призвело до зменшення вихідної потужності, тоді контролер знову збільшить струм, споживаний від батареї. Таким чином, фотоелемент, підключений до перетворювача, обладнаного контролером точки максимальної потужності, ніколи не працює в якомусь сталому режимі. Його режим постійно змінюється для того щоб відібрати від фотоелемента максимально можливу кількість енергії при поточних умовах освітленості та температури.

Алгоритм пошуку ТМП (MPP)



Наступна проблема полягає в обмеженості фотоелемента. Вихідна напруга одного фотоелемента у робочому режимі дорівнює близько 0,5 В, що дуже мало для практичного застосування. Тому окремі фотоелементи з'єднують послідовно – це дозволяє збільшити вихідну напругу до величин, придатних для практичного використання. Якщо ж необхідно збільшити струм, отриманий від фотоелементів, тоді їх з'єднують паралельно. У результаті певна кількість фотоелементів, з'єднаних послідовно або паралельно, або і послідовно, і паралельно утворює певний конструктивний модуль, який називається сонячний модуль або сонячна панель.

Сонячна батарея



Сонячна батарея – це послідовне та/або паралельне з'єднання сонячних панелей, хоча часто сонячною батареєю називають сонячні панелі (послідовне та/або паралельне з'єднання сонячних елементів)

Сонячні панелі є конструктивно закінченими вузлами, які можна використовувати як самостійно, так і у складі великих систем. Для побутових та промислових сонячних електростанцій зараз виробники випускають доволі велику кількість сонячних панелей. Проте усі вони мають приблизно однакові характеристики: площу близько двох квадратних метрів, потужність від 200 до 400 Вт, і вихідну напругу 12, 24 або 36 В. Такі параметри є найбільш придатними для практичного використання. Хоча вони не є абсолютотом.

250 WATT

ND-250QC s

module output cables: 12 AWG pV Wire (per UL Subject 4703)



Electrical Characteristics	
Maximum Power (P _{max})*	250 W
Tolerance of P _{max}	+5%/-0%
PTC Rating	223.6 W
Type of Cell	Polycrystalline silicon
Cell Configuration	60 in series
Open Circuit Voltage (V _{oc})	38.3 V
Maximum Power Voltage (V _{pm})	29.8 V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.90 A
Maximum Power Current (I _{pm})	8.40 A
Module Efficiency (%)	15.3%
Maximum System (DC) Voltage	600 V (UL)/1000V (IEC)
Series Fuse Rating	15 A
NOCT	47.5°C
Temperature Coefficient (P _{max})	-0.485%/°C
Temperature Coefficient (V _{oc})	-0.36%/°C
Temperature Coefficient (I _{sc})	

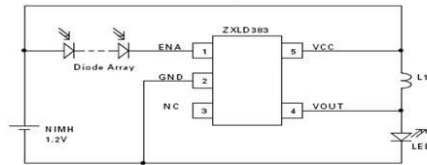
Ще раз звертаю увагу, що такі характеристики є типовими. Оскільки вихідна напруга одного фотоелемента дорівнює усього 0,5 В, то немає ніяких технічних проблем для виготовлення сонячної панелі на будь яку напругу. Наприклад, сонячні панелі, призначені для заряду повербанків для смартфонів, зазвичай, мають вихідну напругу близько 6 В, що є оптимальним для подібних систем. Ну а сонячні батареї для садових ліхтариків мають усього три послідовно з'єднаних фотоелемента, що забезпечують вихідну напругу 1,5 В. Така напруга вибрана це те, що у цих застосунках енергія накопичується в однокоміркових нікель-метал-гідридних акумуляторах з номінальною напругою 1,2 В.

Сонячна панель для PowerBank



- Потужність – 3,5 Вт
- Напруга – 6 В
- Струм у точці максимальної потужності – 0,5 А
- Товщина – 20 мм
- Ширина – 155 мм
- Довжина – 270 мм
- Вага – 0,34 кг

Садовий ліхтарик на сонячних батареях

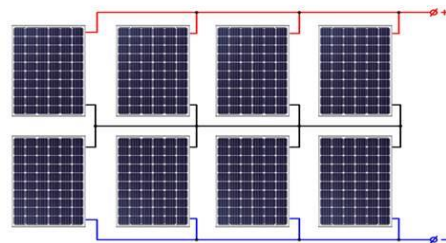


Накопичувач – нікель-метал-гідридний акумулятор (1,2 В)

Сонячна панель – 3 елемента з загальною вихідною напругою 1,5 В

Отже типова сонячна панель, що використовується у потужних сонячних електростанціях, має площу приблизно 2 м^2 , та вихідну потужність близько 300 Вт. Створювати більш потужні сонячні панелі, що будуть мати більші розміри і вагу технічно недоцільно, бо їх потім буде, по-перше, складно виготовляти, а по-друге – складно монтувати. Тому виробники знайшли таке більш-менш оптимальне рішення цього питання. Але одна сонячна панель потужністю 300 Вт часто не може забезпечити необхідну кількість енергії. Тому у потужних сонячних електростанціях використовують цілі поля з сонячних панелей, кількість яких може досягати кількох тисяч. Ці панелі також з'єднують послідовно, що збільшує напругу у системі, та паралельно, що збільшує вихідний струм. Така система вже називається сонячна батарея, або сонячна ферма – система, що складається із певної кількості сонячних панелей, кожна з яких складається із певної кількості сонячних фотоелементів.

Сонячна батарея



Сонячна батарея – це послідовне та/або паралельне з'єднання сонячних панелей, хоча часто сонячною батареєю називають сонячні панелі (послідовне та/або паралельне з'єднання сонячних елементів)

Висновки

Типів сонячних фотоелементів, та особливостей їх практичного використання, насправді, існує доволі багато. Але для першого знайомства із цією технологією, інформації, яку вам сьогодні було надано, цілком достатньо для того, щоб зрозуміти, що сонячна енергетика зараз знаходиться у стані бурхливого розвитку, оскільки перспективи її практичного використання дуже привабливі для людства. Головною тезою, яку ви повинні винести із цієї лекції, є те, що на сьогоднішній день, найбільш поширеними є кристалічні кремнієві фотоелементи. Проте плівкові та інші альтернативні технології, такі як комірки Гретцеля чи наноантени, також не стоять на місці і зараз на дослідження цих напрямків інвестуються доволі великі кошти у багатьох технічно розвинених країнах світу.

Висновки

- На сьогоднішній день найбільш перспективним напрямом є використання кремнієвих (монокристалічних та полікристалічних) фотоелементів
- Пошук шляхів збільшення ККД фотоелементів на сьогоднішній день триває

Тому зверніть увагу на цю галузь, тим більше, що фахівцям з інформаційних технологій у сонячній енергетиці також є чим займатись. Ви вже бачили, що сонячні фотоелементи повинні постійно працювати у точці максимальної потужності, знаходження якої без використання програмних засобів є дуже утрудненим. А ще не слід забувати і про функції моніторингу та керування цими системами, які також без використання інформаційних технологій доволі важко уявити. І ці питання ми також будемо обов'язково розглядати, але вже на наступних зустрічах.

4. Вітрогенератори

На попередніх лекціях ми з вами розглянули елементи інтелектуальних енергетичних систем, які у якості джерела енергії використовували енергію сонця. Сонячна енергетика є доволі перспективним напрямком як для всього людства, так і для України, і теоретично спроможна забезпечити енергією майже усе людство. Отримують енергію від сонця за допомогою двох типів пристроїв: сонячних колекторів, які перетворюють енергію сонячного випромінювання на теплову, та фотоелементів, які перетворюють енергію сонячного випромінювання на електричну.

Основні напрями використання сонячної енергії



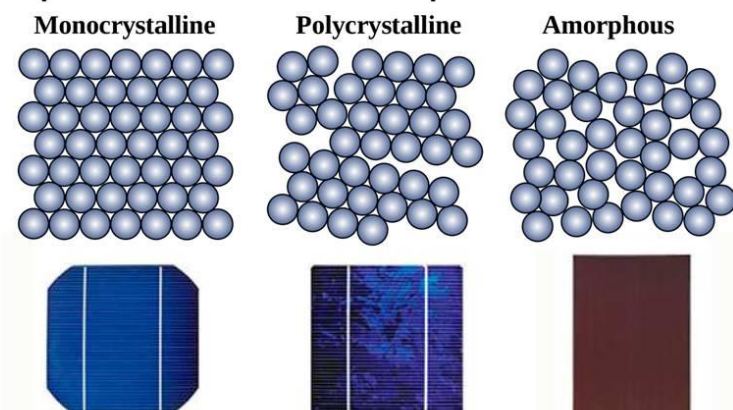
Сонячні колектори – перетворюють енергію електромагнітного випромінювання на теплову



Сонячні фотоелементи – перетворюють енергію електромагнітного випромінювання на електричну

Ми також з'ясували, що на сьогоднішній день існують три найбільш поширені типи сонячних фотоелементів. Усі вони виготовляються із кремнію, проте їх характеристики залежать від форми кристалічної решітки напівпровідника. Найкращі параметри та характеристики мають фотоелементи, виготовлені з монокристалічного кремнію, проте ці елементи є й самими дорогими. Більш цікавими для практичного використання є фотоелементи, виготовлені із полікристалічного кремнію – вони мають меншу ціну, проте їх характеристики не набагато гірші за елементи, виготовлені із більш дорогого монокристалічного кремнію. А от самим дешевими є тонкоплівкові фотоелементи із аморфного кремнію, проте ця технологія вже багато років знаходиться у стадії розвитку, тому елементи цього типу поки ще набули великої популярності.

Кремнієві сонячні фотоелементи



Сьогодні при продовжимо розглядати елементи інтелектуальних енергетичних систем майбутнього. У цій лекції мова піде про інший напрям альтернативної енергетики – вітроенергетику, головними елементами якої є вітрогенератори. Вітрогенератор, а точніше вітряна турбіна, є джерелом механічної енергії, яку можна або використовувати безпосередньо на місці, або перетворювати на електричну. Серед альтернативних

енергоресурсів вітроенергетики займає почесне друге місце після геліоенергетики по своїм потенційним можливостям, тому у курсі «Інтелектуальні пристрої та системи» ми просто зобов'язані приділи їй належну увагу.

Вітрогенератори



Вітрогенератори приймають енергію рухомих повітряних мас (механічну енергію), а потім перетворюю її на електричну за допомогою генератора

Історія вітроенергетики

До недавнього часу існувало два основних способи використання енергії вітру: вітрило та млин. Вітрила використовуються у якості рушія для морських суден вже більше 7000 років, і вони до цього часу ще не втратили своєї актуальності. Але сьогодні використання вітрил перейшло у категорію енергозберігаючих технологій, бо сучасний світ вже не може покладатися на таке мінливе джерело енергії як вітер. На сучасних кораблях вітрила можуть використовуватися у якості допоміжного рушія, за допомогою якого можна зменшити витрати палива. Звісно, за умови, що сила та напрям вітру будуть сприяти подорожі.

Вітрило



Трипільська культура (територія нинішньої України) – приблизно 6 тисяч років до нашої ери

Древній Єгипет - близько 5,5 тисяч років до нашої ери)

На сучасних судах вітрильне оснащення (з алюмінію і полімерних матеріалів) застосовується як допоміжний рушій, що дозволяє істотно зменшити витрати палива

Але вітрило ефективно лише на морі, де немає доріг і широка морська гладь дозволяє відхилятися від точного курсу. Використовувати вітер у якості рушія для сухопутних транспортних засобів дуже складно. Але це не означає, що енергію вітру не можна використовувати взагалі. І людина навчилася використовувати вітер як джерело механічної енергії для своїх різноманітних потреб.

Вітряний млин



Вітряк у музеї села
Прелесне Донецької
області

Одним із найдавніших документів у яких згадується використання вітряного млина (вітряка) є кодекс царя Хамуралі (Вавілон), приблизно 1750 рік до н.е.

Вітряні млини активно використовувалися людиною до кінця XIX сторіччя, поки не були замінені на двигуни внутрішнього згоряння та електродвигуни

Найбільш відоме використання енергію вітру для виготовлення борошна. Залишки вітряних млинів знаходять по всьому цивілізованому світу. Найбільшої популярності вітряні млини набули у XIX сторіччі. Але винахід більш зручних джерел механічної енергії, таких як парова машина, двигун внутрішнього згоряння, дизельний двигун і, нарешті, електродвигун, поступово привів до того, що людина майже повністю перестала користуватися технікою, що працює від енергії вітру. На сьогоднішній день майже всі вцілілі вітряні млини використовуються лише у якості музейних експонатів, що допомагають лише уявити як жили наші предки.

Вітряні насоси

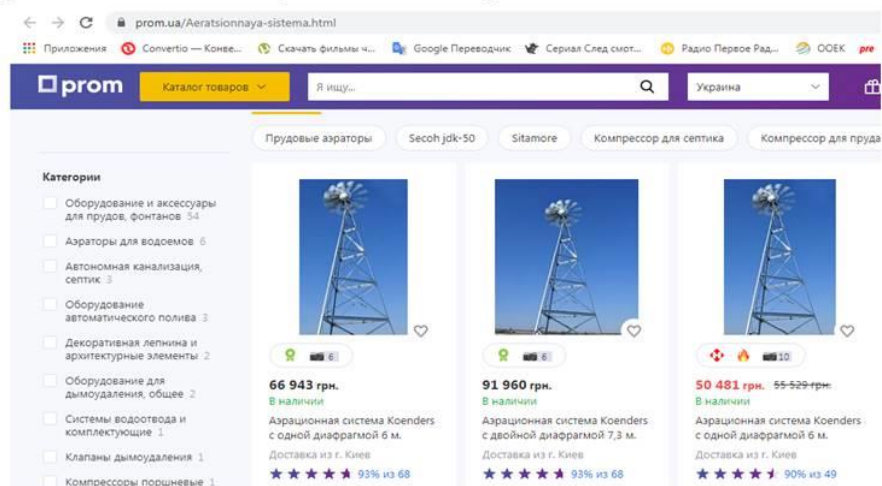


Побутовий водяний
насос «Ромашка»
(кінець 80-х років)

Вітряні насоси використовуються для підйому води (наприклад, для систем поливу) або інших речовин (у тому числі і нафти), у системах вентиляції та інших системах

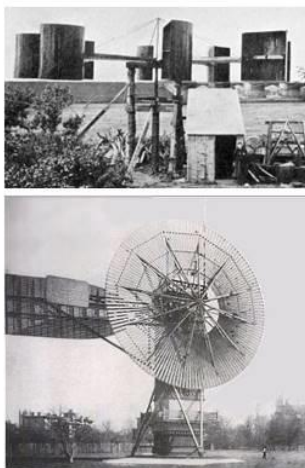
Але це не означає, що в індустріальному XX сторіччі енергія вітру взагалі не використовувалась. Наприклад, у кількох країнах серійно випускалися невеликі насоси, що приводилися до руху енергією вітру. Річ у тому що навіть у наш час далеко не завжди є можливість підключення до надійного джерела електричної енергії. А використання двигунів на органічних видах палива не завжди зручно, бо паливо необхідно фізично доставляти у певне місце, а коли об'єкт знаходиться у важкодоступному регіоні, то це викликає цілу низку складнощів.

Сучасні вітряні аераційні системи



На сьогоднішній день малопотужні вітряні насоси для зрошування сільськогосподарських рослин, які можна використовувати, наприклад, для підйому води із артезіанських свердловин, випускаються певною кількістю компаній, у тому числі і українських, і доступні для придбання в Україні по не досить високим, як для подібних систем, цінам. Враховуючи поступову зміну клімату, у результаті якої майже вся Україна поступово опиниться у сухій субтропічній зоні, попит на подібні системи буде тільки зростати.

Перші вітроелектростанції



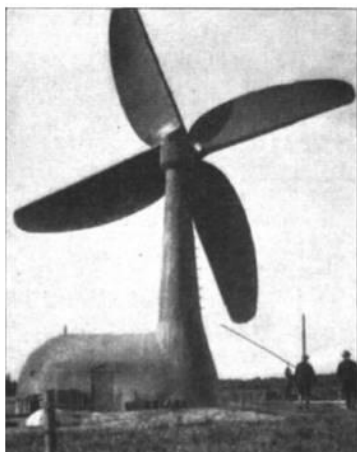
Перший вітряний електрогенератор був сконструйований у липні 1887 року шотландським академіком Джеймсом Блатом

У 1888 році Чарльз Бруш (США) побудував вітрогенератор висотою 18 метрів та потужністю 12 кВт, що використовувався для освітлення вулиць

У 1908 було побудовано 72 генератора, потужністю від 5 до 25 кВт, найбільший був заввишки 24 м

Ну і звісно, як тільки людина навчилася використовувати електричну енергію, швидко з'явилися і вітроелектростанції, оскільки на той час усі компоненти сучасного вітрогенератора вже були винайдені та доведені до рівня практичного використання. Кінець XIX, початок XX сторіччя був періодом активних експериментів із вітряними системами. У той час вітрогенератори разом із гідроелектростанціями виробляли більшість усієї електроенергії, що використовувалась у світі.

Перші вітроелектростанції



Вітрогенератор потужністю 100 кВт
(1931 рік)

**Після 30-х років XX сторіччя
більшість розробок
вітрогенераторів було припинене
по всьому світу через доступність
більш дешевих органічних
енергоресурсів**

Та активна розробка родовищ органічних видів палива, у першу чергу вугілля, нафти та природного газу, що призвела до появи дешевих та доступних енергоносіїв, призвела до поступової відмови від використання вітру у якості енергоресурсу. Після 30-років XX сторіччя нові вітроелектростанції майже перестали будуватись, а ті, що вже були побудовані, поступово виходили з ладу через природний механічний знос компонентів. Фінансування усіх досліджень у цій області було припинено, і вітроенергетика майже на півсторіччя припинила своє існування.

Нафтова криза 1973 року



І лише після нафтової кризи 1973 року, коли стали зрозумілі масштаби залежності розвинених країн від традиційних органічних видів палива, вітроенергетика, так само як і інші напрями альтернативної енергетики поновила свій розвиток. На сьогоднішній день вітроенергетика, разом із сонячною енергетикою є головними напрямками альтернативної енергетики. Будівництво вітряних електростанцій йде по всьому світу, а вартість електричної енергії, виробленої із енергії вітру поступово зменшується із кожним роком.

Вітроенергетика у світі

Top 16 + rest of the World [MW]

Country/Region	Total capacity end 2017	Added capacity 2017	Total capacity end 2016	Total capacity end 2015	Total capacity end 2014	Total capacity end 2013
China*	187730	19000	168730	148000	114763	91413
United States	88927	6894	82033	73867	65754	61108
Germany	56164	6145	50019	45192	40468	34658
Rest of the World*	48500	5600	42822	37522	32219	26493
India**	32879	4600	28279	24759	22465	20150
Spain	23026	6	23020	22987	22987	22959
United Kingdom	17852	3340	14512	13614	12440	10531
France	13760	1695	12065	10293	9296	8254
Brazil	12763	1963	10800	8715	5962	3399
Canada	12239	341	11898	11205	9694	7698
Italy*	9700	443	9257	8958	8663	8551
Turkey*	6981	900	6081	4718	3763	2958
Sweden*	6721	228	6493	6029	5425	4470
Poland*	6534	752	5782	5100	3834	3390
Denmark	5320	93	5227	5064	4883	4772
Portugal*	5316	0	5316	5050	4953	4724
Australia*	4879	553	4326	4186	3806	3049
Grand Total	539291	52552	486661	435259	371374	318577

На сьогоднішній день вітроенергетика активно розвивається по всьому світу. Країни із великим потенціалом цього енергоресурсу постійно нарощують рівень встановленої потужності вітроелектростанцій. Абсолютними лідерами у цьому напрямку є такі країни як Китай та Сполучені Штати Америки, але якщо розглядати відносну частку вітроенергетики, то лідерами є країни Європейського Союзу, у першу чергу Данія, яка вже більше половини усієї енергії, не тільки електричної, отримує із альтернативних поновлювальних джерел. У цілому, відповідно до планів Європейського Союзу, до 2030 року вітроенергетика повинна забезпечувати до 32% усієї енергії, тобто майже третину від власної енергопотреби.

Особливості альтернативних джерел енергії

Енергія Сонця

- Найбільший потенціал
- Висока мінливість та залежність від погоди
- Сонячні панелі погано працюють за умов високих температур
- Для створення сонячних панелей потрібні дорогі технології

Енергія вітру

- Великий потенціал
- На великій висоті майже постійна
- Вітрогенератори ефективно працюють майже за любых кліматичних умов
- Для створення вітрогенераторів не потрібно використання складних та дорогих технологій

Якщо порівнювати між собою два головних напрями альтернативної енергії: сонячну та вітроенергетику, то стане зрозуміло, що вітроенергетика має багато суттєвих переваг по відношенню до сонячної. Не зважаючи на те, що вітер на рівні земної поверхні є дуже слабким та мінливим на висотах більше 100 метрів його потужність та сталість суттєво підвищуються. А на висоті кількох кілометрів від земної поверхні вітер дме постійно причому із великою швидкістю. Таким чином, на Землі існує значний потенціал вітроенергетики, який людина поки що тільки починає освоювати.

Та й сонячна енергетика має не менший потенціал, але річ у тому, що людина поки що не навчилася використовувати енергію так Сонця так само ефективно, як і енергію вітру. На сьогоднішній день ефективність та надійність вітрогенераторів набагато більша ніж сонячних панелей. Крім того вітрогенератори можуть працювати у широкому діапазоні кліматичних умов – від лютих полярних морозів до спекотних пустель, у той час як характеристики сонячних панелей катастрофічно падають із ростом температури, що не дозволяє їх використовувати у пустелях, де потенціал сонячної енергетики найбільший.

Для створення вітрогенератора не потрібно використання високих технологій, простий вітрогенератор можна виготовити власноруч із доступних матеріалів, у той час як

виготовлення сонячної панелі у домашніх умовах майже неможливе. Крім того, термін служби вітрогенератора за умови належного обслуговування та заміни зношених частин нічим не обмежений, хоча у деяких країнах на рівні законодавства термін експлуатації вітроустановок не повинен перевищувати 20-25 років. Але і сонячні панелі не вічні. Через деградацію кристалів внаслідок дії високої температури та природної радіації сонячні комірки рано чи пізно вийдуть із ладу без можливості їх відновлення. Крім того, навіть після закінчення терміну експлуатації майже усі елементи вітрогенератора можна без проблем утилізувати, наприклад переплавити в частини для іншого вітрогенератора, у той час як питання утилізації сонячних панелей поки ще відкрите.

Саморобні вітрогенератори



Але у вітрогенераторів є один суттєвий недолік, який зводить нанівець усі їхні переваги. Під час роботи вітрогенератори створюють шум, вібрацію, інфразвукові коливання та інші неприємні явища. Крім того окремі елементи вітротурбіни обертаються із високою лінійною швидкістю. Наприклад швидкість кінцевої частини лопаті турбіни із горизонтальною віссю ротора діаметром більше 100 метрів може перевищувати 100 км/год. Якщо на край лопаті, що рухається із такою швидкістю, попаде маленький камінець, або з нього зірветься шматок криги, то це може стати причиною нещасного випадку. Тому вітрогенератори великої потужності не можна будувати поблизу житлових районів.

Особливості альтернативних джерел енергії

Сонячні панелі

- Потребують великих площ для розміщення
- Мають обмежений термін служби
- Потребують спеціальної утилізації
- Не створюють шуму та майже не створюють дискомфорту
- Безпечні у використанні

Вітрогенератори

- Не потребують великих площ для розміщення
- Термін служби теоретично не обмежений
- Не потребують складної утилізації
- Створюють шум та дискомфорт
- Небезпечні у використанні

Типи вітроелектростанцій

Першими вітроелектростанціями були вітроелектростанції, розташовані на земній поверхні. Це зрозуміло – будівництво на суші, недалеко від місць проживання людей та існуючих мереж для транспортування та розподілення енергії набагато простіше та дешевше. Такі електростанції потім і простіше обслуговувати. Але такий підхід має два суттєвих недоліки. По-перше, не всім людям подобається зовнішній вигляд вітроелектростанцій. А, враховуючи такі недоліки як вібрація, шум, можливість створення інфразвукових коливань, то стане зрозумілим, що будівництво потужних вітроелектростанцій поблизу населених пунктів може викликати низку протестів людей, що там проживають. В історії вітроенергетики вже були випадки, коли доводилось розбирати вже побудовані вітрогенератори, тому що вони створювали завади для нормального життя людей, або навіть псували пейзаж з вікна заможної людини.

Наземні вітроелектростанції



- Найпоширеніший в даний час тип вітрових електростанцій
- Вітрогенератори встановлюються на пагорбах або височинах
- Електрична енергія передається за допомогою кабелів
- Найбільшою на даний момент вітровою електростанцією є Альта, що розташована в штаті Каліфорнія, США (1550 МВт)

І є ще один момент, швидкість вітру на більшості території суші невелика, тому місць для будівництва потужних вітроелектростанцій не так вже й багато. Наприклад в Україні швидкість вітру на приблизно половині території недостатня для будівництва потужних вітроелектростанцій. Тому наземні вітроелектростанції намагаються будувати у віддалених районах, наприклад, посеред сільськогосподарських полів. До речі, на відміну від наземних сонячних електростанцій, де 100% територій займають сонячні панелі, наземні споруди вітрогенераторів аналогічної потужності потребують не більше 1% території, які можна використовувати, наприклад у сільському господарстві або для випасу тварин.

Карта вітрів України



Зрозуміло, що найбільшу ефективність серед наземних електростанцій будуть мати вітроелектростанції, розташовані на верхівках гір. Цей тип вітроелектростанцій називається гірськими вітроелектростанціями. Зрозуміло, що для їх будівництва потрібні щонайменше гори, які на території Землі присутні далеко не всюди. У Україні будівництво гірських вітроелектростанцій можливе в Карпатах. На сьогоднішній день у цьому регіоні вже

побудовано кілька вітроелектростанцій, самими відомими з яких є вітроелектростанції, побудовані недалеко від міста Старий Самбір.

Гірські вітроелектростанції



- У лютому 2015 року в Східних Карпатах у місті Старий Самбір запущена в роботу перша в Західній Україні гірська ВЕС «Старий Самбір 1» потужністю в 13,2 МВт
- Загальна потужність 79,2 МВт
- Використовуються вітротурбіни VESTAS V-112 датського виробництва номінальною потужністю 6,6 МВт
- Висота майданчика 500 - 600 м над рівнем моря, середньорічна швидкість вітру 6,3 м/с

Головним недоліком усіх типів наземних вітроелектростанцій, у тому числі і гірських, є мінливість напрямку вітру, що вимагає постійного орієнтування вітряних турбін. У той же час існують місця де вітер виникає постійно і дме в одному напрямку. Це відбувається на межі великих водоймищ. Саме у цих місцях є сенс будувати вітроелектростанції які відносяться до категорії прибережних.

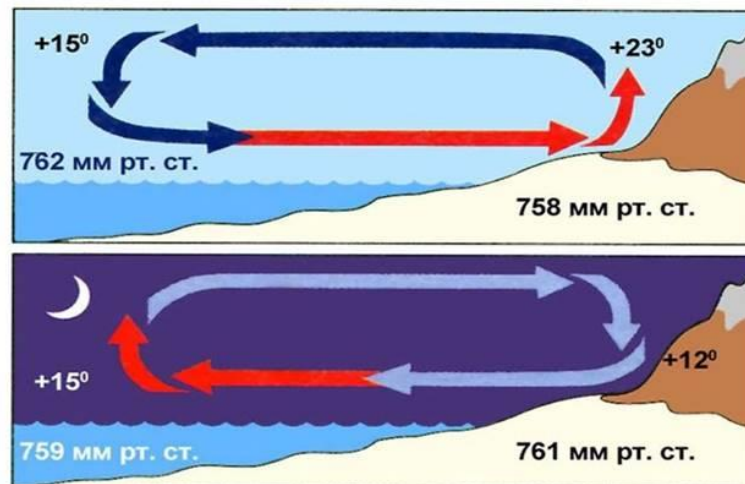
Прибережні вітроелектростанції



- Будуються на невеликій відстані від берега моря або океану
- Використовують енергію бризу, що утворюється через нерівномірне нагрівання води та суші (вдень – з берега до водойми, вночі – у зворотному напрямку)
- Електрична енергія передається за допомогою кабелів

Механізм утворення періодичного вітру на межі водойми, що називається бриз, ви бачите зараз на екрані. Бриз утворюється через наявність різниці температур між водою, що має велику теплоємність, та сушею, теплоємність якої менше. Я цьому випадку вода виступає у ролі теплового акумулятора великої ємності, температура якого залишається майже сталою протягом доби. А ось температура суші протягом міняється, тому що вдень вона нагрівається сонцем, а вночі швидко охолоджується, віддаючи тепло повітрю та випромінюючи його у космічний простір. Таким чином вдень, коли температура суші більше за температуру води, вітер дме у напрямку суші, а вночі, коли, температура суші менша за температуру води – у зворотному напрямку – із суші до води.

Механізм утворення бризу



Зрозуміло, що для будівництва прибережних вітроелектростанцій необхідно щонайменше наявність водойми, тому подібні електростанції можна будувати далеко не всюди. В Україні для будівництва прибережних вітроелектростанцій найбільш придатними регіонами є береги Чорного та Азовського морів. Саме ці регіони і мають найбільший потенціал для використання енергії вітру.

Прибережні вітроелектростанції



Але, як вже було сказано вище, не всі люди у захваті від будівництва вітрогенераторів у місцях проживання людей. Воно й зрозуміло, бо наявність у полі зору предметів, що рухаються і інстинктивно привертають увагу, з часом може призвести до психічних розладів. Набагато зручніше будувати вітроелектростанції так, що їх не було видно пересічним громадянами. Ідеальним місцем для цього є море, бо вже за 10 кілометрів від берега навіть самих високих вітротурбін вже не буде видно. Крім того, морська територія не використовується ні для житла, ні для сільськогосподарських робіт. Таким чином, вітроелектростанції, що будуються у морі, по-перше, нікому не заважають, а по-друге, енергетичний потенціал морського вітру на відстані від берега набагато більший, ніж потенціали вітру на суші, бо на морі немає великою нерівномірності, що є причиною турбулентності повітряних потоків на суші.

Шельфові вітроелектростанції



- Будуються в морі на відстані 10...60 км від берега на ділянках моря з невеликою глибиною. Вежі встановлюють на фундаменти з паль, забитих на глибину до 30 метрів. Електроенергія передається на землю з підводних кабелів.



- Практично не видно з берега
- Не займають землю
- Мають більшу ефективність через регулярних морських вітрів

Звісно, будівництво морських вітроелектростанцій, які ще називають офшорними, набагато складніше і дорожче, ніж будівництво їх наземних аналогів. Головними проблемами при цьому є транспортування виробленої енергії – це вирішується шляхом використання спеціальних електричних кабелів, та монтаж вітротурбін. Технічно простіше будувати вітроелектростанції на шельфах морів – де дно розташовано на невеликій глибині і опору вітротурбіни можна жорстко закріпити на дні. Такі електростанції отримали назву шельфових. Але, якщо дно розташовано на великій глибині, тоді дешевше розмістити турбіни на плавучих платформах, зафіксованих від переміщення за допомогою якорів. Звісно у останньому випадку слід прийняти заходи, для запобігання перекидання установки під час шторму. Лідерами по будівництву офшорних вітроелектростанцій є країни Європи, що мають вихід до морів. Лідерами у цьому напрямку є Великобританія, Данія, Бельгія, Німеччина, Норвегія, Швеція та інші країни, хоча і інші технічно розвинені країни, такі як Сполучені Штати Америки та Китай мають реалізовані проекти подібних електростанцій.

Плавучі вітроелектростанції



- Перший прототип плавучої турбіни потужністю 80 кВт був побудований компанією H Technologies BV в грудні 2007 року



- У вересні 2009 року норвезька компанія StatoilHydro розробила плавучі вітрогенератори потужністю 2,3 МВт. Турбіна Hylwind з вежею заввишки 65 м має діаметр ротора 82,4 м, важить 5 300 тонн і занурюється у воду на глибину 100 м. Для запобігання дрейфу вона утримується трьома тросами з якорями, закріпленими на дні
- У 2017 році компанією StatoilHydro було створено плавучу турбіну потужністю 6 МВт з ротором діаметром 154 м

Але потенціал вітру високий не тільки на морі. Якщо підняти вітротурбіну на висоту кілька сотень метрів, де вітри дмуть постійно і з високою швидкістю, то можна отримувати енергію майже улюбій точці земної кулі. Одним із варіантів реалізації подібного проекту є використання аеростатної вітроелектростанції. У цьому випадку вітротурбіна розташовується всередині надувної незаймистої оболонки, що заповнюється гелієм і підіймається на висоту кілька сотень метрів. Для фіксації установки та передачі виробленої

енергію на землю використовуються спеціалізовані канати та кабелі. Звісно подібний проект поки ще не набули широкого розповсюдження, через технічну складність та високу вартість. На сьогоднішній день у світ існує усього кілька компаній, що працюють у цьому напрямку, а самі проекти поки що знаходяться на стадії експериментів та досліджень.

Аеростатні вітроелектростанції



- Вітрові турбіни, розташовуються високо над землею, де дують вітри із високою швидкістю
- Рекордсменом у даній області вважається вітрова турбіна потужністю 30 кВт компанії Altaeros (Altaeros Buoyant Airborne Turbine), яка буде встановлена на висоті 305 м над землею. Для підняття на таку висоту Altaeros використовує незаймисту надувну оболонку, наповнену гелієм. У якості кабелів будуть використані високоміцні канати

І це не єдиний проект по використанню енергії висотних повітряних мас. У 2019 році міжнародна нафтогазова компанія Shell та американська компанія Makani представили проект прибережної вітроелектростанції, що планується побудувати в Норвегії, де вітрогенератори будуть розташовуватися на спеціалізованих планерах. Випробування подібних систем були проведені у 2017 році. Спеціально розроблений планер із розмахом крила майже 26 метрів може підняти 8 невеликих генераторів із турбінами діаметром 2,3 метра на висоту до 305 метрів. Потужність експериментальної установки склала 600 Вт, але конструктори стверджують, що її можна підвищити.

Прототип вітроелектростанції, що літає (Shell + Makani), 2017 рік



Таким чином, на сьогоднішній день, існує п'ять типів вітроелектростанцій, які широко використовуються по всій земній кулі, причому три з них: наземні, гірські та прибережні можна активно використовувати на території України. І, звісно не треба забувати про потенціал висотних повітряних потоків, освоєння яких на сьогоднішній день поки що знаходиться у стані розвитку.

Типи вітроелектростанцій



Типи вітроелектростанцій, що вже використовуються

- Наземні
- Гірські
- Прибережні
- Шельфові
- Плавучі

Експериментальні розробки

- Аеростатні
- На основі планерів

Типи вітряних турбін

На сьогоднішній день основним способом використання енергії вітру є перетворення її на електричну енергію та передавання її у потрібне місце за допомогою існуючих електромереж. Пристрій, який перетворює енергію вітру на електричну, отримав назву вітрогенератор. А якщо кілька вітрогенераторів, об'єднуються між собою, то така система вже називається вітроелектростанція, або скорочено ВЕС.

Вітрогенератор



Вітрогенератор (wind turbine, вітроенергетична установка, вітрова турбіна) – пристрій для перетворення кінетичної енергії вітрового потоку у механічну енергію із подальшим перетворення її на електричну енергію

Вітроелектростанція (wind farm, вітряна ферма) – один або кілька вітрогенераторів, встановлених в певному місці та з'єднаних у єдину мережу

Любий вітрогенератор складається із двох ключових елементів: вітряної турбіни та електрогенератора. Вітряна турбіна є своєрідної антеною, що взаємодіє із рухомих повітрям і є джерелом кінетичної енергії. Та оскільки кінетична енергія погано зберігається та транспортується, то десь безпосередньо біля турбіни розташовується генератор, який перетворює кінетичну енергію на електричну. Звісно будова реального вітрогенератора набагато складніша, але зараз, на даному етапі такої моделі цілком достатньо для розуміння принципів роботи цих систем.

Принцип роботи вітрогенератора



Вітряна турбіна – «Антенa» для сприймання енергії рухомої повітряної маси – джерело кінетичної енергії

Генератор – перетворювач кінетичну енергії на електричну

Річ у тому, що електричні генератори відносяться до тієї категорії пристроїв, виробництво яких не має якихось технічних проблем. Сучасні електрогенератори мають чудові технічні показники, високе значення ККД та відносно невеликі габарити, масу і вартість. Вони добре вивчені і за останні кілька десятиліть майже не змінилися.

Електричний генератор



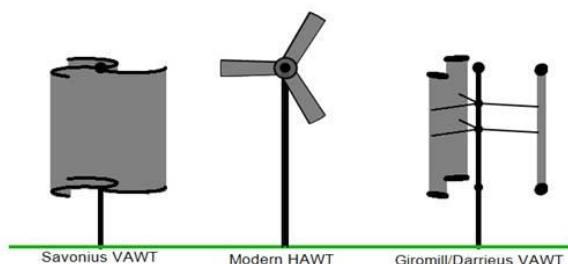
А от вітряні турбіни на сьогоднішній день ще до кінця не вивчені. Розробки ефективних вітряних турбін ведуться по всьому світі як крупними світовими компаніями із мільйонним бюджетом, так і окремими винахідниками у домашніх умовах. Розглянемо, які ж основні типи вітряних турбін існують та найбільш широко використовуються у вітрогенераторах.

Саморобні вітрогенератори



На сьогоднішній день існує два типи вітротурбін: турбіни із горизонтальним та вертикальним розташуванням вісі ротора. Такі назви є усталеними і використовуються як в україномовній так і англійській технічній літературі. Хоча доволі багато фахівців вважають, що такі назви не зовсім відповідають дійсності.

Типи вітрогенераторів

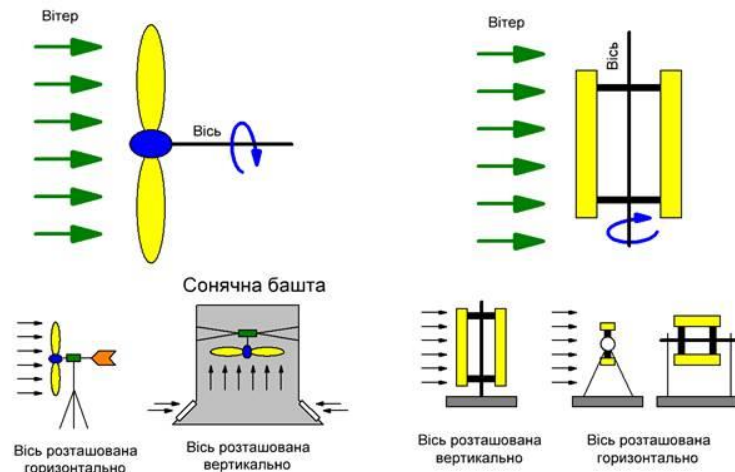


Із горизонтальною віссю ротора (Horizontal-Axis Wind Turbines – HAWT)

Із вертикальною віссю ротора (Vertical-Axis Wind Turbines – VAWT), хоча вона не обов'язково повинна бути вертикальною

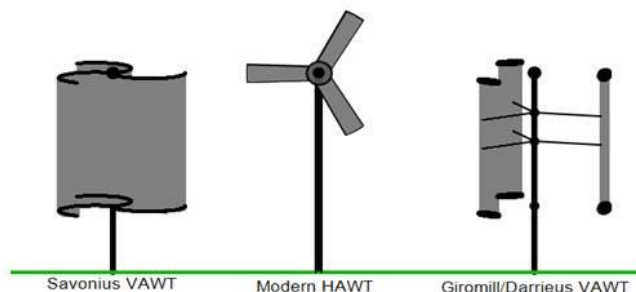
Річ у тому, що фізична орієнтація вісі ротора відносно лінії горизонту залежить від напрямку руху повітряних мас. Так, у більшості випадків вітер дме паралельно поверхні землі, тому коли вісь обертання турбіни повинна співпадати із напрямком вітру, то вона розташовується паралельно лінії горизонту, а коли вісь обертання повинна бути перпендикулярна напрямку руху повітря, то вона частіше за все розташовується вертикально. Але бувають і інші випадки. Наприклад, у сонячних баштах, де нагріте сонцем повітря рухається вгору, вісь турбін із горизонтальною віссю ротора фізично розташовується вертикально. А у деяких проектах по використанню потоків повітря із фіксованим напрямком, наприклад, у проектах утилізації вітру, що створюється автомобілями, можуть використовуватися вітрогенератори із вертикальним розташуванням вісі ротора у яких вісь обертання фізично розташовується горизонтально.

Варіанти розташування вісі обертання ротора



Таким чином більш технічно коректною була назва турбіни із паралельним або перпендикулярним розташуванням вісі ротора, але усталену термінологію дуже важко змінити, тому надалі будемо використовувати традиційні назви. Отже, незважаючи на велике різноманіття, існує усього два типи вітряних турбін – із горизонтальним та вертикальним розташуванням вісі ротора.

Типи вітрогенераторів



Із горизонтальною віссю ротора (Horizontal-Axis Wind Turbines – HAWT)

Із вертикальною віссю ротора (Vertical-Axis Wind Turbines – VAWT), хоча вона не обов'язково повинна бути вертикальною

Кожен з двох типів вітряних турбін має свої переваги та недоліки. До недавнього часу помилково вважалося, що турбіни із горизонтальним розташуванням вісі ротора більш ефективні ніж турбіни із вертикальним ротором. І лише відносно недавні теоретичні дослідження довели, що ККД вертикальних турбін може бути не меншим ніж у горизонтальних. Таким чином з енергетичної точки зору обидва типи турбін еквівалентні.

Порівняння типів вітрогенераторів

З горизонтальною віссю ротора

Переваги

- **Найбільш освоєна технологія** (через широке використання в авіації)
- Можливість підтримання постійної швидкості обертання шляхом зміни кута встановлення лопатей

Недоліки

- Необхідність стеження за напрямом вітру
- Високі механічні навантаження обмежують максимальну швидкість вітру на рівні 12...15 м/с
- Максимальна потужність обмежена механічними навантаженнями ротора (3...4 МВт)

З вертикальною віссю ротора

Переваги

- **Незалежність від напрямку вітру**
- Менша швидкість обертання, що дозволяє працювати при швидкості вітру до 20...25 м/с
- Генератор та до допоміжне обладнання встановлюється на фундаменті (відсутність вібрації та додаткових механічних навантажень)
- Простіший монтаж та обслуговування

Недоліки

- Більш складна конструкція ротора
- Недостатньо вивчена технологія
- Менша надійність (через складні механічні навантаження)

І це підвищує інтерес до турбін із вертикальним розташуванням ротора. Як видно із результатів аналітичного порівняння, вертикальні турбіни мають більше переваг та менше суттєвих недоліків, ніж турбіни із горизонтальним розташуванням ротора.

Головною перевагою турбін, де вісь ротора розташована вертикально, є нечутливість до напрямку вітру. На відміну від горизонтальних роторів, які необхідно постійно орієнтувати, вертикальні турбіни будуть працювати при будь-якому напрямку вітру. Крім цього ротор вертикальної турбіни, та й усе додаткове обладнання, не потрібно монтувати на великій висоті. Усе це спрощує як будівництво так і експлуатацію вітрогенераторів із вертикальним розташуванням ротора.

Але на сьогоднішній день відносна частка вітрогенераторів із горизонтальною віссю ротора складає більше 90% від усієї кількості вітряних турбін. Це пов'язано у першу чергу з тим, що генератори із вертикальною віссю ротора поки ще маловивчені, і у світі існує набагато більше компаній, виробництво яких орієнтовано на традиційні горизонтальні вітрогенератори. Але ситуація постійно змінюється. З кожним роком кількість нових компаній, що виходять на ринок вітроенергетики, орієнтуються саме на вертикальні генератори. Більшість таких компаній створюється у країнах Азії. Тому зараз можна сказати, що вітрогенератори із горизонтальним розташуванням вісі ротора більш популярні у країнах США та Європи, у той час як генератори із вертикальною віссю ротора потроху освоюють ринок Азії.

Перспективи використання

З горизонтальною віссю ротора

Складають близько 90% від загальної кількості встановлених турбін., випускаються більше ніж 100 компаніями

До недавнього часу вважалися найбільш ефективним типом

Через розвинену технологію та наявність великої кількості виробників поки що залишаються найбільш поширеним типом вітротурбін, але по мірі розвитку більш простіших, але не менш ефективних, турбін з вертикальним ротором можливе зменшення їх популярності

З вертикальною віссю ротора

Лише нещодавно теоретичні розрахунки та експериментальні дослідження показали, що ефективність турбін з вертикальною віссю ротора не гірше ніж у турбін із горизонтальним ротором

На сьогоднішній день цей напрям бурхливо розвивається

Через простішу конструкцію, що не потребує використання високих технологій, широко використовуються у країнах, що розвиваються

Результати теоретичних досліджень показують, що максимальний ККД вітряної турбіни не може перевищувати 59,3%. Тобто жодною турбіною фізично неможливо повністю

зупини масу повітря, що рухається. Кращі проекти турбін мають ККД близько 45%, що досить близько до теоретичного максимуму. Ті ж турбіни, що серійно виготовляються, мають типовий ККД близько 40%, що не так вже й погано для енергетичних пристроїв, враховуючи що повна зупинка повітря, може призвести у тому числі і до екологічних катастроф, бо вітер є природною системою вентиляції сучасних мегаполісів.

Ефективність вітрогенератора



- За результатами теоретичних досліджень максимальна ефективність ідеального вітроколеса (як горизонтального, так і вертикального) не може перевищувати 59,3%.
- На даний час ефективність горизонтальних вітрогенераторів дорівнює 40%
- Експериментальні дослідження вітрогенераторів із вертикальним ротором показали, що можливе досягнення ефективності на рівні 40...45%

На сьогоднішній день ККД існуючих вітрогенераторів близькі до теоретичного максимуму

Вітрогенератори із горизонтальною віссю ротора

Вітрогенератори із горизонтальним розташуванням вісі ротора є найбільш популярним типом вітряних турбін. Цьому сприяв у тому числі і бурхливий розвиток авіації та кораблебудування де використовуються різноманітні пропелери та гребні гвинти, теоретичні принципи роботи яких нічим не відрізняються від принципів роботи даного типу турбін. Таким чином, коли у 70 роках минулого сторіччя виникла потреба в ефективних вітротурбінах, уся теоретична база для їх побудови вже була готова.

Керування потужністю вітрогенератора



Найчастіше використовуються вітрогенератори із трьома лопатями для досягнення компромісу між величиною обертаючого моменту (що збільшується із кількістю лопатей) та швидкістю обертання (що зменшується із кількістю лопатей)

Для регулювання ефективності вітрогенератора використовують ротори із регульованим кроком гвинта (кутом встановлення лопатей)

Крок гвинта – відстань, яку проходить край лопаті гвинта (хорда перетину лопаті гвинта) у повітряному потоці за один оберт

Найчастіше для вітрогенераторів використовують турбіни, кількість лопатей яких кратна трьом. Це пов'язано з тим, що подібна конфігурація створює рівномірне навантаження на механічну частину, що спрощує вимоги до вальниць та подальшого технічного обслуговування. Хоча існують і проекти, де кількість лопатей кратна двом, п'яти, семи та іншим числам, але вони не настільки широко розповсюджені як генератори із трьома або шістьма лопатями.

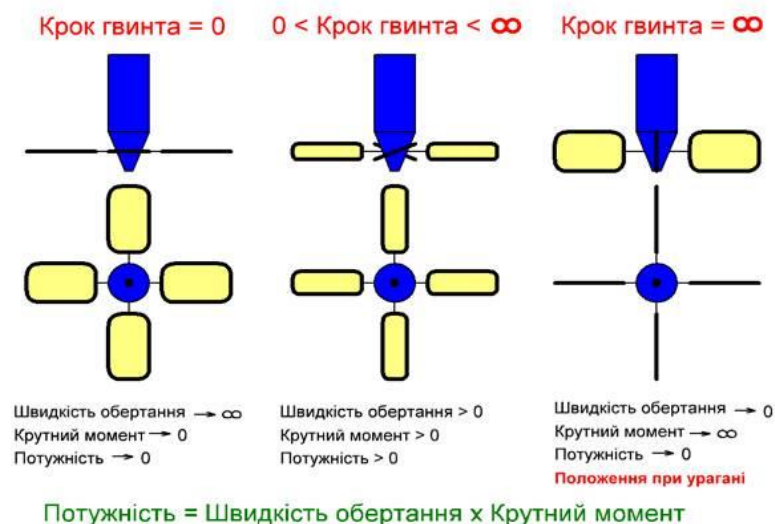
Вітрогенератор із п'ятьма лопатями



Одною з ключових переваг та особливостей горизонтальних турбін є можливість регулювання крутного моменту шляхом обертання лопаті відносно своєї вісі. Це дозволяє ефективно підлаштовувати швидкість обертання під зміну швидкості вітру. Для цього слід розібратися із таким поняттям як крок гвинта. Крок гвинта – це відстань, яку проходить край лопаті гвинта у повітряному потоці за один оберт. Коли поверхня лопаті розташована перпендикулярно потоку повітря крок гвинта та крутний момент турбіни наближаються до нуля. У такому режимі турбіна може обертатися, причому з максимальною швидкістю, але будь яке механічне навантаження на вісь призведе до швидкої зупинки ротора, незалежно від швидкості вітру. Цей режим на реальних генераторах зазвичай не використовується.

По мірі повороту лопатей відносно напрямку руху повітря крутний момент турбіни збільшується, а швидкість обертання зменшується. Якщо встановити лопаті паралельно руху повітря, то крутний момент збільшиться до нескінченності але турбіна при цьому зовсім перестане обертатися. У такий режим турбіну переводять під час сильного вітру чи урагану, коли висока швидкість руху повітря може пошкодити механічну частину вітрогенератора.

Крок гвинта



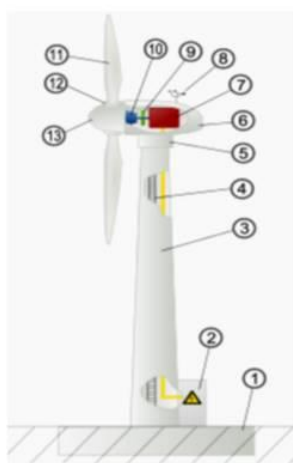
Оскільки потужність турбіни є добутком швидкості обертання та крутного моменту, то вочевидь, що точка максимальної потужності буде у певному проміжному положенні лопатей. На промислових вітрогенераторах кут встановлення лопатей розраховується спеціалізованим контролером і залежить від результатів вимірювань швидкості на пряму вітру.

Більш того для потужних генераторів кут встановлення кожної лопаті може бути різний і змінюватися залежно від положення ротора. Тобто лопать, яка зараз знаходиться в

верхній частині ротора може мати інший кут ніж інші лопаті. Це дозволяє максимально зменшити механічні навантаження, а також збільшити ККД турбіни у випадку, коли напрям вітру відрізняється від поточної орієнтації турбіни.

У типовому вітрогенераторі із горизонтальним розташуванням вісі ротора більшість обладнання розташовується у гондолі на великій висоті. Це пов'язано із складностями у транспортуванні механічної енергії від турбіни до землі, хоча є й проекти, де генератор знаходиться на рівні землі, а енергія передається за допомогою механічної трансмісії, але такі проекти не набули широкого розповсюдження.

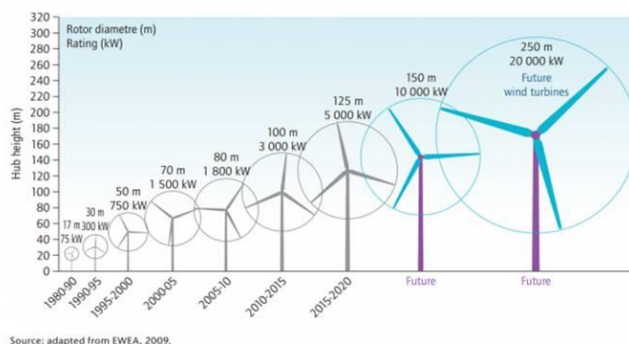
Вітрогенератор із горизонтальною віссю ротора



1. Фундамент
2. Силова шафа
3. Вежа
4. Сходи
5. Поворотний механізм
6. Гондола
7. Електричний генератор
8. Система слідування за напрямком і швидкістю вітру (анемометр)
9. Гальмівна система
10. Трансмісія
11. Лопаті
12. Система зміни кута атаки лопаті
13. Ковпак ротора

Головною проблемою усіх вітрогенераторів є широкий діапазон швидкості вітру. У певній місцевості швидкість вітру більшість часу може становити близько 1 м/с, але кілька днів у році у цьому місці можуть бути грози з ураганим вітром, швидкість якого може зрости у кілька десятків разів. Створити турбіну, що була б ефективна при будь-якій швидкості вітру дуже складно, тому кожна турбіна розраховується на певну швидкість руху повітря, де вона максимально ефективна. Більшість розглянутих раніше потужних вітрогенераторів ефективні при швидкості вітру більше 8 м/с. Але такі вітри на поверхні землі бувають дуже рідко, тому потужні генератори намагаються встановити якнайвище. Типова висота щогли потужного наземного вітрогенератора потужністю більше 1 МВт зазвичай перевищує 100 м.

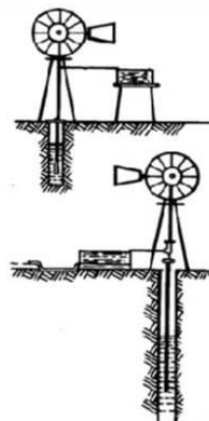
Розміри вітрогенераторів



Середня швидкість вітру на рівні поверхні землі, становить близько 2 м/с, тому потужні вітрогенератори у таких умовах працювати не будуть. Для роботи із таким вітром краще підходять багатолопатеві вітротурбіни, які добре себе зарекомендували у якості рушіїв для водяних насосів. Такі турбіни активно використовуються у віддалених

місцевостях, наприклад для поливу рослин. Для вироблення електричної енергії такі турбіни не дуже ефективні, тому їх майже не використовують.

Багатолопатеві турбіни



Різновидом багатолопатевих турбін є парусні турбіни. Вони також ефективно працюють при слабкому вітрі, але головною їх особливістю є наднизька вартість. Ці турбіни не потребують високої точності зборки і можуть бути виготовлені із підручних матеріалів. Крім того гнучкі матерчаті лопаті добре тримають пориви вітру, і якщо вони навіть і будуть пошкоджені, то через низьку вартість їх ремонт не потребує великих капіталовкладень. На жаль, низька ефективність парусних турбін не дозволяє використовувати їх для вироблення електричної енергії у промислових масштабах. Основне їх застосування – малопотужні електростанції або невеличкі водяні насоси.

Парусні турбіни



Цікавим варіантом парусного генератора є розробка фахівців з туніської компанії Saphon Energy. Їх вітрогенератор не має частин, що обертаються. Енергія вітру сприймається еластичним парусом, який починає коливатися і призводить до руху систему поршнів, які за допомогою гідравлічної системи передають цю енергію до генератора. Польові тестування цього стартапу показали високу ефективність подібного рішення, яке починає працювати при швидкості вітру від 0,5 м/с.

Парусний вітрогенератор Saphon Energy



Не має частин, що обертаються

Парус коливається під напором вітру і рухає пов'язані з ним поршні, які запускають гідравлічну систему, що виробляє електричну енергію

Може працювати при швидкості вітру, починаючи від 0,5 м/с

Не залишаються осторонь цього процесу і українські винахідники. Так у лабораторії доктора технічних наук Олексія Оніпко було створену унікальну вітротурбін у формі об'ємної спіралі, що може працювати при дуже слабкому вітрі. Форми турбін розраховується за допомогою спеціалізованих алгоритмів, що моделюють рух повітря з урахуванням збурень, що утворюються у місці контакту рухомого повітря з рухомою поверхнею ротора. За свій винахід український вчений отримав не одну престижну нагороду, у тому числі і медаль "Леонардо Да Вінчі", від Асоціації Європейських винахідників "АЕІ", Премію «Зелений Оскар», від Міжнародної федерації асоціації винахідників (IFIA) та десятки інших.

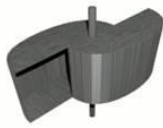
Ротор Оніпко



Вітрогенератори із вертикальною віссю ротора

На відміну від вітротурбін із горизонтальною віссю ротора, кількість варіантів турбін із вертикальним або перпендикулярним розташування вісі ротора набагато більше. Традиційно розгляд вертикальних турбін починається із ротора Савонівуса. Це найбільш проста турбіна, яку можна виготовити самостійно. В оригінальному варіанті ротор Савонівуса утворюється шляхом розрізання навпіл полого циліндра із подальшим зміщенням його половин відносно вісі обертання.

Ротор Савонівуса



Вітрова турбіна з вертикальною віссю, яка складається з двох або трьох зміщених одна відносно одної частин порожнистого циліндра

Переваги

- Простота виготовлення
- Високий початковий крутильний момент



Недоліки

- Нерівномірне навантаження на вісь (високий рівень вібрації)
- Низька ефективність (10...18%)

Із збільшенням кількості лопатей зменшується ефективність!

Головною перевагою ротора Савонівуса є високий початковий крутний момент, що зрушує її навіть при дуже слабкому вітрі. Але низький ККД, що не перевищує 18%, не дозволяє розглядати цю турбіну у якості ефективного приймача енергії вітру. Крім цього ця турбіна має нерівномірне механічне навантаження на вісь, що призводить до швидкого зносу вальниць.

Ротор Савонівуса



Для зменшення рівня нерівномірності навантаження на вісь ротори Савонівуса виготовляють спіральної форми або розташовують кілька роторів один над одним із зміщення куту

Для зменшення рівня механічних навантажень можна збільшити кількість півциліндрів, але зі збільшенням їх числа зменшується також і ККД турбіни, тому на практиці більше трьох півциліндрів зазвичай не використовують. Частіше за все для зменшення нерівномірності механічного навантаження використовують кілька роторів Савонівуса, які зміщені один від одного на певний кут. Найменший рівень механічних навантажень має ротор Савонівуса спіральної форми, але він і найбільш складний у виготовленні.

Незважаючи на низький ККД ротори Савонівуса активно використовують на практиці але не в якості самостійної турбіни, а для розкрутки більш ефективних роторів, наприклад турбін на основі ротора Дар'є. Подібна комбінована турбіна працює наступним чином. При слабкому вітрі, працює ротор Савонівуса, а по мірі збільшення потужності повітряного потоку починає працювати більш ефективна турбіна.

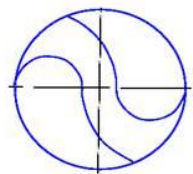
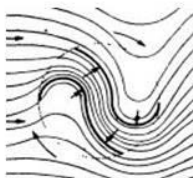
Ротор Савонівуса



Через високий початковий крутильний момент ротори Савонівуса використовуються для розкрутки роторів інших типів, для зрушення яких потрібна більша швидкість вітру

Різновидністю ротора Савонівуса є ротор Угринського, який був запропонований у 1946 році. Особливістю цієї турбіни є форма пластин, що у перетині нагадують латинську літеру S. Відстань між поверхнями пластин повинна встановлюватися з високою точністю і дорівнювати $2/3$ від ширини гирла каналу. Лише за цих умов цей ротор має високу ефективність. Але навіть невеличкі відхилення у геометричних розмірах можуть призвести до катастрофічного зменшення ККД.

Ротор Угринського



Різновид ротора Савонівуса, запропонований Угринським у 1946 році.

Складається із двох пластин, профіль яких нагадує літеру S

Головною умовою є співвідношення середньої частини каналу між лопатями, що повинно дорівнювати $2/3$ від ширини гирла каналу

Переваги

- Більш висока ефективність (порівняно із ротором Савонівуса)
- Немає мертвих точок

Недоліки

- Висока складність розрахунку та виготовлення
- Потребує ретельного балансування та центрування

Вочевидь, що ротори Угринського дуже складні як у розрахунках, так і виготовлені, тому вони й не набули широкого розповсюдження на практиці. На сьогоднішній день вітрогенератори на основі роторів Угринського виготовляють в основному окремі індивідуальні розробники.

Ротор Угринського



Більш ефективною вітротурбіною є ротор Дар'є. Запропонований у 1931 році цей винахід кілька десятиків років залишався без належної уваги, і лише у 70-х роках XX сторіччя були проведені польові випробування цих турбін, що показали щонайменше високий потенціал цього винаходу.

Турбіна Дар'є

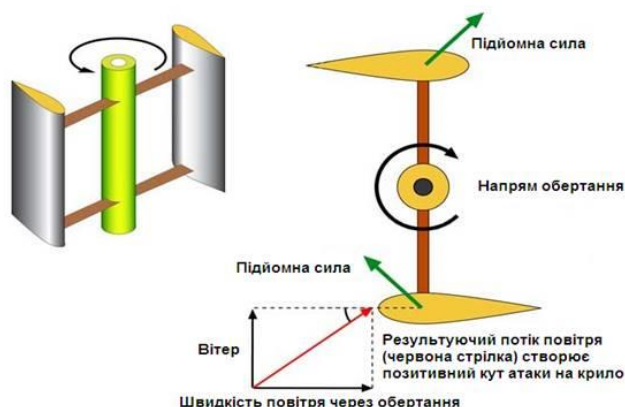


Турбіна Дар'є, Ротор Дар'є (англ. Darrieus rotor) — тип турбіни низького тиску, вісь обертання якої перпендикулярна потоку рідини або газу. Запропонована в 1931 році французьким авіаконструктором Жоржем Дар'є (George Darrieus).

Ротор являє собою симетричну конструкцію, що складається з двох і більше аеродинамічних крил, закріплених на радіальних балках. На кожне з крил, рухомих щодо потоку, діє підйомна сила, величина якої залежить від кута між вектором швидкості потоку і миттєвої швидкості крила. Максимального значення підйомна сила досягає при ортогональності даних векторів.

Принцип роботи турбіни Дар'є схожий із принципом роботи крила літака. Потік повітря огинає поверхні лопатей турбіни із різною швидкістю, що створює перепад тиску та підйомну силу. Та оскільки лопаті жорстко закріплені, то ця підйомна сила створює крутний момент що призводить до обертання турбіни.

Принцип роботи турбіни Дар'є



Дуже довго математична модель процесів, що протікають під час роботи турбіни Дар'є була відсутня, тому вважалося, що цей вид турбін принципово не може мати високий ККД. Крім цього, випробування оригінальної моделі турбіни із криволінійними лопатями показали високі механічні навантаження, що призводили до швидкого руйнування турбіни та необхідності частого обслуговування її механічної частини. А якщо додати до цього складність виготовлення та монтажу цього ротора, то стане вочевидь, що подальше існування вітряних турбін цього типу у той час опинилося під великою загрозою.

Турбіна Дар'є



Переваги:

- Не залежить від напрямку потоку, тому не потребує пристрою орієнтації
- Високий коефіцієнт швидкохідності при малих швидкостях вітру
- Високий коефіцієнт використання енергії вітру. (не гірше ніж у вітрогенераторів із горизонтальною віссю ротора)
- Менший шум
- Відносна простота виготовлення

Недоліки:

- Значні навантаження на щоглу, пов'язані з ефектом Магнуса
- Велика частина маси обертового механізму на периферії
- Відсутність адекватної математичної моделі, що ускладнює конструювання
- Значний термін окупності вітрогенераторів

Як виявилось пізніше, ця турбіна мала великий прихований потенціал, але для його виявлення потрібно було ще провести низку робіт по її удосконаленню. Першим підвищити ККД цієї турбіни вдалося Масгроуву. Але його робота була більше спрямована на створення турбіни Дар'є зі змінною геометрією, що дозволяло не тільки підлаштовувати потужність під швидкість вітру, а й повністю зупиняти турбіну під час урагану.

Турбіна Дар'є із криволінійними лопатями



- Оригінальний варіант турбіни (1931 р.)
- Високий рівень шуму
- Великі механічні навантаження на лопаті
- Велика довжина валу, що обертається
- Складність та ненадійність розтяжок
- Складність виготовлення лопатей
- Неможливість встановлення на берегах та в офшорних зонах
- **Ефективність нижче ніж у генераторів із горизонтальною віссю ротора**

Але ротор Масгроува зі змінною геометрією виявився дуже складним у використанні і не давав бажаного ефекту. Тому подальші роботи у цьому напрямі було припинено і на сьогоднішній день подібний різновид турбін Дар'є практично не використовуються. На сьогоднішній день майже усі турбіни Дар'є мають фіксовану геометрію без можливості регулювання швидкості обертання, що є одним з їх недоліків.

Турбіна Дар'є із змінною геометрією (ротор Масгроува)



Але незважаючи на невдачу ротор Масгроува, але вже з фіксованою геометрією та прямолінійними лопатями, відомий також як Н-ротор Дар'є, активно використовується на сьогоднішній день. Його головними перевагами є більш висока ефективність, ніж у оригінальної турбіни Дар'є із криволінійними лопатями, та простота виготовлення. Турбіни цього типу можуть мати різну кількість лопатей, зазвичай від трьох до шести.

Турбіна Дар'є із змінною геометрією (ротор Масгроува)



Незважаючи на підвищену складність і можливість регулювання потужності, вивести ротори Масгроува на рівень ефективного практичного використання так і не вдалося

Але Н-ротор Дар'є все ж таки має нерівномірне механічне навантаження на вісь. І це стало суттєвою перешкодою для створення потужних вітрогенераторів, бо нерівномірність механічного навантаження підвищує рівень вібрації, акустичного шуму, амплітуди інфразвукових коливань, не кажучи вже про зменшення строку служби вальниць та інших механічних елементів. Для усунення цього недоліку Н-ротор було модифіковано шляхом повороту його частини на відносно вісі обертання. Цю операцію вперше виконав американський вчений-винахідник Олександр Горлов, у результаті чого з'явився ротор Горлова або турбіна Дар'є із гелікоїдними лопатями.

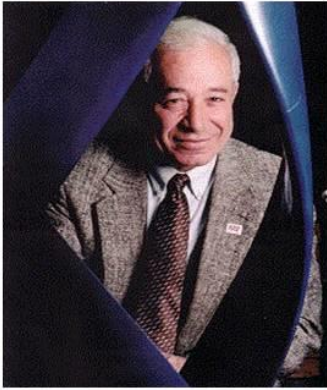
Турбіна Дар'є із прямими лопатями (Н-ротор)



- Більш ефективний ніж ротор Дар'є із криволінійними лопатями
- Велика пульсація моменту обертання, що призводить до зношення підшипників

На сьогоднішній день ротор Горлова є найбільш ефективним видом вітротурбін із вертикальною віссю ротора. Цей ротор названий одним з 100 найкращих інновацій 2001 року. Турбіна Горлова може працювати як у газовому, так у і водному середовищі, що дозволяє використовувати її не тільки і вітрогенераторах, а і гідроелектростанціях, припливних та хвильових електростанціях.

Н-ротор Дар'є із гелікоїдними лопатями (ротор Горлова)



Таким чином на сьогоднішній день існує три різновидності ротора Дар'є. Оригінальний варіант із криволінійними лопатями через низькі техніко-економічні показники та складність виготовлення практично не використовується. Н-ротор із прямими лопатями через простоту виготовлення має певне практичне використання. Але найкращі техніко-економічні показники має ротор Горлова або турбіна Дар'є із гелікоїдними лопатями.

Н-ротор Дар'є із гелікоїдними лопатями (ротор Горлова)



Найбільш досконалий на сьогоднішній день тип генератора із вертикальним розташуванням ротора

Огляд турбіни із вертикальним розташуванням вісі ротора був би неповним без розгляду багатолопатевого карусельного генератора. Як і багатолопатево горизонтальні турбіни, карусельні ротори призначені для роботи при слабких вітрах. Вони також більш ефективні у якості рушіїв для невеликих водяних насосів, ніж у якості генераторів електричної енергії, при цьому невисока вартість і простота обслуговування роблять їх ідеальними для використання і віддалених важкодоступних районах.

Багатолопатеві карусельні генератори



Таким чином, на сьогоднішній день немає однозначно ефективної вітряної турбіни. І турбіни із вертикальною, і турбіни із горизонтальною віссю можуть мати високе значення ККД та свою сферу застосування. Звісно можна зробити прогноз, що й майбутньому ротори Дар'є із гелікоїдними лопатями все ж таки витіснять традиційні турбіни із горизонтальним розташуванням вісі ротора, але чи буде це, чи ні – побачимо у майбутньому. Головне розуміти що вітроенергетика має величезний потенціал, якого достатньо що задовольнити, якщо не всю, то принаймні істотну частину енергопотреби людства. Тому можна стверджувати що найближчими роками кількість вітроелектростанцій, у тому числі і в Україні, буде тільки зростати.

Висновки

- Існують два типи вітрогенераторів: із горизонтальним та вертикальним розташування вісі ротора
- Обидва типи вітрогенераторів можуть мати високий ККД
- На сьогоднішній день більш популярними є вітрогенератори із горизонтальною віссю ротора, хоча вертикальні генератори мають більші перспективи для подальшого використання
- На сьогоднішній день найбільш перспективним вітрогенератором із вертикальною віссю ротора є турбіна Дар'є із гелікоїдними лопатями (ротор Горлова)

5. Накопичувачі енергії

На попередніх лекціях ми з вами розглядали елементи енергетичних систем, орієнтованих на використання альтернативних джерел енергії, зокрема на використання енергії сонця та вітру. Це не єдині альтернативні джерела енергії, які зараз доступні людині. Наразі існує доволі багато енергетичних ресурсів, які відносяться до категорії альтернативних, тобто до енергетичних ресурсів, які людина зараз не використовує в якості основних.

Взагалі розподіл енергоресурсів на традиційні та альтернативні є доволі умовним і залежить від конкретного часу. Наприклад, гідроелектростанції, тобто пристрої та системи, у яких в якості джерела енергії використовується енергія руху води, залежно від потужності відносять або до категорії традиційних, або до категорії альтернативних джерел енергії. Великі потужні гідроелектростанції входять у категорію традиційних, а малі, тобто електростанції потужністю 10 МВт, зараз усе більше фахівців класифікують як альтернативні джерела енергії.

Енергетичні ресурси

Традиційні	Альтернативні
• Вугілля • Нафта • Природний газ • Велика гідроенергетика • Ядерна енергетика	• Сонце • Вітер • Мала гідроенергетика • Хвилі, припливи • Геотермальні джерела • Гідротермальні джерела • Біомаса • Органічні відходи • ...

Але так було не завжди. Коли потужні гідроелектростанції на великих річках ще не були побудовані, то вони ніяк не могли бути традиційними джерелами енергії – у той час традиційними джерелами енергії були лише дрова та вугілля. Та поступово, по мірі розвитку і збільшення кількості електрообладнання, гідроелектростанції перейшли із категорії альтернативних джерел енергії до категорії традиційних, тобто до джерел енергії, які людина використовує у якості основних. А коли потреба у гідроелектростанціях малої та середньої потужності стала не такою гострою, вони знову перейшли із категорії традиційних до категорії альтернативних, а точніше – до категорії непотрібних, оскільки більшість невеликих гідроелектростанцій, наприклад, перша у світі гідроелектростанція, побудована Вільямом Армстронгом у 1878 році, були занедбані. Та з часом стало зрозуміло, що навіть невеликі гідроелектростанції спроможні зменшити техногенне навантаження, яке людина створює на довколишній світ, і зараз гідроелектростанції малої потужності, побудовані на невеликих річках, відновлюються по всьому світу.

Перша гідроелектростанція



Першу гідроелектростанцію побудував британський інженер, конструктор гармат та промисловець, барон **Вільям Джордж Армстронг** у 1878 році у Нортумберленді (Англія). Спочатку вона призначалася для живлення лише однієї дугової лампи.



Перша електростанція працювала до 1945 року, після чого будинок був підключений до центральної електричної мережі.

У 2014 році електростанцію реставрували, встановивши новий генератор потужністю 12 кВт. Головним елементом станції є Архімедів гвинт довжиною 17 метрів.

Та сьогодні мова піде не про гідроелектростанції, хоча я певен, що ця тема також буде цікавою для вас. Сьогодні мова піде про накопичувачі енергії – елементи енергетичних систем, призначені для тривалого зберігання енергії. Потреба у подібних накопичувачах не нова, проте найбільш гострою вона стала коли людство почало переходити на альтернативні

джерела енергії. Річ у тому, що більшість із них є непостійними у часі, тобто їх потужність може коливатися у широких межах. Наприклад, ви вже добре розумієте, що для роботи сонячних батарей необхідне сонце, тобто вони можуть працювати лише вдень. Проте навіть коли сонце присутнє на небосхилі, у цій місцевості може бути погана погода, наприклад, небо може бути затягнуте хмарами, які не будуть давати сонячним батареям працювати на повну потужність. Ще гірша ситуація із вітром, який по своїй природі є непостійним, і ви добре знаєте, що бувають періоди часу коли вітер дме з такої силою, що руйнує усе на своєму шляху, а бувають періоди часу, коли вітру взагалі немає. Таким чином, для ефективного використання майже усіх джерел енергії, особливо тих, що відносяться до альтернативних, окрім генерації енергії потрібно ще й вирішувати задачу її зберігання, тобто у сучасних енергетичних системах окрім пристроїв, що безпосередньо генерують електричну енергію, повинні ще бути і накопичувачі.

Особливості використання альтернативних джерел енергії



- Наявність періодичних коливань
- Непостійність
- Залежність від погодних умов
- Коливання потужності у широких межах

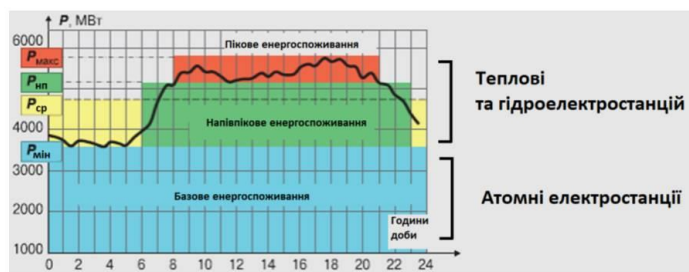


У сучасних енергетичних системах окрім пристроїв, що генерують електричну енергію, повинні ще бути і накопичувачі енергії

В існуючих енергосистемах потреба в накопичувачах також є, проте вона є не такою гострою. Наприклад, в українській, як у в усіх інших електричних енергосистемах, присутні періодичні та аперіодичні коливання споживання енергії. Найбільше споживання електричної енергії припадає на період з 8:00 по 21:00, у той час як у період з 23:00 до 6:00 енергоспоживання є мінімальне. Такі коливання є цілком природними – вони прив'язані до циклів життєдіяльності людини і з цим ми нічого не можемо вдіяти.

В українській енергосистемі мінімально необхідну кількість електричної енергії генерують атомні електростанції. Особливістю атомних реакторів є те, що вони повинні працювати в одному сталому режимі, оскільки для зміни рівня їх потужності потрібен час, що може досягати кількох годин. Тому зміна рівня генерації в українській електромережі забезпечується електростанціями інших типів, зокрема тепловими та гідроелектростанціями, потужність яких можна змінювати набагато швидше

Добовий графік навантаження на енергосистему



Особливістю електричної енергії є те, що її практично неможливо зберегти. Її можна дуже швидко – майже зі швидкістю світла – передати на великі відстані. Її можна дуже просто перетворити на інший вид енергії, наприклад, на електричну, світлову або теплову. Але електричну енергію, яка міститься у русі електрично заряджених часток, дуже важко зберегти, бо для цього необхідно створити такі умови, за яких заряджені частки будуть постійно рухатись і ні з чим не взаємодіяти, наприклад, не стикатися із жодним атомом або

не взаємодіяти із жодним стороннім електромагнітним полем. Оскільки створити такі умови дуже важко, то давайте прийнемо це як факт, і далі будемо вважати, що електричну енергію зовсім неможливо зберігати.

Особливості електричної енергії

- Висока швидкість передавання (приблизно 300 000 км/с)
- Простота передачі на великі відстані
- Простота перетворення в інші види енергії (теплову, механічну, енергію випромінювання)
- **Неможливість зберігання**

Електрична енергія використовується у якості проміжної ланки для передавання енергії у необхідну точку простору з подальшим перетворенням в вид енергії, який необхідний людині

Майже вся електрична енергія у світі одночасно вироблюється та споживається

Із досвіду викладання я знаю, що в цей момент у багатьох людей виникають питання, а інколи навіть і обурення. Адже усі знають, що в техніці електричну енергію зберігають, і зберігають її у спеціальних пристроях, які називаються акумуляторам. Тому, з точки зору багатьох людей, твердження, що електричну енергію не можна зберігати, не відповідає дійсності – усі ж знають що, наприклад, у смартфоні електрична енергія знаходиться в акумуляторі – це факт, який можна досить легко перевірити.

Ці люди праві, але точні. Дійсно існують пристрої для зберігання електричної енергії, які називаються акумуляторами. Взагалі «акумуляторами» називають пристрої, спроможні щось зберігати – не тільки енергію. Існують акумулятори знань, акумулятори води, палива тощо. Так само і є акумулятори для зберігання енергії, і ми саме про них сьогодні і говоримо. Проте акумулятори, про які знають більшість людей, а саме – про акумулятори, які використовуються в ліхтариках, ноутбуках і смартфонах та іншій техніці, є хімічними джерелами струму. Тобто в них зберігається не електрична енергія – що є енергію руху заряджених часток, а хімічна енергія – тобто енергія, що зберігається у хімічних зв'язках атомів всередині молекул.

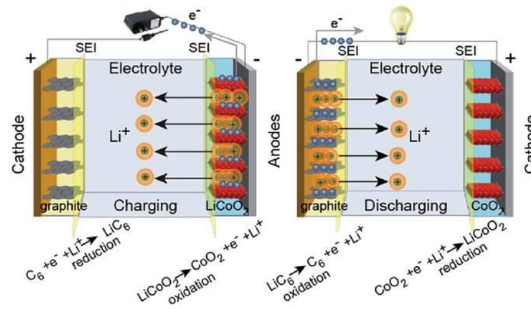
Електричні акумулятори



Електричний акумулятор – хімічне джерело струму, у якому енергія зберігається у зв'язках атомів, що створюють молекули

Під час роботи смартфона змінюється хімічний склад його акумулятора. Якщо розібрати два абсолютно однакові акумулятори, один з яких буде повністю заряджений, а другий – повністю розряджений, то виявиться, що вони складаються із різних хімічних речовин. Більше того, якщо взяти відповідні хімічні елементи і скласти їх до купи, то виявиться що новозбудований акумулятор є повністю зарядженим і спроможним забезпечувати електричною енергією протягом тривалого часу, хоча на заводі його спеціально ніхто не заряджав. Такі акумулятори називаються сухозарядженими – зазвичай це повністю нові акумулятори, які тільки прийшли із заводу і ще жодного разу не використовувались.

Хімічні процеси у літій-іонному акумуляторі



Отже, акумулятор зберігає не електричну, а хімічну енергію, хоча багато хто вважає, що це не так. Найбільш наближеними до гіпотетичних акумуляторів електричної енергії є конденсатори та дроселі. Конденсатори зберігають енергію у електричному полі, яке зосереджене у діелектрику, розташованому між двома електродами, а дроселі зберігають енергію у магнітному полі, що циркулює всередині магнітопровода. Оскільки енергія у цих елементах зберігається безпосередньо у фізичній речовині, то енергетична ємність конденсаторів пропорційна об'єму діелектрика, а енергетична ємність дроселів пропорційна об'єму магнітопровода.

Накопичувачі «електричної» енергії



Хімічні акумулятори
збереження енергії у зв'язках атомів



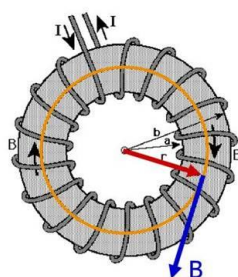
Конденсатори
збереження енергії у електричному полі



Дроселі
збереження енергії у магнітному полі

Зберігати енергію у дроселях дуже складно. Магнітне поле пов'язане безпосередньо зі струмом, тому для того щоб помістити енергію в магнітопровід, необхідно забезпечити коло для протікання струму, пов'язане із цим магнітним полем, тобто для того, щоб у магнітопроводі дроселя зберігалась енергія необхідно замкнути виводи його обмоток. Проте при типовій температурі, через наявність у обмотках дроселя активного опору енергія, яку перед цим завантажили у дросель, дуже швидко перетвориться на тепло. Тому дроселі спроможні зберігати енергію без істотних втрат лише протягом часу, що вимірюється у мікро- та мілісекундах. Дроселі активно використовуються в різноманітній електронній апаратурі, зокрема в перетворювачах електричної енергії, проте для зберігання енергії в промислових масштабах вони поки що принципово непридатні.

Магнітне поле дроселя



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_{\text{enclosed}} = \mu_0 NI$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = B \oint ds = B(2\pi r)$$

$$B(2\pi r) = \mu_0 NI$$

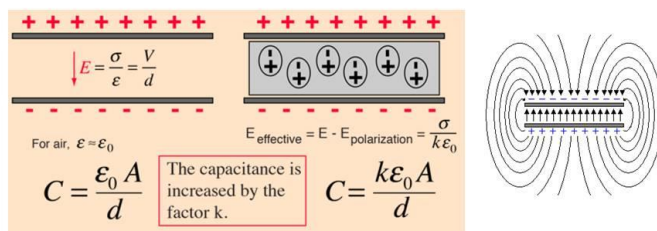
$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$$

Magnetic field inside a toroid of N loops, current I.

А от конденсатори навпаки – можуть накопичувати доволі велику кількість енергії і

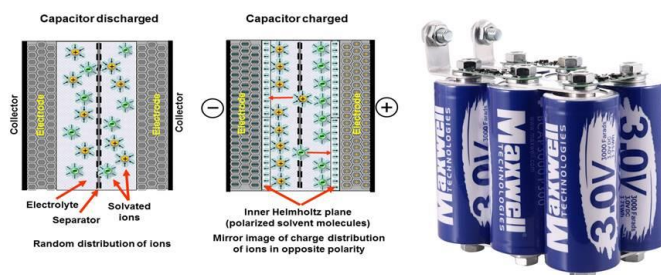
зберігати її протягом тривалого часу, тому що в електричному полі, що має потенційний характер, простіше зберігати енергію, ніж у магнітному. Але звичайні вакуумні, повітряні, паперові, керамічні та плівкові конденсатори, які активно використовуються в різноманітній електронній апаратурі, спроможні зберегти лише мізерну кількість енергії. Навіть самі енергоємні електролітичні конденсатори можуть зберегти енергію, якої вистачить для роботи обладнання у кращому випадку лише протягом кількох секунд.

Електричне поле конденсатора



Але існує і спеціальний тип конденсаторів, призначених саме для зберігання енергії. Через особливості конструкції вони називаються іоністорами або суперконденсаторами. Особливістю конденсаторів цього типу є дуже велика електрична ємність, яка може досягати кількох сотень фарад. Для довідки, максимальна ємність електролітичних конденсаторів, що використовуються в електронній апаратурі, у більшості випадків, не перевищує однієї тисячної фаради, отже ємність цих суперконденсаторів щонайменше у тисячу разів більше за ємність їх електролітичних аналогів.

Іоністори (суперконденсатори)



Суперконденсатори за своїми властивостями набагато кращі за хімічні акумулятори. На відміну від хімічних акумуляторів, вони спроможні швидко накопичувати та віддавати енергію, можуть працювати в широкому діапазоні температур і мають теоретично необмежений термін роботи. Проте їх питома ємність поки що істотно менша, а вартість поки що набагато більша ніж у самих простих свинцево-кислотних акумуляторів, тому масового використання вони поки що не набули. Проте забувати про них не варто, оскільки над спрощенням технології їх виготовлення працюють кілька провідних світових компаній, тому цілком можливо, що через деякий час суперконденсатори можуть витіснити із широкого використання деякі види хімічних акумуляторів.

Акумулятори vs. суперконденсатори

Хімічні акумулятори

Переваги:

- Висока питома ємність
- Низька вартість

Недоліки:

- Обмежена кількість циклів заряд-розряд
- Обмежений діапазон робочих температур
- Використання рідких та небезпечних речовин
- Тривалий час заряду
- Обмежений струм розряду
- Чутливість до перезаряду та глибокого розряду

Суперконденсатори

Переваги:

- Теоретично не обмежена кількість циклів заряд-розряд
- Можливість швидкого заряду та розряду
- Високі струми заряду та розряду
- Можливість роботи у широкому діапазоні температур
- Екологічна безпека
- Нечутливість до глибокого розряду

Недоліки:

- Висока вартість
- Низька питома ємність

Отже, електричну енергію у відносно великій кількості і з мінімальною кількістю перетворень можна накопичувати у дроселях, суперконденсаторах або хімічних акумуляторах. Дроселі непридатні для тривалого зберігання, суперконденсатори поки що уже дорогі, отже залишаються лише хімічні акумулятори. І це є перший тип накопичувачів енергії, які використовуються в сучасних інтелектуальних енергетичних системах.

Накопичувачі «електричної» енергії



Хімічні акумулятори
збереження енергії у
зв'язках атомів



Конденсатори
збереження енергії у
електричному полі

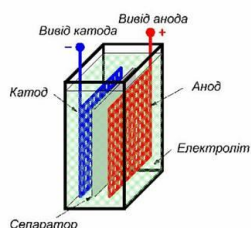


Дроселі
збереження енергії у
магнітному полі

Будова хімічного акумулятора є доволі простою. Елемент хімічного акумулятора, який на жаргоні часто називають «банкою», складається із двох електродів, що мають різний хімічний склад. Електроди занурюють у певну субстанцію, яку називають електролітом, завдяки якому стає можливими протіканні хімічної реакції між електродами. Для запобігання електричного контакту між електродами їх розділяють спеціальним сепаратором. Отже конструкція хімічного акумулятора є, з одного боку, доволі простою, а з іншою – дуже складною, оскільки окрім основних хімічних процесів, що відбуваються під час заряду та розряду, в акумуляторі протікають ще й величезна кількість небажаних, а головне – незворотних хімічних реакцій, які істотно обмежують їх термін експлуатації.

Наразі існує доволі велика кількість хімічних акумуляторів, проте через різні технологічні складнощі найбільшого поширення лише набули свинцево-кислотні, нікель-кадмієві, нікель-металгідридні та акумулятори на основі літію. Найбільшу питому ємність на сьогоднішній день мають літій-іонні та літій-полімерні акумулятори. Саме вони використовуються в сучасні телекомунікаційній та комп'ютерній техніці. Проте вони є і одними із самих дорогих. Крім того, запасів літію на землі не так вже й багато, тому зараз велика кількість компаній інвестують значні кошти у розробку акумуляторів на основі інших хімічних елементів, зокрема натрію.

Будова хімічного акумулятора



- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Графен-полімерні • Лантан-фторидні • Літій-іонні • Літій-кобальтові • Літій-полімерні • Літій-фторові • Літій-марганцеві • Літій-залізо-фосфатні • Літій-залізо-ітрію-фосфатні • Літій-тітанатні • Літій-хлорні • Літій-сірчані • Літій-метал-полімерні • Залізо-повітряні | <ul style="list-style-type: none"> • Нікель-сольові • Натрій-сірчані • Нікель-кадмієві • Залізо-нікелеві • Нікель-водневі • Нікель-металгідридні • Нікель-цинкові • Свинцево-кислотні • Свинцево-водневі • Срібно-цинкові • Срібно-кадмієві • Цинк-бромні • Цинк-повітряні • Цинк-хлорні |
|---|---|

Натрій-іонні акумулятори (Na-ion) мають питомі енергетичні показники такі ж самі як і літій-іонні. Але натрій приблизно в 100 разів дешевше за літій, тому натрієві елементи можуть бути в рази дешевшими за літєві. Крім того, на відміну від літію, натрію на землі набагато більше, тому при використанні натрію практично немає ризику у швидкому закінченні його природних родовищ. Розробку натрій-іонних акумуляторів почали в 1990-х роках, проте серййне виробництво акумуляторів цього типу розпочалось лише 2013 року. Складнощі в заміні літію більш дешевим натрієм виникли через різницю у розмірах іонів натрію і літію. Іони натрію набагато більші за іони літію, тому довгий час виробники довгий час не могли створити сепаратор який би з одного боку пропускав іони натрію, і з іншого – перешкоджав протіканню усіх інших небажаних хімічних реакцій. Великою перевагою натрій-іонних акумуляторів є стійкість до глибокого розряду, що робить їх безпечними для перевезення та експлуатації. Тому в найближчі роки прогнозується поступовий перехід від літій-іонних акумуляторів до більш дешевих та надійних акумуляторів на основі натрію.

Натрій-іонні акумулятори



Накопичувач на основі натрій-іонних акумуляторів (2019 р)



Види енергії

Отже, з накопичувачами хімічної енергії ми з вами вже познайомились. Це накопичувачі, у яких енергія зберігається у зв'язках атомів, які утворюють молекули. Проте це не єдиний вид енергії, який існує у природі. Окрім хімічної, існує ще 5 основних видів енергії, які людина спроможна використовувати на практиці, у тому числі і в інтелектуальних енергетичних системах. Це гравітаційна, механічна, теплова, електромагнітна і ядерна енергії.

Основні види енергії



Маховик
(накопичувач механічної енергії)

- Гравітаційна
- Механічна
- Теплова
- Хімічна
- Електромагнітна
- Ядерна

На сьогоднішній день люди навчилися зберігати майже усі види енергії окрім ядерної

З хімічною енергією усе зрозуміло – хімічні акумулятори ми з вами щойно розглянули. А взагалі джерел хімічної енергії є дуже багато. До них, у першу чергу відносяться усі речовини, які утворились із колишніх живих організмів, наприклад, вугілля, нафта, природний газ, торф або дрова. Тому і наша їжа, і рослинного, і тваринного походження, також є повноцінним накопичувачем хімічної енергії. Проте у курсі «Інтелектуальні пристрої та системи» нас більше цікавлять технічні системи, тому ми не будемо розглядати особливості кулінарного мистецтва, а розглянемо лише хімічні акумулятори та водневі системи.

Джерела хімічної енергії



Нафта



Природний газ



Батареї та акумулятори



Вугілля



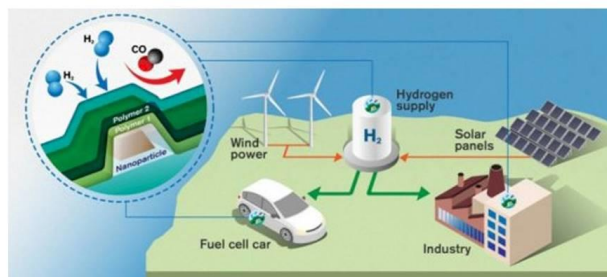
Їжа



Водневі системи

Воднева енергетика є дуже перспективним напрямком розвитку енергосистем. Річ у тому, що для зберігання, передачі та використання водню можна використовувати вже існуючу інфраструктуру, що зараз працює на природному газі. Водень цікавий тим, що при його згорянні утворюється лише вода без будь яких парникових газів. Проте на нашій планеті немає природних родовищ водню, бо цей газ легко проходить майже через усі шари земної кори, підіймається до самих верхніх шарів атмосфери, а звідти вже випаровується у космос. Тому весь водень, що використовується людиною, є штучного походження. Дуже привабливим джерелом водню є вода, проте зараз людина ще не знає, як «розібрати» воду на складові частини з мінімальними витратами енергії, тому говорити про широке використання водню у якості накопичувача енергії поки ще рано, хоча знати про цей напрямок ви також повинні.

Воднева енергетика



Електромагнітна енергія або енергія випромінювання є енергією коливань електромагнітного поля. Коливання електромагнітного поля відомі людству, наприклад, як радіохвилі, світло або рентгенівські промені. Особливістю цього виду енергії є те, що його принципово не можна зберегти. Річ у тому, що випромінювання є рухом, тобто динамічним процесом, а збереження – це процес статичний. Отже, як тільки зникає рух, то і зникає випромінювання. Вже відомі нам дроселі та конденсатори лише статично збільшують напруженість електричного або магнітного полів. Але і електричне, і магнітне поля навіть у напруженому стані може знаходитися протягом тривалого часу без будь-яких втрат енергії. А випромінювання має хвильову природу, тобто воно не може існувати без розповсюдження у довколишньому середовищі. Тому енергію, що міститься у випромінюванні, наприклад, енергію світла, можна лише перетворити на інший вид енергії. Але зберегти світло принципово неможливо, так само як і не можна зберегти будь-який рух. Як тільки фотон світла стикається з атомом, то він перестає існувати у Всесвіті, віддаючи усю свою енергію, атому з яким він стикнувся.

Накопичувачі електромагнітної енергії



Енергію електромагнітних хвиль не можна зберегти



Конденсатори збереження енергії у електричному полі



Дроселі збереження енергії у магнітному полі

Отже людина вже навчилася зберігати та використовувати майже усі відомі види енергії, окрім ядерної. Освоєння ядерної енергії людиною поки що знаходиться на стадії експериментів із сумнівними результатами. Проте потенційно ядерна енергія – енергія, що знаходиться у ядерних зв'язках протонів та нейтронів всередині атомного ядра, спроможна забезпечити людство такою кількістю енергії, якої їй вистачить до кінця існування нашого Всесвіту.

Проте повернемося на землю. Допоки фізики-ядерники сушать собі голови над встановленням контролю над реакціями ядерного розпаду та ядерного синтезу, розглянемо кілька цікавих проєктів, які вже реалізовані та практично використовуються в інтелектуальних енергетичних системах.

Основні види енергії



Маховик (накопичувач механічної енергії)

- Гравітаційна
- Механічна
- Теплова
- Хімічна
- Електромагнітна
- Ядерна

На сьогоднішній день люди навчилися зберігати майже усі види енергії окрім ядерної

Гравітаційні накопичувачі

Принцип роботи гравітаційних накопичувачів полягає у накопленні енергії за рахунок підйому та опусканню на певну висоту певного об'єкту із ненульовою масою. Коли об'єкт піднімається, то він отримує, тобто накопичує, певну кількість енергії. А коли об'єкт опускається, то він віддає накопичену енергію в зовнішню систему. Прикладом гравітаційних накопичувачів є гирки старих годинників. Для того щоб забезпечити годинниковий механізм енергією гирки вручну піднімаються на певну висоту. По мірі

витрати енергії гирка опускається, допоки не досягала підлоги, після чого годинник зупинявся.

Кількість енергії, яка накопичується або віддається таким накопичувачем, дорівнює добутку маси об'єкта на різницю висоти, на яку його було переміщено. Крім того, кількість енергії, накопиченої об'єктом, залежить від сили тяжіння. Тому на різних планетах гравітаційні накопичувачі будуть мати різну питому енергетичну ємність. На жаль, на землі питома енергоємність гравітаційних накопичувачів невелика і визначається формулою $E = m \cdot g \cdot h$. Таким чином, щоб запасти енергію для нагріву 1 літру води від 20 °C до 100 °C треба підняти тону вантажу щонайменше на висоту 35 метрів, або вантаж масою 10 тон на висоту 3,5 метра.

Гравітаційні накопичувачі



Накопичення енергії – вантаж піднімається на певну висоту

Повернення енергії – вантаж опускається вниз

Енергетична ємність:

$$E = m \cdot g \cdot h$$

- m – маса вантажу
- h – різниця висот
- g – прискорення вільного падіння – 9,8 м/с²

Для того щоб закип'ятити 1 літр води (≈ 340 кДж) необхідно підняти вантаж вагою 1 тону на висоту 35 м, або вагою 10 тон на висоту 3,5 м

Через відносно малу питому енергоємність земні гравітаційні накопичувачі мають великі розміри та вагу, що є їх головним недоліком. Але вони також мають і переваги, головними з яких є простота, надійність та довговічність. Вантаж гравітаційних накопичувачів може не змінювати свою масу протягом років, століть та навіть тисячоліть. Тому при належному технічному обслуговуванні та своєчасній заміні зношених частин такий накопичувач може працювати дуже довго. Крім того, гравітаційні накопичувачі можуть дуже швидко забирати та віддавати енергію, що особливо важливо в енергетичних системах, де можуть бути швидкі коливання рівнів генерації та споживання, що робить їх цікавими для інтелектуальних енергетичних систем на основі альтернативних джерел енергії. У якості об'єкта, що запасає енергію, можуть бути будь-які тверді тіла, рідини та сипучі матеріали. А от газу, через малу питому вагу, у якості гравітаційних накопичувачів не використовуються.

Гравітаційні накопичувачі



Переваги:

- Швидке виділення енергії
- Не потрібно використовувати складні технології
- Тривалий термін служби

Недоліки:

- Великі розміри та вага споруди

Активні речовини накопичувачів:

- Тверді тіла (блоки, гирки, вантажі, тощо)
- Рідини (вода)
- Сипучі матеріали (пісок, гравій, кульки, тощо)

Прикладом сучасного гравітаційного накопичувача енергії, призначеного для інтелектуальних енергетичних систем, є накопичувач, розроблений компанією Energy Vault для індійської енергетичної компанії Tata Power. Цей накопичувач складається із кількох підйомних кранів, які збирають та розбирають башту із бетонних блоків. Така система призначена для використання із сонячними та вітряними електростанціями. Коли кількість енергії, отриманої від сонячних та вітряних електростанцій перевищує потреби користувачів, тоді надлишок енергії спрямовується на будівництво башти, а коли у системі бракує енергії, тоді башта розбирається і енергія, яка була витрачена на підняття бетонних блоків повертається в систему. Один такий накопичувач має пікову потужність до 4 МВт і енергетичну ємність до 35 МВт·год. Крім того, така система легко масштабується, що дозволяє збільшувати як потужність, так і енергетичну ємність такого накопичувача.

Гравітаційний накопичувач компанії Energy Vault (Швейцарія)



Основні характеристики:

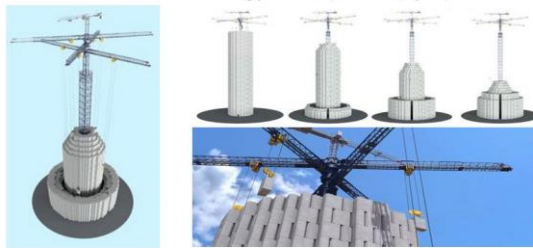
- Енергетична ємність – 35 МВт·год
- Пікова потужність – 4 МВт
- ККД – до 90%
- Термін служби – 30...40 років
- Вихід на повну потужність – 3,9 секунди

Переваги:

- Використання екологічно чистих матеріалів
- Відсутність шкідливих викидів
- Простота конструкції

Компанія Energy Vault стверджує, що її система може досягати ККД приблизно в 90%, працювати протягом 30-40 років, забезпечуючи необмежену кількість циклів накопичення-повернення енергії без зниження початкової ємності. Компанія заявляє, що використовує екологічно стійку сировину – відходи, які в іншому випадку направляються на звалища. За даними виробника, швидкість реакції становить мілісекунди, а на повну потужність накопичувач виходить за 2,9 секунди. Компанія Energy Vault також вважає, що навіть з урахуванням природного зносу компонентів, витрат на експлуатацію, технічне обслуговування та заміну деталей, вартість такої системи буде щонайменше на 20% меншою за усі існуючі рішення.

Гравітаційний накопичувач компанії Energy Vault (Швейцарія)



Ще один проєкт гравітаційного накопичувача створено компанією Tehachari у штаті Каліфорнія США. Накопичувач є залізницею, побудованої на склоні гори, по якій рухаються спеціальні вагони. При накопиченні енергії вагони рухаються до верхівки гори, а при віддаванні – спускаються донизу. Цей накопичувач також призначений для акумулювання енергії від розташованих поруч сонячних і вітряних електростанцій

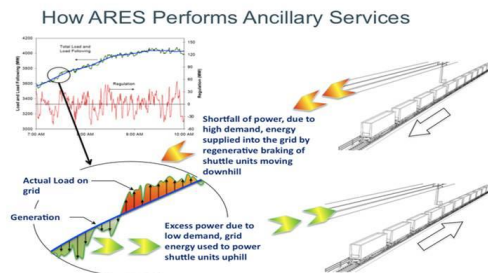
Накопичувач енергії компанії ARES (Tehachari, Каліфорнія, США)



В Каліфорнії немає великих водоймищ, тому будівництво гідроакумулювальних станцій, які зазвичай використовують для накопичення великих обсягів енергії, устотно утруднене. Проте у цій місцевості є гори, тому будівництво такого накопичувача виявилось непоганим рішенням. ККД такої системи дорівнює приблизно 86%, при цьому система має:

- більш низьку вартість життєвого циклу, ніж при використанні акумуляторів;
- більш швидку реакцію, ніж у ГАЕС;
- не потребує води, що актуально для посушливих районів.

Накопичувач енергії компанії ARES (Tehachapi, Каліфорнія, США)



Один візок накопичувача Tehachapi має вагу 5670 кг. Він рухається по колії шириною 381 мм. На самому візку встановлений як електричний двигун, так і електричний генератор, тому для прийому та передавання енергії довелося будувати додаткову контактну рейку. У планах у компанії споруда ще однієї подібної системи енергетичної ємністю 12,5 МВт·год у сусідньому штаті Невада.

Накопичувач енергії компанії ARES (Tehachapi, Каліфорнія, США)



Проте підняття та опускання твердих тіл призводить до появи низки технічних складнощів – для цього потрібні рейки, крани, троси та ще велика кількість різних допоміжних об'єктів та механізмів. Більш простіше використовувати в якості накопичувача рідину, зокрема воду. Тому не дивно, що першими накопичувачами, здатними накопичувати енергію в промислових масштабах, стали гідроакумулявальні електростанції. Гідроакумулявальна електростанція (скорочено ГАЕС) має два резервуари, розташовані на різних висотах, між якими за допомогою насосів та труб перекачується вода. Для накопичення енергії вода переміщується з нижнього резервуара в верхній, а для віддавання енергії вода під дією сили тяжіння опускається в нижній резервуар, обертаючи лопаті турбіни, яка генерує електричну енергію.

Гідроакумулявальна електростанція



Однією із найбільших в світі гідроакумулявальних електростанцій є Дністровська ГАЕС, розташована в Україні в Чернівецькій області на річці Дністер. Її будівництво почалося в 1983 році, а перший агрегат почав працювати 22 грудня 2010 року. Проектна потужність Дністровської ГАЕС дорівнює 2,268 ГВт, що робить її сьомою за потужністю гідроакумулявальною електростанцією у світі. Проте ця електростанція ще знаходиться у стадії будівництва. Наразі побудовано лише чотири із семи енергоблоків. Останній четвертий енергоблок був запущений 17 серпня 2021 року.

Дністровська ГАЕС



Одна із найбільших гідроакмулювальних електростанцій у світі
7 насосів-турбін (побудовано 3)



Проектна потужність

- 2268 МВт (у генераторному режимі)
- 2947 МВт (у насосному режимі)

Існуюча потужність

- 324 МВт (у генераторному режимі)
- 416 МВт (у насосному режимі)

Одна турбіна дозволяє за рік економити:

- 69 078 тис. м³ газу
- 367 889 тон вугілля

У 2021 році було запущено 4 агрегат

Гіроскопічні накопичувачі

Гравітаційні накопичувачі відносяться до накопичувачів потенціальної енергії. Накопичена в них енергія може зберігатися як завгодно довго. Проте окрім накопичення потенціальної енергії, ще можна зберігати і кінетичну енергію, зокрема енергію, що зберігається в русі об'єкта, що обертається. Маса об'єкту, що обертається, спроможна накопичити більшу кількість енергії, ніж та ж сама маса підняти на певну висоту, тому питома енергетична ємність гіроскопічних накопичувачів значно більша за питому енергетичну ємність гравітаційних накопичувачів. Теоретичні розрахунки показують, що питома енергоємність гіроскопічних накопичувачів може досягати питомої енергоємності хімічних джерел енергії, що робить цей напрям доволі привабливим для практичного використання, особливо, якщо враховувати те, що гіроскопічні накопичувачі, на відміну від хімічних, так само як і гравітаційні, спроможні швидко накопичувати та віддавати енергію.

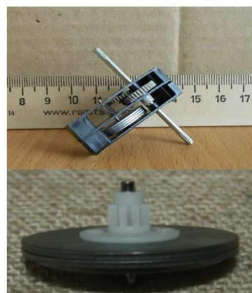
Гіроскопічні накопичувачі



- В гіроскопічних накопичувачах енергія запасється у вигляді кінетичної енергії маховика, що швидко обертається
- Питома енергія значно більша за ту, що можна запасти в кілограмі статичного вантажу
- Щільність накопиченої енергії може досягати щільності хімічних джерел енергії
- Можливість швидкого прийняття та віддачі великої потужності

Прикладом використання гіроскопічних накопичувачів є звичайна інерційна машинка, якою багато хто з вас бавився в дитинстві. У цій машинці невеликий маховик, що обертається, спроможний забезпечити рух машинки протягом короткого часу. Я не буду докладно пояснювати як працює ця іграшка – певен ви це і самі добре розумієте.

Інерційна машинка



Джерелом енергії є маховик,
що швидко обертається

Проте побідні іграшки існують і в «дорослому» масштабі. Протягом 20-го сторіччя у різних країнах, у тому числі і в СРСР, періодично з'являлися проекти автомобілів, джерелом енергії для руху яких був супермаховик. Так, наприклад, з 1953 по 1960 роки швейцарські

комуни Івердон-ле-Бан та Грандсон з'єднувалися транспортом, що приводився до руху супермаховиком, який розкручувався на кінцевих або проміжних зупинках. У 1955 – 1956 роках 12 гіробусів працювали на маршруті в Демократичній Республіці Конго. А з 1956 по 1959 роки гіробуси G3, останній з яких в зараз бачите не екрані, працював в Бельгії, з'єднуючи місто Гент з передмістям Мерелбеке.

Автомобілі із супермаховиком



Автомобіль з супермаховиком
(СРСР, 1960-ті роки)



Гіробус G3
(Бельгія, 1956 – 1959 роки)

Проте використання супермаховиків для керування транспортом виявилось не дуже вдаюю ідеєю, оскільки маховик, що обертається має доволі великий момент інерції. Через це змінити напрям руху автівки, що має супермаховик, набагато складніше, ніж у традиційному транспорті. Та й створити рухомий гіроскопічний накопичувач з високим ККД дуже важко, оскільки для цього потрібно використовувати вальниці, в яких через наявність сили тертя буде втрачатися доволі велика кількість енергії. Але усе одно гіроскопічні накопичувачі мають високу питому енергоємність, тому забувати про них немає сенсу.

Енергетична ємність гіроскопічного накопичувача

Енергетична ємність тіла, що обертається

$$E = \frac{I \omega^2}{2}$$

I – момент інерції тіла, що обертається

ω – кутова швидкість тіла, що обертається

$$\omega = 2\pi f$$

f – частота обертання

Більш цікавим є енергетичної точки зору є використання супермаховиків, що розташовуються стаціонарно. Це дозволяє використовувати магнітну підвіску, що істотно знизить страти енергії через наявність тертя у вальницях. І це одне. Маховик не обов'язково повинен бути суцільним. Аналізуючи розрахункові формули, що ви зараз бачите на екрані, можна зробити висновок, що на момент інерції більший вплив має маса маховика, причому бажано, щоб ця маса розташовувалась якнайдалі від вісі обертання.

Моменти інерції типових накопичувачів



Полий тонкостінний циліндр або кільце із радіусом r та масою m

$$I = m r^2$$



Суцільний циліндр або диск із радіусом r та масою m

$$I = \frac{m r^2}{2}$$



Порожній товстостінний циліндр із масою m з зовнішнім радіусом r_2 і внутрішнім радіусом r_1

$$I = \frac{m (r_2^2 + r_1^2)}{2}$$

Саме за таким шляхом і пішли розробники компанії Weacon Power, які створили супермаховик, придатний для практичного використання в системах накопичення енергії. Основою маховика Weacon є циліндр із вуглецевого волокна, який підтримується втулкою та валом із прикріпленим двигуном/генератором. Розроблена ними електромеханічна система ефективно перетворює електричну енергію в механічну, коли маховик розкручується, і назад

в електричну енергію, коли маховик гальмується. Маховик завжди обертається в одному напрямку і не змінює своє місце розташування, тому подібна система може миттєво переключатися між режимами заряджання та розряджання.

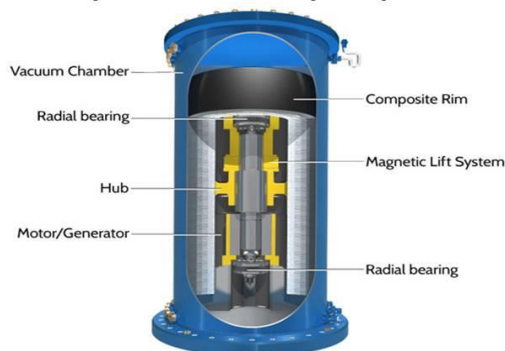
Системи збору енергії компанії

Beacon Power



Маховик може розкручувати до швидкості 16 000 обертів за хвилину. Для зменшення втрат енергії маховик розташовується в герметичній вакуумній камері, яка істотно зменшує тертя. Крім того, відсутність кисню та вологи подовжує термін служби внутрішніх компонентів. Щоб зменшити знос, подовжити термін служби внутрішніх компонентів та мінімізувати тертя використовується система магнітного підйому, яка піднімає ротор, що призводить до зменшення тертя в вальниках. Компанія Beacon заявляє, що подібна система спроможна витримати близько 175 000 циклів заряд-розряд, що є набагато більшим, порівняно, наприклад, із хімічними акумуляторами.

Будова сучасного супермаховика

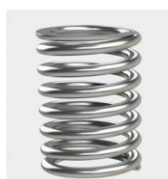


Пружинні накопичувачі

Ще одним варіантом накопичення енергії є пружинні накопичувачі, в яких енергія зберігається в деформації матеріалу, в якості якого можуть бути будь-який матеріал якому притаманні пружні властивості. Пружинні накопичувачі мають високу питому енергоємність, тривалий час зберігання енергії. Головною їх особливістю є можливість надшвидкого – майже миттєвого – вивільнення усієї запасеної енергії, що робить їх безальтернативним варіантом для деяких специфічних застосунків.

Пружинні накопичувачі

Енергія накопичується за рахунок пружної деформації матеріалу



Переваги:

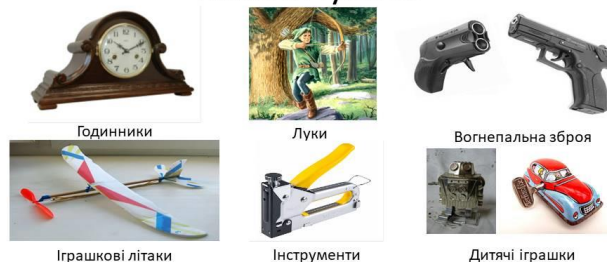
- Висока питома енергетична ємність
- Найвища потужність серед механічних накопичувачів
- Можливість зберігання енергії роками без істотних втрат

Недоліки:

- Через постійну деформацію виникає втома матеріалу
- Можливий тільки поступальний рух, або обертання на обмежену кількість обертів

Я не буду багато говорити про приклади використання пружинних накопичувачів. Пружини є одними з самих поширених накопичувачів, які використовуються як в специфічній техніці, так і в повсякденному житті. Проте про використання пружин у якості промислових накопичувачів енергії мені поки що невідомо. Напевно через те, що пружини мають обмежену можливість до руху, а особливо – обмежену можливість до обертання. Крім того, люба пружина має обмежений термін експлуатації. Через постійні механічні деформації, які виникають в процесі експлуатації, поступово виникає руйнування або втома матеріалу, після якої пружину потрібно замінювати.

Приклади використання пружинних накопичувачів



Варіантом пружинних накопичувачів є газові накопичувачі. В них енергія накопичується за рахунок пружної деформації газу. Тобто можна взяти звичайне повітря, стиснути його балоні. А потім, коли це необхідно вивільнити накопичену енергію. Подібні системи мають певну низку переваг, зокрема наднизька – майже безкоштовна – вартість самого накопичувача, тобто повітря. Проте уся супутня інфраструктура: балони, компресори, труби та інше виявляються доволі складними, як при виготовленні, так і в процесі експлуатації.

Газові накопичувачі



- Енергія накопичується за рахунок пружної деформації газу

Переваги:

- Висока питома енергетична ємність
- Простіше використання порівняно із пружинними накопичувачами
- Можливість зберігання енергії роками без істотних втрат

Недоліки:

- Компресор та турбіна-двигун є доволі складними пристроями із обмеженим ресурсом
- Складність виготовлення резервуарів, що можуть витримати великий тиск

Газові накопичувачі широко використовуються в техніці. Ви напевно не раз бачили як працює пневматичний або стоматологічний інструмент. Для його роботи необхідно, щоб компресор спочатку закачав у спеціальну ємність повітря під певним тиском. Це повітря потім по трубах передається у потрібну точку простору, де воно потім передає енергію двигуну, який або обертає бор стоматологічної бормащинки, або надає імпульс патрону перфоратора, або робить якусь іншу корисну роботу. Зверніть увагу, що в точці, де використовується енергія, немає ніяких вихлопних газів, тому пневматичні двигуни, так само як і електричні, можна використовувати всередині приміщень.

Використання енергії стисненого повітря



Стоматологічний інструмент

Пневматичний інструмент

Пневматичний привод

Пневматичний транспорт

Пневматична зброя

Окремою темою практичного використання стисненого повітря є автомобілі, які називаються повітряні автомобілі. Використання стисненого повітря у якості джерела енергії для міського транспорту є цікавим напрямком, оскільки він дозволяє принаймні частково вирішити проблему вихлопних газів у великих містах. Зараз на екрані ви бачите експериментальний зразок автомобіля, що рухається на стисненому повітрі, створений здобувачами каїрського університету Хелвана. Для руху такого автомобіля не потрібне паливо. Для того, щоб він працював необхідно лише стиснути повітря у двох балонах до певного тиску, що можна зробити вдома, наприклад, за допомогою побутових компресорів

Пневматичний автомобіль студентів каїрського університету Хелвана (Helwan university)



46

Напрямок автомобілів на стисненому повітрі займаються не тільки каїрські студенти. Наприклад французька компанія MDI з 2015 року працює на проєкті AIRPod, який вже серійно виготовляється. Це невеличкий автомобіль із футуристичним дизайном, який можна використовувати для поїдок на роботу або на відпочинок середні відстані. Виробники стверджують, що повна зарядка резервуару стисненим повітрям обійдеться користувачеві приблизно 1,5 євро. При цьому він зможе проїхати до 180 кілометрів.

AIRPod (компанія MDI)



- Максимальна швидкість 80 км/год
- Дальність поїздки на одній заправці 180 км
- Вага 280 кг
- Вартість 10 000 USD
- Рік розробки – 2015

47

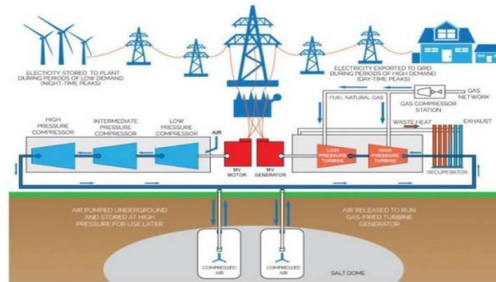
Особливістю пневматичних автомобілів є наявність додаткових теплових процесів, які виникають під час стиснення та розрідження газу. Ви добре знаєте, що при збільшенні тиску газ нагрівається, а при зменшенні – охолоджується. Тому у пневматичних двигунів виникає проблема переохолодження, на відміну від двигунів внутрішнього згоряння та дизельних двигунів, які в процесі роботи навпаки – перегріваються. Через це практичне використання пневматичних автомобілів поки обмежене лише країнами з теплим кліматом, або лише теплою порою року, оскільки у такому автомобілі просто немає джерел енергії для обігріву салону взимку.

Проекти пневматичних автомобілів компанії Tata Motors



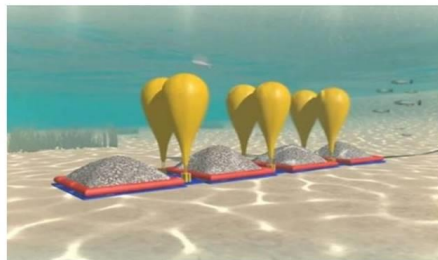
Але автомобільний транспорт не є єдиним прикладом використання пружних властивостей стисненого повітря. Існують проекти і потужних акумулювальних станцій, у яких енергія енергія запасасться в балонах зі стисненим повітрям. Я докладно не буду пояснювати принцип роботи цієї станції – вона подібна до усіх накопичувальних електростанцій, про які сьогодні йшла мова: і до гравітаційних, і до гідроакумулювальних, і до гіроскопічних. Тільки тут у якості накопичувача енергії використовуються стиснене повітря, яке закачується у спеціальні балони або навіть в природні або штучні порожнини, які в земній корі.

Compressed Air Energy Storage (CAES)



До речі, накопичувальну станцію, що працює не стисненому повітрі, можна розташовувати не тільки на землі, а ще й на глибині моря, де природний тиск води дозволить вирішити проблеми міцності балонів зі стисненим повітрям. Така станція не потребує використання сільськогосподарської землі, не псує краєвид і, теоретично, не буде наносити шкоду довкіллю навіть під час самої серйозної аварії.

Проект Hydrostor (Канада)



Накопичувачі теплової енергії

І наостанок дуже коротко поговоримо про накопичувачі теплової енергії, або теплові акумулятори. Теплова енергія дуже погано зберігається та транспортується. Ви добре знаєте, що навіть у самому кращому термосі чай залишиться теплим не більше ніж добу. Тому більшість теплових акумуляторів зберігають енергію недовго, і як тільки енергію завантажили в акумулятор, то її потрібно якнайшвидше використати. Крім того, теплову енергію дуже складно перетворювати на інші види енергії. Тому теплові акумулятори

використовуються лише там, де вже є джерела теплової енергії. Перетворювати, наприклад, електричну енергію на теплову, а потім знову на електричну технічно недоцільно через низький ККД подібних систем.

Використання теплових акумуляторів



Бойлер

Про теплові акумулятори ми вже говорили, коли розглядали системи опалення та гарячого водопостачання з використанням сонячних колекторів – там в якості накопичувача теплової енергії використовувалися спеціальні теплоізольовані баки. Для теплового акумулятори головним параметром є питома теплоємність теплоносія. На жаль, питома теплоємність більшості речовин є невеликою, тому одна одиниця маси більшості речовин просто неспроможна фізично накопичити велику кількість енергії. Одну з найбільших питомих теплоємностей серед доступних речовин мають вода та літій. Проте літій, як ми вже говорили сьогодні, є рідкісним елементом на землі, тому у якості теплоносія, тобто речовини, яка змінює свою температуру під час енергетичних процесів, є вода.

Теплові акумулятори



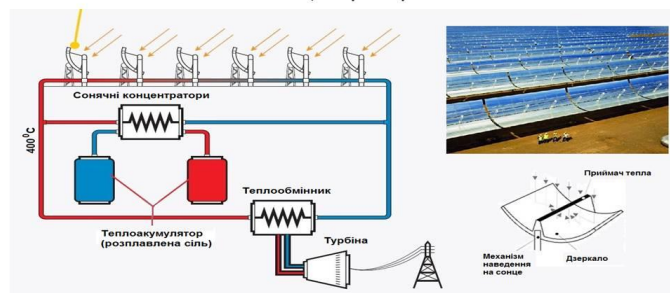
Енергія зберігається за рахунок зміни температури активної речовини

- Питома теплоємність більшості речовин – $0,1...2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$
- Питома теплоємність води – $4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$
- Питома теплоємність літію – $4,4 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$

У якості теплоносія частіше за все використовують воду

Крім того, в накопичувачах теплової енергії часто використовуються зміни фазового стану речовин, особливо – тверде тіло- рідина. Будь-який фазовий перехід потребує доволі багато енергії, при цьому температура речовини під час фазового переходу залишається постійною. Тому в якості теплоносія інколи використовують речовини, які в робочому діапазоні температур можуть змінювати свій фазовий стан. Наприклад у електростанції на основі сонячних колекторів у якості теплоносія використовуються сіль, яка в робочому діапазоні температур переходить із твердого стану до рідкого.

Електростанція на основі параболічних сонячних концентраторів



Висновки

Отже ви бачите, що напрямок зберігання енергії, є таким же важливим, як і напрямок її генерації. Наразі не існує якоїсь сталої технології для зберігання великої кількості енергії, інакше ми би давно взимку використовували накопичену за літо енергію і не забруднювали б довкілля парниковими газами. Проте роботи в цьому напрямку ведуться різними компаніями. І це означає, що рано чи пізно ця проблема буде вирішена. У будь якого випадку, перехід на альтернативні джерела енергії, яким притаманна мінливість, без промислових накопичувачів енергії технічно неможливий.

Висновки

- Основною проблемою використання альтернативних джерел енергії є не вироблення енергії, а її зберігання та транспортування
- Є певна кількість перспективних технологій накопичення енергії, проте жодна з них ще не набула використання у промислових масштабах
- Без вирішення проблем зберігання енергії перехід на альтернативні джерела енергії буде вкрай утруднений

6. Інтелектуальні енергетичні системи

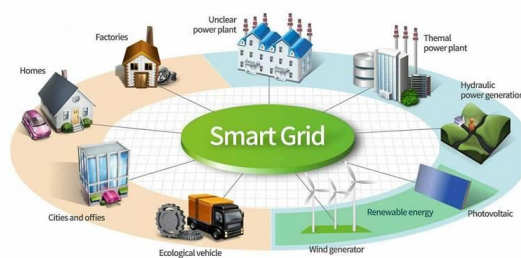
На попередніх лекціях ми з вами розглядали окремі елементи інтелектуальних енергетичних систем, зокрема, сонячні та вітряні електрогенератори, що відносяться до категорії альтернативних джерел енергії, а також різні види накопичувачів. Настав час об'єднати усі ці елементи в одне ціле і зрозуміти, що таке інтелектуальна енергетична система, а головне – яку роль у ній відіграють інформаційні та телекомунікаційні технології. Тобто у якій частині інтелектуальних енергетичних систем ви, як майбутні фахівці в галузях інформаційних або телекомунікаційних технологій зможете знайти собі роботу.

Елементи інтелектуальних енергетичних систем



Ви вже знаєте, що головним призначенням інтелектуальних енергетичних систем, які в англійській технічній літературі називаються SMART Grid, що дослівно перекладається як «розумні мережі», є зменшення екологічного навантаження на довколишнє середовище. Ви вже знаєте, що сьогодні основним джерелом енергії для людини є викопні енергоресурси, до яких відноситься вугілля, нафта та природний газ. Одним із головних недоліків викопних джерел енергії є те, що вони обмежені, тобто рано чи пізно їх родовища вичерпаються, і якщо людина щось не вигадас до цього часу, то усе людство залишиться без джерел енергії. Та поки це станеться жити на землі, скоріш за все, вже буде неможливо, оскільки при згорянні усіх органічних видів енергоресурсів утворюються парникові гази, які викидаються в атмосферу і призводять до змін клімату.

Інтелектуальні енергетичні системи



Отже головним призначенням інтелектуальних енергетичних систем є зменшення екологічного навантаження на довколишнє середовище. Перехід на альтернативні джерела енергії є головним але не єдиним напрямком зменшення викидів вуглекислого газу в атмосферу. Вже зараз, шляхом впровадження певних заходів можна зменшити використання органічних видів палива і покращити наше екологічне становище. І ці заходи не обов'язково повинні бути технічними. Важливою складовою раціонального використання енергоресурсів є, наприклад, правова складова. Створення ринку енергії – коли енергію, як і будь який інший товар, можна купувати за різними цінами – створить умови для появи компаній, які будуть зацікавлені і у впровадженні альтернативних джерел енергії, і до її раціонального використання. Тому інтелектуальні енергетичні системи – це не тільки суто технічні чи енергетичні об'єкти. Це ціла система раціонального енергоспоживання, у першу чергу – на рівні звичайних побутових споживачів. Ця ідеологія в Україні поки ще знаходиться на самій початковій стадії створення. І, на жаль, останні події, які відбуваються

в нашій країні, істотно загальмували ці процеси. Проте рано чи пізно інтелектуальні енергетичні системи з'являться і в Україні. Це лише питання часу. Тому давайте розбиратися що таке інтелектуальна енергетична система, як вона працює, і з яких компонентів вона складається.

Актуальність впровадження інтелектуальних енергетичних енергосистем



- Забруднення довколишнього середовища (у першу чергу парниковими газами)
- Поступовий перехід на альтернативні джерела енергії
- Перехід на ринкові відносини в енергетичній галузі
- Підвищення надійності енергосистем

Визначення інтелектуальних енергетичних систем виглядає наступним чином. Інтелектуальна енергетична система, яку в технічній літературі часто називають «розумною енергосистемою» або просто «Smart grid», це модернізована мережа електропостачання, яка використовує інформаційні та комунікаційні технології для збору інформації про енерговиробництво та енергоспоживання, що дозволяє автоматично підвищувати ефективність, надійність, економічну вигоду, а також стійкість виробництва та розподілу електроенергії. Головним призначенням інтелектуальних енергетичних систем є забезпечення споживачів енергією і тій кількості, яка їм потрібна. Джерелами енергії в інтелектуальних енергетичних системах можуть бути як традиційні, так і альтернативні джерела енергії. Крім того, розумні енергосистеми мають власні сховища, що дозволяє накопичувати певну кількість енергії та використовувати її для власних потреб.

Інтелектуальна енергетична система

Інтелектуальна енергетична система (Розумна енергосистема, Smart grid) — модернізована мережа електропостачання, яка використовує інформаційні та комунікаційні технології для збору інформації про енерговиробництво та енергоспоживання, що дозволяє автоматично підвищувати ефективність, надійність, економічну вигоду, а також стійкість виробництва та розподілу електроенергії

Основні компоненти

- Джерела енергії (традиційні та альтернативні)
- Накопичувачі енергії
- Лічильники
- Ресурси забезпечення енергоефективності
- Споживачі

Політика розумної енергосистеми у Європі організована Європейській технологічній платформі розумних енергосистем

Зверніть увагу на нові компоненти, які виділяють в інтелектуальних енергетичних системах – це лічильники та ресурси для забезпечення енергоефективності. Під ресурсами для забезпечення енергоефективності мається на увазі різноманітні заходи для підвищення рівня раціонального використання енергії. Це можуть бути і технічні заходи, наприклад, якесь програмне забезпечення, у тому числі і з використанням штучного інтелекту, так і різноманітні інформаційні та організаційні заходи.

Ресурси забезпечення енергоефективності



Проведення масштабної просвітницької компанії, призначеної для підвищення рівня обізнаності щодо раціонального споживання енергії, рано чи пізно сформує у суспільстві «розумних» енергоспоживачів, які не тільки будуть розуміти, як правильно користуватися

енергією, а ще й активно впроваджувати заходи по підвищенню ефективності використання енергії як у себе вдома, так і на виробництві. А першими помічниками «розумних» споживачів у цьому стануть «розумні» лічильники, які можуть інтегруватися з іншими розумними системами, наприклад, із системами «Розумний будинок», чи «Розумне місто» і забезпечувати контроль як за рівнем використання енергоресурсів, так і за їх кінцевим призначенням.

SMART

«Розумні» лічильники



«Розумні» споживачі



Необхідність впровадження інтелектуальних енергетичних систем стала зрозуміла не одразу, хоча потреба у прогнозуванні виробництва енергії виникла вже на самому початку електрифікації нашої планети. Першим кроком у створенні сучасних інтелектуальних енергетичних систем, стала електрична мережа змінного струму, побудована у 1886 році містечку Грейт Беррінгтон, розташованого у штаті Масачусетс, США. Це була централізована односпрямована система передачі та розподілу електричної енергії з керуванням за запитом, яка дозволяла прогнозувати рівень споживання енергії у часі і заздалегідь готуватися до змін у коливаннях споживаної потужності.

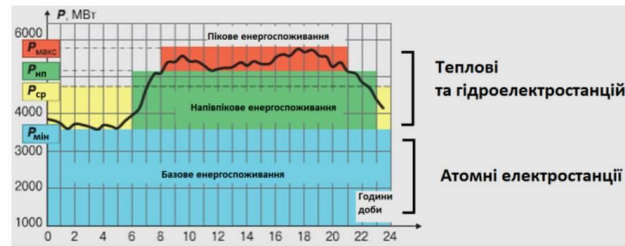
Перша половина XX-го століття пройшла у напрямку глобалізації. У цей час створювались потужні електростанції, які об'єднувались між собою у глобальну енергетичну мережу. Тоді намагалися об'єднати усе що є в одну велику енергосистему і таким чином вирішити, у першу чергу, проблему дефіциту енергії у різних районах.

Основні етапи розвитку енергосистем

- **1886 р** – Перша електрична мережа змінного струму (містечко Грейт Беррінгтон, Масачусетс) – централізована односпрямована система передачі та розподілу електричної енергії з керуванням за запитом
- Протягом усього **XX століття** – активне зростання енергосистем, об'єднання в одну глобальну мережу
- **60-ті роки** – поява подвійних тарифів – перша спроби використовувати «розумне» енергоспоживання
- **70-ті роки** – збільшення рівня енергоспоживання – виявлення суттєвих недоліків в централізованій системі енергопостачання, у першу чергу – надійності
- **Кінець XX століття** – встановлення структури попиту, розуміння напрямів подальшого розвитку
- **XXI століття** – початок переходу на інтелектуальні енергетичні системи

Проте вже в той час стало зрозуміло, що енергію потрібно не тільки генерувати в необхідній кількості, а ще і правильно споживати. Тому в 60-х роках XX-го століття стали з'являтися перші спроби «розумного» енергоспоживання. Ними стали різні тарифи на енергію, які були прив'язані до часу енергоспоживання. Вночі, коли енергоспоживання мінімальне, електрична енергія стала коштувати дешевше, ніж вдень, коли рівень енергоспоживання значно зростає.

Добовий графік навантаження на енергосистему



У 70-х роках стало зрозуміло, що глобальна енергосистема, окрім величезних переваг, має ще доволі суттєві недоліки, головним з яких є низька надійність. Використання одного безальтернативного енергоресурсу у випадку виходу його з ладу може призвести навіть до катастрофи. А усі спроби підвищити надійність енергосистеми, на жаль, не можуть забезпечити її стовідсоткову надійність. Ви самі добре знаєте, що навіть невелике погіршення погодних умов може призвести до того, що цілі населенні пункти, разом із заводами, школами та лікарнями, залишаться без енергопостачання.

Основні етапи розвитку енергосистем

- **1886 р** – Перша електрична мережа змінного струму (містечко Грейт Беррінгтон, Массачусетс) – централізована односпрямована система передачі та розподілу електричної енергії з керуванням за запитом
- Протягом усього **XX століття** – активне зростання енергосистем, об'єднання в одну глобальну мережу
- **60-ті роки** – поява подвійних тарифів – перша спроби використовувати «розумне» енергоспоживання
- **70-ті роки** – збільшення рівня енергоспоживання – виявлення суттєвих недоліків в централізованій системі енергопостачання, у першу чергу – надійності
- **Кінець XX століття** – встановлення структури попиту, розуміння напрямів подальшого розвитку
- **XXI століття** – початок переходу на інтелектуальні енергетичні системи

До кінця XX-го століття люди ще намагалися якось вийти з цієї ситуації, використовуючи традиційні рішення. Проте в XXI-му столітті стало зрозуміло, що єдина централізована енергосистема може бути лише одним із доступних енергоресурсів. А для забезпечення необхідного рівня надійності на місці повинна бути своя незалежна енергосистема, вихід з ладу якої не вплине на споживачів, розташованих в інших районах. Піонерами у створенні інтелектуальних енергетичних систем є країни Азії: Китай, Індія, Бразилія та Південна Корея – де існуючі енергосистеми не могли забезпечити регіони, що бурхливо розвиваються, необхідною кількістю енергії. Зараз, якщо є така можливість, то усі нові енергосистеми намагаються будувати таким чином, щоб вже одразу забезпечувати необхідний рівень інтелектуальних функцій.

Країни-піонери із використання інтелектуальних енергетичних систем



- Китай
- Індія
- Бразилія
- Південна Корея

Головною передумовою для створення інтелектуальних енергетичних систем стала принципова неможливість усунення недоліків централізованих систем енергопостачання, серед яких недостатня надійність та складність захисту від терористичних атак. Крім того, наявність лише одного постачальника енергії, яким частіше за все є держава, майже

унеможливиює створення ринку енергії і перехід на ринкові відносини в цій галузі і здорової конкуренції між постачальниками енергії. Важливим підґрунтям для створення сучасних енергосистем стало розповсюдження альтернативних джерел енергії, використання яких, як ви вже знаєте, через примхливість погодних умов викликає цілу низку технічних складнощів.

Проте головним підґрунтям для створення інтелектуальних енергетичних систем став розвиток інформаційних технологій та поява сучасних комп'ютерів та контролерів. Саме вони зараз є головним елементом будь-якої інтелектуальної системи, у тому числі і енергетичної. Тому саме ви, як фахівці у галузі інформаційних та телекомунікаційних технологій, є тими людьми, які спроможні об'єднати усі енергетичні об'єкти в єдине ціле, і створити енергосистему, яка буде відповідати усім сучасним нормам до якості споживання енергії.

Передумови переходу на інтелектуальні енергетичні системи

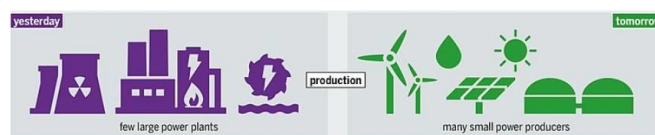
- Подолання технологічних обмежень у вимірюванні кількості та якості спожитої енергії
- Розвиток альтернативних джерел енергії
- Неможливість усунення недоліків централізованих систем енергопостачання (надійність, захист від терористичних атак, складність переходу на ринкові відносини)
- **Розвиток технологій цифрової обробки і цифрових комунікацій з енергосистемою, що дозволив створювати центри керування розумних енергосистем**

Головні особливості інтелектуальних енергетичних системи

Першою особливістю інтелектуальних енергетичних систем є принципи їх побудови. Зараз по всьому світу йде тенденція поступової відмови від побудови глобальних енергосистем та переходу на невеликі енергосистеми малої потужності. Відмова від централізованого керування дозволяє збільшити рівень надійності системи у цілому. Тепер, у разі виходу з ладу однієї енергосистеми, наприклад, у разі технічної несправності чи спрямованої дії зловмисників, без електричної енергії залишиться лише обмежена кількість споживачів, у той час інші споживачі навіть не відчують цього інциденту.

Такий підхід, до речі, відрізняється і можливістю масштабування. При такому підході, мінімальною енергосистемою може стати енергосистема конкретного обладнання. У якості прикладу можна привести енергосистему звичайного смартфона, що має власне джерело енергії – акумуляторну батарею, та безліч додаткових, у якості яких може бути глобальна енергетична мережа, бортова мережа автомобіля, зовнішній акумулятор (Power Bank), навіть сонячна батарея та інші. Окремі енергосистеми можна створювати на рівні квартири, будинку, кварталу, району, місті, області, держави і врешті – всього світу. Глобальна енергетична мережа, звісно, залишиться, проте вона тепер не буде виконувати роль єдиного джерела енергії, а лише буде допомагати транспортувати та розподіляти енергію як в нормальному, так і в аварійному стані.

Виробництво енергії



Поступова відмова від централізованої системи виробництва на невеликій кількості великих електростанцій і заміна їх малопотужними електростанціями, розподіленими по території

Обов'язковою умовою існування інтелектуальних енергетичних систем є те, що енергія тепер стає товаром. І тепер кожен громадянин може стати продавцем енергії і продавати її, як своєму сусіду, так і людям, розташованим на іншій половині земної кулі. Без цієї умови створення інтелектуальних енергетичних систем можливо лише а умови жорсткого контролю з боку держави, яке, як показує практика, може і не призвести до отримання необхідного результату. Тобто система може і буде створена, проте, якщо люди не зацікавлені в забезпеченні її правильної роботи, то ні про яку енергетичну ефективність та раціональне використання не може бути і мови.

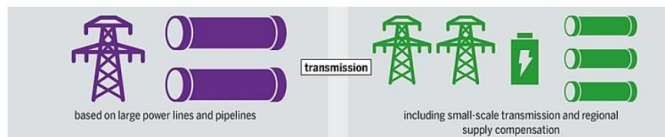
Продаж енергії



Поступова відмова від монополії держави на продаж енергії та появи великої кількості невеликих операторів

Обов'язковою умовою існування інтелектуальних енергетичних систем є збільшення кількості ліній електропередач. Наразі в Україні існує лише одна система ліній, призначених для транспортування електричної енергії. Проте в інших країнах до кожного будинку можуть бути підведені лінії від різних постачальників, а кінцеві мешканці будинку можуть самі обрати до якого постачальника їм підключатися. Тобто в перспективі потрібно створити приблизно таку систему, яка зараз існує у інтернет-провайдерів. Такий підхід не тільки буде сприяти збільшенню рівня енергоефективності, оскільки тепер кожен енергетичний провайдер буде зацікавлений у цьому, а ще й збільшить рівень надійності. Тепер при аварії одного провайдера можна буде тимчасово підключитися до іншого.

Передача енергії



Доповнення існуючих потужних систем розподілу енергії місцевими малопотужними ЛЕП у сукупності із системами, що можуть накопичувати енергію та забезпечувати місцевих споживачів

Ще однією важливою умовою існування інтелектуальних енергетичних систем є технічна можливість зміни напрямку передачі енергії. Розглянемо це на прикладі будинку, що має сонячну батарею. Вночі, коли сонячна батарея не працює, будинок споживає електричну енергію, тобто енергія передається в одному напрямку – від провайдера енергії до споживача. Проте вдень, коли сонячна батарея працює на повну потужність, споживач може передавати залишок енергії провайдеру, тобто фактично продавати її. Зрозуміло, що у цьому напрямку енергія буде передаватися у зворотному напрямку – від споживача до провайдера. Тому в інтелектуальних енергетичних системах повинна бути технічна можливість як зміни напрямку передачі енергії, так і обліку її кількості.

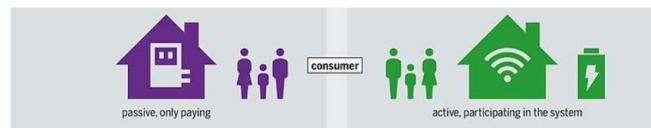
Розподіл енергії



Надання технічної та юридичної можливості передавання енергії в обох напрямках (коли споживачі можуть продавати надлишки енергії)

Окрім технічної частини, повинна бути сформована ще й правова сторона функціонування інтелектуальних енергетичних систем. Треба надати можливість звичайним користувачам бути не просто клієнтами енергетичних компаній з обмеженими правами та можливостями, як це є зараз в Україні, а ставати повноцінними та рівноправними учасниками енергетичного процесу. Тобто рядові споживачі повинні мати інструменти для контролю якості наданої енергії, та без проблем ставати як учасниками енергетичного ринку, так і виходити з нього, якщо в цьому виникає потреба.

Споживання енергії



Забезпечення технічної та юридичної можливості рядовим споживачам ставати повноправними членами енергетичного ринку

Інтелектуальні енергетичні системи складаються з тих же самих компонентів, що і звичайні енергосистеми. Тобто, з точки зору енергетики особливо нічого не змінюється. В інтелектуальних енергетичних системах, так само як і в традиційних автоматизованих, є ті ж самі генератори, трансформатори, лічильники та інше електричне обладнання. Змінюється лише список функцій, що має кожен тип обладнання. Тобто, якщо звичайний лічильник просто підраховує кількість кіловат-годин, що пройшли через нього, то інтелектуальний лічильник, щонайменше, може передати результати вимірів в якусь зовнішню інформаційну систему для подальшої обробки. А повноцінний інтелектуальний лічильник може аналізувати рівень енергоспоживання, і у випадку виявлення певних аномалій в енергоспоживанні, наприклад, якщо ви за добу споживаєте більше енергії, ніж затребували від постачальника, то може автоматично відключити вас від енергоспоживання через невиконання умов договору.

Основні компоненти інтелектуальних енергетичних систем

- Інтелектуальні лічильники
- Інтелектуальні генератори та інвертори
- Інтелектуальні споживачі
- Інтелектуальні електростанції
- Інтелектуальні накопичувачі енергії
- Системи типу «Розумний будинок»

Інтелектуальні лічильники

Як бачите, лічильники кількості енергії або лічильник кількості енергоресурсів є важливим компонентом інтелектуальних енергетичних систем, тому давайте поговоримо про них трішки більше. Коли ми говорили про інтелектуальні енергетичні системи, то якось само собою малося на увазі, що ці системи є електричними. Проте це не обов'язково. Електрична енергія, звісно має велике значення для життя людини, проте електричний струм не є єдиним видом енергоресурсу. Інтелектуальними можуть бути і системи, призначені для транспортування природного газу, тепла і навіть води. І хоч вода, з точки зору фізики, не може бути енергоресурсом, вона є важливою речовиною для життя людини. А системи водопостачання багато в чому схожі та інші енергосистеми. Тому в цій темі ми також трошки зачепимо ще й системи водопостачання. Отже інтелектуальними можуть бути будь-які лічильники: електричної енергії, природного газу, тепла і води. До речі, в багатоквартирних будинках окрім звичайної системи водопостачання може бути ще й окрема система гарячого водопостачання, для якої також є спеціалізовані лічильники гарячої води. І якщо звичайні лічильники гарячої та холодної води дуже схожі, то інтелектуальні лічильник гарячої та холодної води за своєю конструкцією можуть значно відрізнятися.

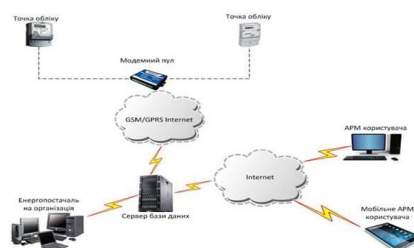
Енергоресурси, облік яких входить у склад інтелектуальних енергетичних систем



- Електрична енергія
- Природний газ
- Теплова енергія
- Вода (не є енергоресурсом)

Будь-який інтелектуальний лічильник не призначений для самостійного існування. Навіть якщо енергетична система не має поки що інтелектуальних функцій, то вона є принаймні автоматизованою, тобто системою що працює автоматично з мінімальною участю людини. Така система називається автоматизованою системою комерційного обліку енергоресурсів, або скорочено АСКОЕ. Дивлячись на її типову структурну схему, яка зараз знаходиться на екрані, ви, я певен, побачили багато знайомих елементів. Лічильники у цій системі виконують функцію первинного джерела даних, джерелами яких є різноманітні давачі та датчики, що знаходяться всередині лічильника. Ці дані по певним протоколам збираються та накопичуються модемом, наприклад, модемом, розташованим всередині місцевої трансформаторної підстанції. Потім ці дані передаються через якусь мережу передачі даних загального призначення, наприклад, через мережу Інтернет, на сервер, де і зберігаються у базі даних. Що потім відбувається з цими даними вже залежить від можливостей конкретної системи. У будь-якому випадку ці дані оброблюються енергопостачальною компанією, і на основі результатів цієї обробки формуються рахунки на оплату конкретному споживачеві.

Автоматизована система контролю та обліку енергоресурсів (АСКОЕ)



Проте функції сучасних лічильників не обмежуються лише обліком кількості використаних енергоресурсів. В умовах жорсткої ринкової конкуренції важливим є не тільки кількість, а ще й якість відповідного енергоресурсу. Наприклад, лічильники електричної енергії мають можливість вимірювати величину напруги в електричній мережі, і якщо вони не відповідають нормам, то ціна на таку енергію може бути автоматично зменшена. Сучасні лічильники природного газу мають можливість вимірювати теплоту його згоряння, і тоді споживачі будуть платити не за кількість незрозумілої суміші, що погано горить, а за реальну кількість енергії у джоулях чи кіловат-годинах, яку вони отримали. Проте сучасні лічильники можуть вимірювати не тільки якість енергії, що надається, а і якість її споживання. Наприклад, якщо споживач електричної енергії створює надмірне реактивне навантаження на енергетичну систему, то йому також може бути або нарахована додаткова платня за непередбачена навантаження, або лічильник просто відключить такого споживача від електричної мережі, щоб він не створював проблеми іншим споживачам.

Інтелектуальні лічильники енергії



Основне призначення – вимірювання кількості спожитої енергії із підтримкою кількох тарифних зон

Додаткові функції:

- Вимірювання якості спожитої енергії (напруга електричної мережі, якість природного газу, тиск у газопроводі тощо)
- Дистанційна передача показників
- Дистанційне відключення споживачів
- Інтеграція із місцевими інформаційними пристроями та системами «Розумний будинок»

До речі, функцію відключення споживачів мають більшість сучасних лічильників. Тому якщо споживач не платить на послуги, що надаються, то вже немає необхідності для виїзду спеціальної бригади для відключення. Зараз це робиться автоматично шляхом передачі на лічильник відповідної команди. Деякі лічильники навіть мають зчитувачі електронних карт, у тому числі і банківських. У цьому випадку постачальник може перейти зі споживачами на механізм передплати. У цьому випадку, ви спершу купуєте певну кількість кіловат-годин, а коли вони закінчаться, то лічильник автоматично відключить вас від електричної мережі.

Лічильники електричної енергії із інтегрованою платіжною системою



При створенні інтелектуальних лічильників окремою проблемою є енергозабезпечення електронної частини електричною енергією. У лічильниках електричної енергії такої проблеми немає, оскільки там є майже невичерпне джерело електричної енергії, якого достатньо і для обробки даних, і для їх передачі в систему обліку ресурсів. Проте в лічильниках інших типів енергоресурсів, наприклад, в лічильниках природного газу, води, або тепла живлення електронної частини відбувається від батарейок. Акумулятори у цих приладах ставити недоцільно, оскільки їх нема від чого заряджати. Сучасні літєві батарейки можуть забезпечувати електронну частину лічильника протягом кількох років, проте живлення від літєвих батарейок має певні особливості, які програміст, що буде писати програму для мікроконтролера подібного лічильника, повинен обов'язково знати. Батарейки, зазвичай, розташовуються всередині лічильника і користувач не має до них доступу. Батарейки у лічильниках замінюються під час періодичної перевірки, яка є обов'язковою для усіх лічильників, не тільки інтелектуальних, і яка проводиться періодично в певним інтервалом.

Інтелектуальний газовий лічильник RSE/1,2 LA G4 «Pietro Fiorentini»



- Вимірювання кількості газу
- Підтримка багатотарифного обліку
- Дистанційне передавання даних
- Дистанційне керування подачею газу (відключення боржників)
- Захист від несанкціонованого втручання
- Пам'ять на 70 днів

До 15 років безперервної роботи без заміни батарейок

Metrologic battery: >15 years (non-replaceable)
Radio transmission battery: >15 years (replaceable on request)
GPRS transmission battery: >8 years (replaceable)

Багатотарифний облік притаманний не тільки електричним енергосистемам. Він може використовуватися в будь яких системах у тому числі і в системах водопостачання. Зверніть увагу, що питання якості енергоресурсів, що надаються, в сучасних країнах є одним із самих важливих. Тому для лічильників, призначених для використання в сучасних інтелектуальних інформаційних системах, така функція є обов'язковою. Наприклад, лічильник питної води не тільки вимірює кількість кубічних метрів води, що пройшла через нього, а ще й може визначити чи відповідає ця вона санітарним нормам. Лічильники гарячої води не тільки вимірюють кількість кубічних метрів рідкої субстанції, а ще і її температуру, що дозволяє обчислити кількість отриманої енергії як в джоулях чи кіловат-годинах, так і в гікалоріях.

Інтелектуальні лічильники води



- Вимірювання кількості води (у кубічних метрах м³)
- Підтримка багатотарифного обліку
- Вимірювання тиску у системі
- Вимірювання температури (для лічильників гарячої води)
- Вимірювання кількості теплової енергії (у Гкал) (для лічильників гарячої води)
- Вимірювання якості питної води
- Дистанційне відключення від системи

Лічильники теплової енергії, які використовуються в системах опалення, з технічної точки зору є, напевно, найскладнішими. Вони принципово не можуть бути суто механічними, як, наприклад, лічильники електричної енергії, води чи природного газу. Тому не дивно, що в Україні реальну кількість теплової енергії, отриманої від котельних, виміряти стало можливим лише у кінці 90-х років – до того часу подібні лічильники були великою рідкістю.

Інтелектуальні лічильники теплової енергії



- Вимірювання кількості теплової енергії (у гікалоріях, Гкал або мегават-годинах, МВт-год)
- Вимірювання кількості спожитого теплоносія,
- Вимірювання температури теплоносія у трубах подачі та повернення
- Вимірювання тиску у системі

Ви бачите, що для розрахунку кількості теплової енергії потрібно виміряти не тільки кількість теплоносія, що пройшла через систему, а ще й різницю температур теплоносія, що подається та виводиться з системи. Тому усі лічильники тепла є електронними і будуються на основі мікроконтролерів із відповідним програмним забезпеченням. З іншого боку, наявність мікроконтролера дозволяє швидко інтегрувати подібний лічильник в сучасну інтелектуальну енергетичну систему.

Принцип роботи лічильника тепла



При розгляді сучасних автоматизованих систем, призначених для обліку енергоресурсів, інколи буває плутанина між скороченнями ЛУЗОД та АСКОЕ. Ці системи є подібними і виконують подібні функції. Проте під скороченням ЛУЗОД мається на увазі лише локальне устаткування для збору та первинної обробки даних, кінцевою метою якого є лише передача даних сервер енергопостачальної компанії. А АСКОЕ, тобто автоматизована система комерційного обліку енергоресурсів, це повноцінна інформаційна система, у якій можуть бути реалізовані і певні інтелектуальні функції. Фактично ЛУЗОД є частиною АСКОЕ. ЛУЗОД не має ніяких інтелектуальних функцій – це лише набір автоматизованого обладнання, призначений для збору даних. А от АСКОЕ – це більш гнучкі та масштабні системи, які будуть активно розвиватися та впроваджуватися в Україні.

ЛУЗОД vs. АСКОЕ



І якщо вже говорити про плутанину у термінології, то слід звернути увагу ще на один момент. АСКОЕ – це автоматизована система комерційного обліку будь-яких енергоресурсів. Проте енергоресурси можуть бути різними. І зараз існують автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії, газу, води тощо. Усі ці системи є різновидами автоматизованих систем комерційного обліку енергоресурсів. Із системами обліку газу та води усе просто. Їх аббревіатури: АСКОГ та АСКОВ важко з чимось переплутати. А от автоматизована система комерційного обліку електроенергії має аббревіатуру АСКОЕ – таку ж саму, як і аббревіатура загальної групи - автоматизованих систем комерційного обліку енергоресурсів (також АСКОЕ). Виходить що АСКОЕ є різновидом АСКОЕ. Тому коли ви бачите аббревіатуру АСКОЕ то слід додатково розібратися про що йде мова – про системи комерційного обліку конкретно електричної енергії, чи про системи комерційного обліку енергоресурсів взагалі.

АСКОх

- АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електроенергії
- АСКОГ – автоматизована система комерційного обліку газу
- АСКОВ – автоматизована система комерційного обліку води

АСКОЕ, АСКОГ та АСКОВ є різновидами автоматизованих систем контролю та обліку енергоресурсів (також АСКОЕ)

АСКОЕ є різновидом АСКОЕ!



І наостанок, щоб закрити тему лічильників енергоресурсів та систем, призначених, для їх обліку, наведу один приклад, який показує до чого призводить впровадження подібних систем. В одному дитячому садку встановили систему АСКОЕ, яка вела облік усіх енергоресурсів. Через деякий час виявилось, що в суботу та неділю дитячий садок, у якому за штатним розкладом повинен знаходитися лише один охоронець, систематично перевищує норми споживання усіх видів енергоресурсів та води. Перевірка, яку доволі швидко зробили, виявила що по вихідним у цьому дитячому садку проводяться заходи, які у дитячих садках, хоча б санітарних умов, не повинні проходити ні в якому разі, а саме: святкування днів народження, ювілеї та весілля. В мене немає інформації які наслідки мала ця перевірка для співробітників дитячого садка, проте навіщо потрібно контролювати та аналізувати кількість споживання енергоресурсів, ви, напевно, усі зрозуміли.

Режим роботи дитячого садка (виявлений після впровадження АСКОЕ)

Понеділок – п'ятниця



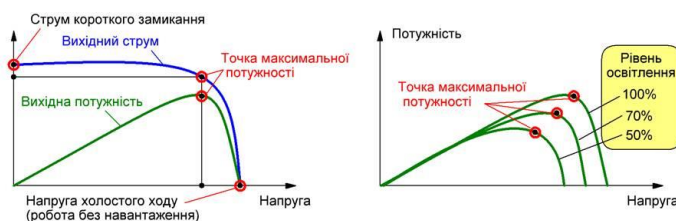
Субота – неділя



Інтелектуальні електростанції

Коли ми розглядали альтернативні джерела енергії, зокрема сонячні батареї та вітроелектростанції, то якої не цікавились питанням а як же використовується та енергія, яку вдалося отримати від цих пристроїв. Єдине, що ми з'ясували, так це те, що потужність, що розвиває сонячна панель чи вітрогенератор, постійно змінюються у часі, тому контролер, який підключається до сонячної батареї або вітрогенератора повинен мати функцію стеження за точкою максимальної потужності. Проте для розуміння як же працює електростанція, що використовує альтернативні джерела енергії та має інтелектуальні функції, цього замало. Давайте розглянемо ці питання на прикладі електростанцій, призначених для роботи з сонячними панелями.

Точка максимальної потужності



Найпростішою з технічної точки зору є електростанція на основі сонячної панелі, призначена для використання в системах електроживлення постійного струму. Фактично вона складається із двох головних елементів: сонячної панелі та накопичувача енергії, в якості якого зазвичай використовуються хімічні акумулятори.

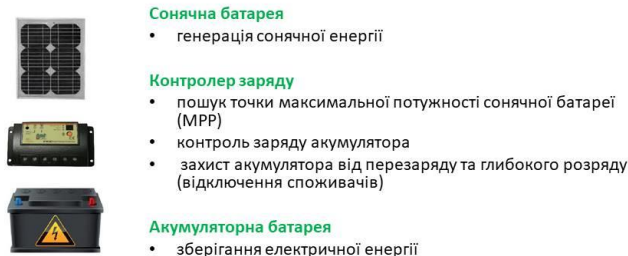
Сонячна електростанція постійного струму



34

Об'єднує усе це в одну систему контролер заряду, який стежить за рівнем заряду акумулятора і відключає від нього сонячну батарею, коли він повністю заряджений, та відключає від нього обладнання, коли заряд в акумуляторі закінчився. Кращі моделі контролерів заряду мають функцію контролю за точкою максимальної потужності, що дозволяє більш ефективно використовувати енергію, отриману від сонячної батареї.

Основні компоненти



35

Подібні електростанції є найпростішими та найдешевшими, проте використовувати їх можна лише з обладнанням, що розраховане на живлення постійним струмом. Подібні системи частіше за все використовуються для живлення окремих пристроїв, наприклад, ліхтарика, що працює на сонячних батарейках, електричного транспорту тощо.

Сонячна електростанція постійного струму



Переваги:

- Простота
- Низька вартість

Недоліки:

- Немає можливості використовувати обладнання, розраховане на живлення від промислової мережі
- Немає можливості продавати електричну енергію

36

Подібні електростанції не призначені для системою електроживлення змінного струму, тому продавати отриману енергію навряд чи вийде. Усе, в кінцевому рахунку, призведе до того, що більшість енергії, яку спроможна згенерувати сонячна батарея, скоріш за все, буде просто втрачено. Але це не означає, що подібні системи не мають право на існування. У деяких застосунках, наприклад, для освітлення рекламних щитів або для живлення світлофорів, розташованих далеко від точок підключення до промислової мережі змінного струму, використання саме таких систем є одним із найкращих рішень. До речі, побудовані системи окрім сонячних батарей, часто облаштовуються ще й невеликим вітрогенератором, що дозволяє поповнювати запаси енергії навіть вночі, коли сонячні батареї не працюють.

Сонячна електростанція постійного струму



Застосування

- Електроживлення об'єктів, які складно підключити до промислової мережі
- Електроживлення малопотужного обладнання (часто постійного струму): ліхтарики, рекламні щити, зарядні станції для смартфонів, електротранспорту, тощо

А от для дому вже краще використовувати автономну сонячну електростанцію, яка від електростанції відрізняється наявністю інвертора, який перетворює постійний струм, що генерує сонячна батарея, у змінний струм промислової частоти, на живлення від якого розрахована більшість побутового або промислового обладнання. Така система має два джерела електричної енергії. Першим джерелом є сонячна батарея та акумулятор, а другим – промислова мережа змінного струму. Перемикання джерел живлення забезпечується спеціальним автоматизованим пристроєм – автоматом вводу резерву (АВР).

Автономна сонячна електростанція



Автомат вводу резерву (АВР) – це електричний комутаційний пристрій, призначений для відновлення електропостачання обладнання за рахунок підключення резервних джерел. Автомат вводу резерву контролює наявність напруги на лініях передач, що підключені до нього та переключає споживача до ліній, у відповідності із запрограмованим пріоритетом. Наприклад, коли в акумуляторі є енергія і сонячна електростанція працює, то автомат вводу резерву переключить споживача до сонячної електростанції, а коли енергія в акумуляторі закінчиться, тоді автомати вводу резерву підключить споживача до промислової мережі змінного струму.

Автомат вводу резерву



Автомат введення резерву (АВР) – електричний комутаційний пристрій, призначений для відновлення електропостачання обладнання за рахунок підключення резервних джерел

При необхідності АВР може подати команду на запуск дизель-генераторної установки

При відновленні основного джерела відновлюється, АВР автоматично підключає обладнання до основної мережі

В автономній сонячній електростанції АВР дозволяє жити власних споживачів від промислової мережі, коли акумуляторна батарея буде повністю розряджена

Особливим пристроєм для сонячної електростанції є інвертор. Головна функція інвертора полягає у перетворенні постійного струму у змінний. Подібні інвертори загального можна придбати у відповідних крамницях, і перетворити сонячну електростанцію постійного струму, яку ми перед цим розглядали, в електростанцію, спроможну живити обладнання, розраховане на живлення змінним струмом. Проте інвертори призначені для сонячних електростанцій, можуть мати певну низку особливостей, наприклад, вони обов'язково мають вихідну напругу синусоїдальної форми, у той час як форма напруги у дешевих інверторів загального призначення може відрізнятися від синусоїдальної. Тому для автономних сонячних електростанцій краще використовувати спеціалізовані технічні рішення.

Інвертор для сонячних електростанцій



Сонячні батареї генерують електричну енергію **постійного** струму у той час як більшість споживачів електричної енергії потребують електричної енергії **змінного** струму

Для перетворення роду струму (із постійного на змінний) використовуються спеціалізовані **інвертори**, адаптовані для роботи із сонячними панелями

Деякі види інверторів можуть працювати як в системах сонячної, так і вітряної енергетики

Автономна сонячна електростанція краще підходить для живлення будинків, розташованих в місцях де немає доступу до промислової мережі змінного струму. Річ у тому, що акумулятор, для того щоб забезпечити цілодобову потребу в електричній енергії повинен мати велику енергетичну ємність, а сонячна панель – велику потужність, що робить цю систему доволі дорогою. Крім того, у власника такої електростанції немає можливості віддавати згенеровану енергію. Тому увесь надлишок енергії буде просто пропадати.

Автономна сонячна електростанція

Переваги

- Виробництво власної електричної енергії
- Автономність (можна ставити навіть у місці де немає промислової мережі)

Недоліки

- Висока ємність акумуляторної батареї, бо Сонце світить не лише вдень, а електрична енергія споживається і вночі, і за поганої погоди
- Висока вартість (у першу чергу акумуляторної батареї)
- Малий термін служби (акумуляторна батарея через 5...10 років потребує заміни)
- Велика площа сонячної батареї, бо за короткий термін необхідно згенерувати добову кількість електрики
- Неможливість інтеграції із промисловою мережею (у випадку коли електрична енергія не споживається а акумуляторна батарея повністю заряджена, енергія, вироблена сонячною батареєю пропаде)
- Неможливість продавати надлишок енергії

Найкращим варіантом для сонячної електростанції, особливо якщо у власника є можливість продавати залишки енергії, є електростанція, яка має можливість інтеграції із промисловою мережею змінного струму. Але для такого рішення потрібні спеціалізовані інвертори, які отримали спеціальну назву – інвертори, що керуються мережею (Grid-tie Inverter). Ці інвертори мають більшу технічну складність, проте само вони і є основою для побудови мережних електростанцій, які і є основою для інтелектуальних енергетичних систем.

Інтеграція із промисловою мережею



У загальному випадку інвертор генерує синусоїдальну напругу, що може відрізнитися від напруги промислової мережі за величинами напруги, частоти та фази. Для того щоб сонячну електростанцію можна було підключити до загальної мережі ці параметри необхідно узгодити.

Для підключення сонячної електростанції до промислової мережі використовують спеціальні **інвертори, що керуються мережею** (Grid-tie Inverter)

Ще одна проблема інтеграції сонячної енергетики – збільшення рівня змінної складової у навантаженні мережі, що потребує швидкого регулювання генерованої потужності на традиційних теплових електростанціях

Мережна сонячна електростанція не має акумулятора. Уся енергія, яку виробляє сонячна батарея, вітрогенератор або накопичувач енергії через інвертор, що керується мережею, потрапляє у промислову мережу де і розподіляється між споживачами. Для такої електростанції потрібен спеціальний лічильник, спроможний підраховувати як кількість енергії, що бела спрямована в мережу, так і кількість енергії, яка із цієї мережі була спожита в періоди, коли сонячна батарея не працювала.

Мережна сонячна електростанція



Сонячна панель генерує електричну енергію



Інвертор, що керується мережею стежить за точкою максимальної потужності сонячної панелі та параметрами промислової мережі (синхронізуються з нею), перетворює рід струму електричної енергії з постійного на змінний



Лічильник електричної енергії повинен підтримувати функцію «зелений тариф» (або аналогічну). Обчислює кількість спожитої (із мережі) та генерованої (переданої в мережу) електричної енергії

Мережні сонячні електростанції простіші і дешевші за автономні. Вам не обов'язково ставити потужну сонячну батарею, яка повинна забезпечувати вас електричною енергією протягом доби навіть у грудні, коли тривалість сонячного дня найменша. Ви можете поставити собі лише одну невелику сонячну панель і просто зменшити кількість енергії яку ви споживаєте з мережі. Тому мережні сонячні електростанції є самим перспективним напрямком для невеликих електростанцій, що використовують альтернативні джерела енергії.

Мережна сонячна електростанція не потребує дорогих акумуляторів для своєї роботи, у якості акумулятора фактично використовується сама промислова мережа. Побудувавши таку електростанцію ви будете мати змогу продавати надлишки енергії, так само як і без проблем споживати від мережі ту кількість енергії, яка зараз вам потрібна. Проте для того щоб підключити таку електростанцію до існуючої електричної мережі потрібно спершу отримати доволі велику кількість дозволів та придбати доволі дорогий інвертор, що керується мережею. Однак саме такі електростанції з часом і стануть основою для інтелектуальних енергетичних систем майбутнього.

Мережна сонячна електростанція

Переваги

- Не потребує акумуляторної батареї (фактично у якості акумуляторів використовується промислова мережа)
- Не критична до площі сонячної батареї (ви можете генерувати таку потужність яку дозволяють вам умови)
- Є можливість продавати надлишок електричної енергії

Недоліки

- Інвертори, що керуються мережею, мають високу вартість
- Необхідно оформити необхідний пакет документів для отримання «зеленого» тарифу

Застосування

- Приватні та комунальні електростанції (розподілені системи генерування електричної енергії)
- Сонячні електростанції великої потужності

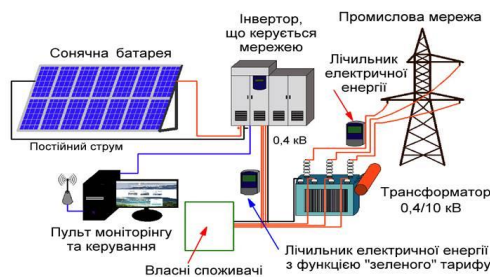
Якщо додати до мережної сонячної електростанції акумулятор, навіть невеликої ємності, то вона перетвориться на гібридну. Наявність акумулятора дозволяє вам забезпечувати себе електричною енергією у періоди часу, коли в промисловій мережі змінного струму виникають аварії. Зверніть увагу, що мережна сонячна електростанція працює лише тоді, коли в мережі є напруга, тобто при аварії в промисловій мережі ваше обладнання також не буде працювати навіть при наявності освітлення сонячних батарей. А от гібридна сонячна електростанція, у цьому випадку, зможе вас забезпечити енергією навіть коли напруги у промисловій мережі не буде. Скільки часу ви зможете попрацювати у такому режимі залежить від енергетичної ємності акумуляторної батареї.

Гібридна сонячна електростанція



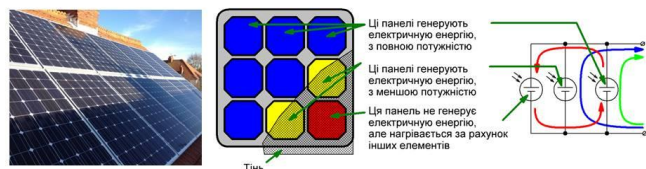
Промислові мережні електростанції побудовані за тими ж самим принципами, що і електростанції, що призначені для побутового використання. Єдиною різницею є потужності. Промислові електростанції мають більші площі сонячних батарей, і, відповідно, більш потужні інвертори. Проте структура у них така ж сама. Сонячна батарея генерує постійний струм, який за допомогою інвертора, що керується мережею, перетворюється на змінний і через трансформаторну підстанцію передається до промислової мережі змінного струму, яка і розподіляє цю енергію між конкретними споживачами.

Промислова мережна електростанція



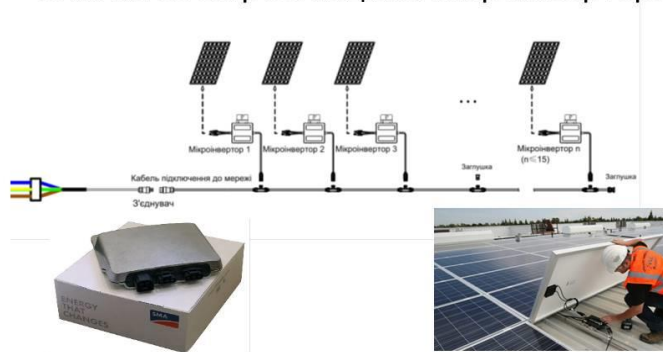
Сонячні електростанції, що мають велику кількість сонячних панелей мають одну проблему, яка називається часткове затінення сонячних панелей. Таку ж саму проблему мають і невеликі побутові сонячні електростанції. Сонце постійно рухається по небосхилу. По цьому ж небосхилу постійно рухаються і хмари, які зменшують рівень сонячної радіації, що потрапляє на сонячну панель. Крім того, якщо сонячні панелі розташовані на стінах чи дахах приватних будинків, то вони також можуть періодично затінятися різними об'єктами – іншими будинками, трубами, деревами тощо. Коли це відбувається то зменшується потужність усієї сонячної батареї, тобто навіть сонячні панелі, що не затіняються також не можуть працювати на повну потужність. Наскільки зменшується потужність сонячної електростанції при частковому затіненні залежить від багатьох факторів, першу чергу – від того, за якою схемою окремі сонячні елементи та окремі сонячні панелі з'єднані між собою.

Проблема батарей із великою площею



Зменшити вплив часткового затінення та максимально використовувати усю наявну потужність сонячних батарей можна за допомогою використання мікроінверторів. Мікроінвертор – це інвертор, що керується мережею, призначений для роботи лише з однією, максимум – із двома, сонячними панелями. Мікроінвертор дозволяє отримати максимальну кількість енергії від сонячної батареї, і максимально ефективно використовувати усі площу, на якій розташовані сонячні панелі.

Сонячні електростанції на мікроінверторах



При використанні мікроінверторів сонячні панелі можуть орієнтуватися на різні сторони світу. Тому одна сонячна панель, наприклад, орієнтована на схід, буде мати максимальну потужність в першій половині дня, а друга наприклад, орієнтована на захід, буде працювати у другій. Крім того, при використанні мікроінверторів немає необхідності купувати та будувати одразу усю сонячну електростанцію. Це можна робити поступово, наприклад, спочатку можна встановити один комплект сонячна панель та мікроінвертор, потім другий, потім третій. І з кожним встановленим комплектом рівень енергоспоживання вашого будинку буде зменшуватися, а кількість проданої енергії – збільшуватися. Єдиним недоліком такого підходу є більша вартість. Оскільки декілька мікроінверторів будуть коштувати дорожче, ніж один інвертор аналогічної потужності.

Сонячні електростанції на мікроінверторах



Переваги

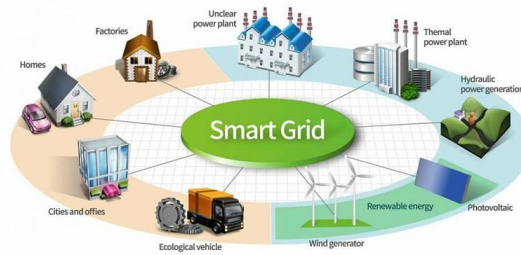
- Не потребують великих початкових капіталовкладень
- Кожна сонячна панель працює у режимі максимальної потужності
- У випадку виходу із ладу однієї секції (панель або інвертор) інша частина станції продовжує працювати
- Можна додатково добавляти чи видаляти сонячні панелі (у тому числі і під час роботи)
- Можливість оперативного моніторингу та керування кожною панеллю

Недоліки

- Більша вартість
- Не досить поширена технологія (поки що)

Отже тепер ви бачите, що інтелектуальні енергетичні системи є розподіленими системами, де енергія генерується доволі великою кількістю різноманітних джерел енергії. Джерелами енергії у цих системах можуть бути електростанції, що працюють як на традиційних, так і на альтернативних джерелах енергії. А ще, одними із головних елементів інтелектуальних енергетичних систем є накопичувачі енергії, без яких перехід на альтернативні джерела енергії просто неможливий. Ви також бачите, що кожен об'єкт інтелектуальної енергетичної системи, фактично є автономним об'єктом, і може функціонувати як самостійно так і складі самої системи. Ви також бачите, що створити подібну систему без використання інформаційних та телекомунікаційних технологій також неможливо. Питання вимірювання якості та кількості спожитої енергії, передача інформації про рівень прогнозованої потужності, оптимізація режимів роботи – усе це стає можливим лише завдяки використанню сучасних телекомунікаційних та комп'ютерних засобів.

Інтелектуальні енергетичні системи



Звісно за той короткий час, який відведено на вивчення цієї теми у курсі «Інтелектуальні пристрої та системи» докладно познайомитися із усіма особливостями інтелектуальних енергетичних систем просто неможливо. Однак я маю надію, що інформації, яку ви отримали протягом вивчення цієї теми, цілком достатньо для того щоб у вас сформувалося загальне уявлення про те що таке інтелектуальні інформаційні системи, з чого вони складаються і чому вони саме такі, а не інакші. В будь-якому випадку, інтелектуальні енергетичні системи – це наше майбутнє, і їх поява в Україні – це лише питання часу. Взагалі енергетичні питання з часом будуть хвилювати будь-якого мешканця нашої планети, тому я не здивуюся, якщо з часом в переліку світових валют з'явиться ще одна – кіловат-година, яка стане однією із самих твердих валют в світі, оскільки завжди буде забезпечена конкретною кількістю енергії.

Висновки

- Інтелектуальні енергетичні системи – це наше майбутнє
- Через деякий час ми усі будемо продавати та купувати енергію так само, як і інші товари
- Через деякий час кожен із нас буде враховувати скільки енергії і як йому необхідно витратити

**Кіловат-година може стати світовою
інтернаціональною валютою**

7. Особливості проведення енергоаудиту будівель

Про енергоаудит житлових будівель в Україні стали говорити після майже одночасного підвищення тарифів на усі види енергоносіїв та прийняття у 2017 році Закону «Про енергетичну ефективність будівель». До цього часу енергоаудит був відомий здебільше у державному та промисловому секторах, а енергоаудиторам досить часто доводилося доказувати, що вони дійсно роблять корисну роботу, а не просто беруть гроші невідомо за що. І хоч зараз сертифікація енергетичної ефективності житлових будівель не є обов'язковою, але без енергетичного сертифікату жоден фонд або банк не дасть грошей на утеплення, а якщо і дасть, то дуже мало. А це означає, що без проведення енергоаудиту утеплювати будинок мешканцям доведеться за власний рахунок без будь-якої допомоги як з боку держави, так і з боку міжнародних організацій.

Але припустимо, що гроші на утеплення у мешканців є, і вони не потребують фінансової допомоги. Припустимо, що мешканці добре знаються на утепленні будинків, наприклад, передивилися усі інформаційні ролики в Інтернеті на кшталт «10 головних помилок при утепленні будинку», і тому не потребують інформаційних консультацій. Чи зможуть вони самостійно утеплити будинок? Теоретично так, бо ніяких перешкод для цього немає. Але давайте розглянемо із чим їм доведеться стикнутися під час утеплення.

Чому я не буду проводити енергоаудит



- Це необов'язково
- Це додаткові витрати
- У мене є знайомі фахівці-будівельники, які мені допоможуть
- Я сам краще знаю
- Кому це взагалі потрібно?

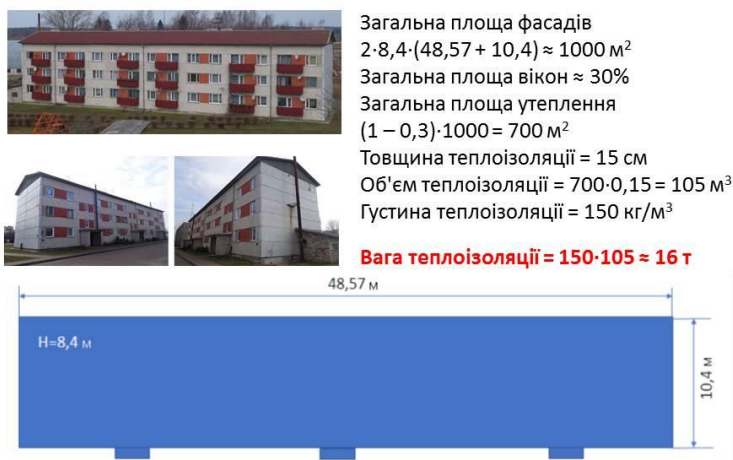
Енергоаудит – це ще одна викачка грошей із населення

Зверніть увагу, що мета цього матеріалу не заохочення людей до проведення енергоаудиту. Мета цього матеріалу – щоб мешканці будинків, перед тим як приймати остаточне рішення проводити енергоаудит чи ні, побачили ті питання, на які їм самостійно доведеться шукати відповіді. Тобто тут будуть лише поставлені питання, а відповіді ви вже будете шукати самостійно.

Перше питання, на яке ви повинні чітко знати відповідь – чи витримає ваша будівля утеплення? Розглянемо простий приклад. Щоб утеплити навіть невеличкий, порівняно із існуючими багатоповерхівками, будинок потрібно 16 тон теплоізоляційного матеріалу. І це без урахування ваги клеєвих сумішей, захисного шару та монтажних елементів. А якщо

зважити на те, що у будинку необхідно утеплювати не тільки фасад, а ще й підвал та горище, то тут вже вийде усі 25 тон додаткового навантаження на конструкційні елементи будівлі, на які, зверніть увагу, він не був розрахований. Ви ж напевно розумієте, що коли цей будинок проектувався то інженери-конструктори навіть і не думали його утеплювати.

Чи витримає будівля утеплення?



Чи витримає ваша будівля таке «утеплення»? Чи не впадуть у неї стіни? Чи не попливе у неї фундамент? Чи не зложиться вона як картковий будиночок? Ви повинні знати відповіді на ці питання інакше може так статися, що вам вже буде нічого утеплювати. У тут немає значення скільки років вашому будинку і наскільки гарно він виглядає. Гарне фасадне оздоблення може приховувати серйозні проблеми у конструктивних елементах, про які ви навіть не здогадуєтесь. А збільшення рівня ґрунтових вод, що відбулося десять років тому, наприклад, через те, що поряд побудували іншу багатоповерхівку, може потроху руйнувати ваш фундамент. Та навіть звичайне пошкодження труб у системі водопостачання, якого навіть не видно, через те, що вода не виходить на поверхню, одного дня може вам подарувати дуже неприємний сюрприз.

Чи витримає будівля утеплення?



Тому перед тим як щось робити бажано спершу провести обстеження технічного стану вашої будівлі. Зверніть увагу, що це обстеження не має ніякого відношення до енергетичного обстеження, яке проводить енергоаудитор. Це зовсім інші фахівці та зовсім інші організації. Відмінність у тому, що енергоаудитор повинен зробити так, щоб ви платили менше коштів за енергоресурси і при цьому жили в комфортних умовах, а експерт з технічного обстеження будівель і споруд відповідає за безпеку експлуатації будівлі. Тобто

головна мета експерта з технічного обстеження будівель – щоб ця будівля після утеплення не впала вам на голову. Це дуже велика відповідальність, тому експерти з технічного обстеження будівель постійно проходять жорстку перевірку.

Технічне обстеження будівель і споруд



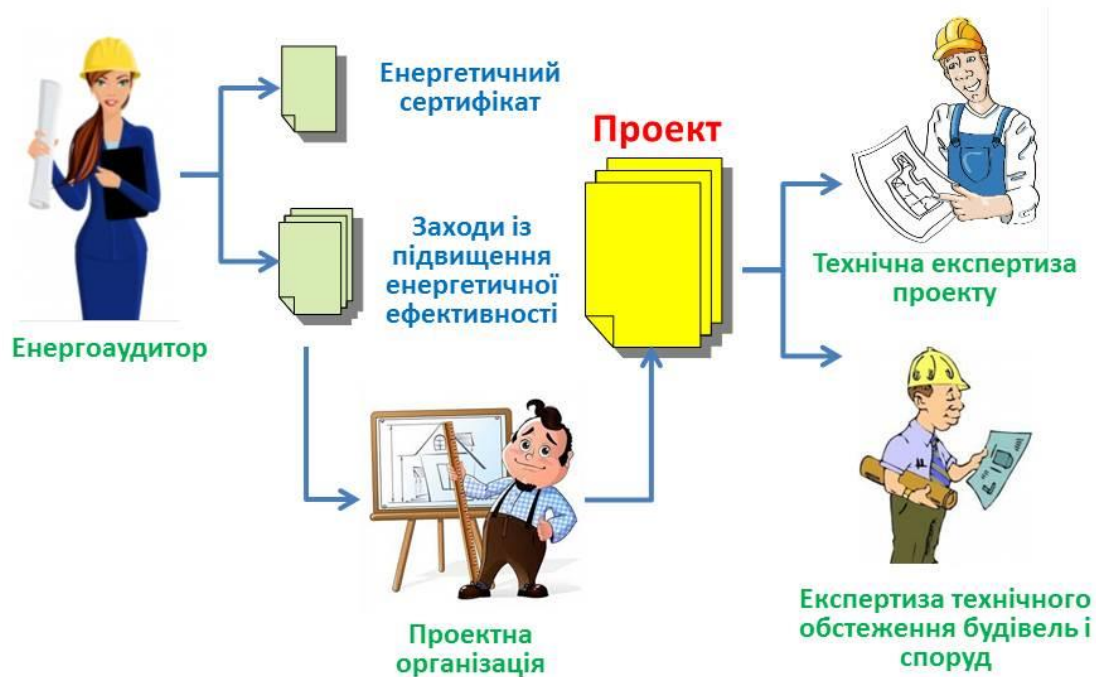
Що ж знову додаткові витрати, і знову енергоаудитор, здається, зайвий. Бо можна напряму підійти до експерта з технічного обстеження будівель і спитати: «Чи витримає мій будинок утеплення?» Та експерт тут же ж вам задасть зустрічне питання: «А що ви конкретно хочете зробити?» І варіант «просто утеплити будинок» його не задовольнить, бо йому потрібно знати які матеріали та технології будуть використовуватися, як будуть розв'язані ті чи інші технічні питання, бо у питаннях безпеки, особливо коли мова йде про десятиріччя експлуатації, кожна дрібниця має велике значення.

Тому для того щоб іти до експертів з технічного обстеження потрібен проект. А нормальний проект можуть зробити тільки люди, які це вміють робити – професійні будівельники та архітектори. Вони знають усі норми, стандарти, технології і головне – орієнтовну вартість тих чи інших робіт, тому професійний проект утеплення будинку буде містити не тільки технічну інформацію, а ще й фінансові та часові значення для реалізації вашого задуму.

І знову додаткові витрати, і знову енергоаудитор здається зайвий. Але з чим ви підете до проектної організації? З проханням розробити проект утеплення вашого будинку? Та вони також зададуть вам те ж саме питання: «Що конкретно ви хочете зробити?» І їм знову потрібна інформація: яким матеріалом та якої товщини планується утеплення, як будуть утеплені укоси, як необхідно утеплити дах і таке інше.

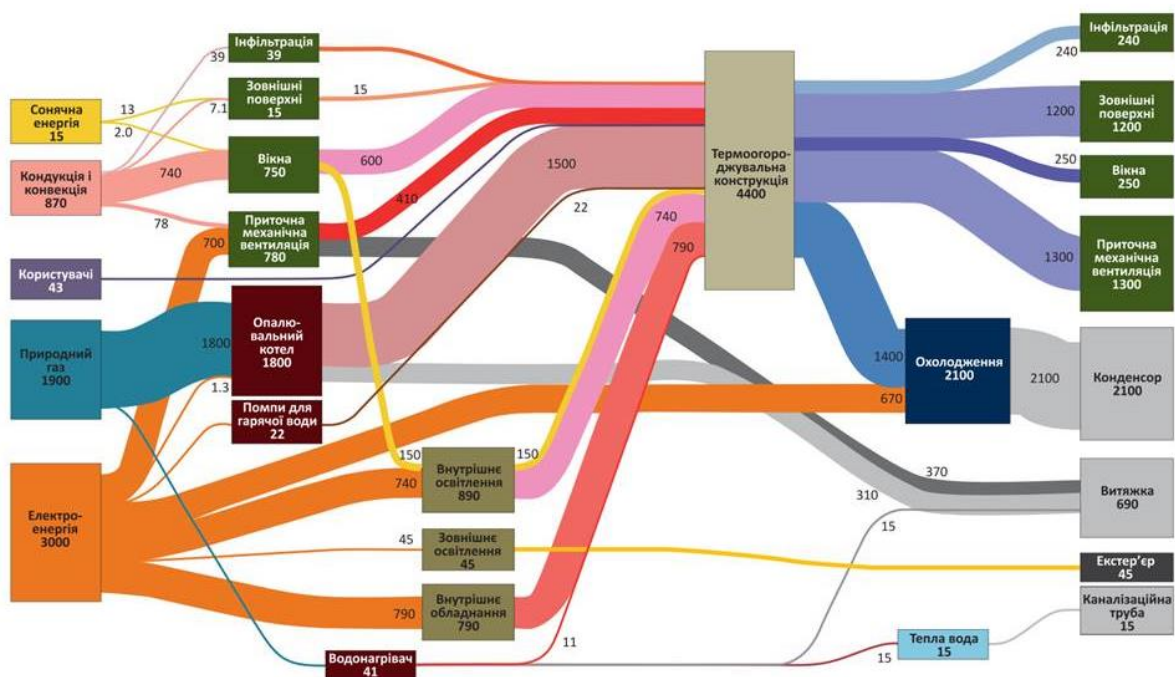
Тому саме енергоаудитор є головним, початковим і кінцевим елементом цього кола, бо саме він, після того як обстежив реальний стан вашого будинку і побудував його енергетичну модель, визначає у енергетичному сертифікаті перелік заходів, які вам необхідно потрібно зробити. Саме він несе відповідальність за кінцевий результат – зменшення витрат енергії та коштів на функціонування будівлі. І головне, якщо на будь якому етапі утеплення вашого будинку щось піде не так, наприклад, якщо певні елементи будівлі не зможуть витримати необхідне навантаження, то тільки енергоаудитор, що має повну енергетичну картину вашої будівлі, зможе, якщо це необхідно, щось змінити у заходах з енергоефективності із мінімальною шкодою для вас. А інколи виявляється що будинок взагалі не потрібно утеплювати, бо він або і так теплий, або потребує не утеплення а капітального ремонту.

Підготовчі етапи до утеплення



До речі, якщо ви не знаєте як виглядає енергетична модель будівлі, то на цьому слайді показаний її спрощений вигляд. Енергоаудитор під час створення енергетичної моделі повинен враховувати все – і з якої цегли побудовані стіни, і у скількох квартирах вже встановлені сучасні вікна, і чи є ці вікна енергозберігаючими, і яка температура є у приміщеннях, і яка погода буда у даній місцевості в останні роки і ще багато інших дрібних речей.

Енергетична модель будівлі



Вихідними даними для енергетичної моделі будівлі є сама будівля, яку енергоаудитор повинен особисто обстежити, рахунки за усі види енергоносіїв, у першу чергу за природний газ, опалення та електричну енергію, та погодні умови. Обстеженню у обов'язковому порядку підлягають огорожувальні конструкції будівлі (стіни, вікна, двері, балкони, лоджії, горище, дах та підвал), системи опалення, гарячого водопостачання, вентиляції, охолодження, кондиціонування та освітлення. Крім того, енергоаудитор звертає увагу на стан систем холодного водопостачання та внутрішні електричні мережі, оскільки, як показує досвід, під час енергетичної модернізації їх також оновлюють.

На основі цієї інформації енергоаудитор по методикам, затвердженим законодавством, створює енергетичну модель будівлі і перевіряє її на адекватність. Це робиться дуже просто – якщо підставити у модель реальні погодні умови та температуру у приміщеннях, то витрати енергоресурсів повинні приблизно співпасти із реальними цифрами, зазначеними у платіжних документах. Якщо ні, то модель коригується, доки відхилення цих величин не буде знаходитися у допустимих межах.

Що обстежує енергоаудитор



Обов'язково:

- Загальний стан будівлі (потреба у ремонті, наявність об'єктів, що не належать ОСББ, наявність позапланових об'єктів, тощо)
- Огороджувальні конструкції
- Систему опалення
- Систему гарячого водопостачання
- Систему охолодження
- Систему вентиляції
- Систему освітлення
- Витрати енергоносіїв за останні роки (рахунки за електроенергію, опалення газ, тощо)

Додатково:

- Систему електропостачання
- Систему водопостачання

Але у вас можуть бути і свої джерела інформації. Наприклад, минулого року вам гадалка нагадала, що ваш будинок простоїть ще сто років і нічого страшного з ним не буде. Тоді з вашої точки зору усі ці експертизи та проекти – це лише пуста трата коштів. І можна ні з ким не радитись і одразу переходити до головного етапу – безпосереднього утеплення будинку.

Але чим ви будете його утеплювати? Зараз є різні варіанти, починаючи від сумнівної термофарби і закінчуючи власними розробками вітчизняних та закордонних компаній, які можливо і вирішать вашу проблему, але як ви це перевірите? І мова іде не лише про тип теплоізоляції. Кожен з цих матеріалів має велику кількість варіантів виготовлення. Наприклад мінеральна вата відрізняється типом мінералу, густиною, та товщиною шару. Ви знаєте ці параметри для вашого конкретного будинку? Звісно, можна обрати найдешевший варіант. Але чи дасть він вам потрібний економічний ефект? Бо може так виявитися, що через неправильний вибір матеріалу вам потім, ще й доведеться витратити кошти на його демонтаж, щоб потім повторно утеплити вашу будівлю, так як це повинно бути зроблено з самого початку.

Чим і як утеплювати фасад?



Пінополіуритан



Пінополістірол



Мінеральна вата



Мокрий фасад



Вентильований фасад

А можна отримати ще й інші неприємні несподіванки. Так наприклад, утеплення фасаду матеріалами, клас горючості яких не відповідає будівельним нормам, може призвести до того, що навіть невеличка пожежа, яку пожежники загасили б на протязі кількох хвилин, може перетворитися на масштабну надзвичайну подію із великою кількістю постраждалих. І таких випадків вже було чимало. Тому ви впевнені, що ви або ваш консультант добре знаєте, що робите? Тоді йдемо далі.

Утеплення фасаду горючими матеріалами



Крім того, що ізоляцію потрібно правильно обрати, її ще потрібно правильно закріпити. Бо вже було чимало випадків, коли через певний період часу, як правило менше трьох років, теплоізоляція просто відвалювалася зі стін будівель. І тут вже важко розібратися хто винен. Постачальники, що закупили неякісний клей, прораби, що зекономили на кількості клею, або монтажники, що не знали як ці плити необхідно кріпити. Неважливо хто винен, важливо що вам у цьому випадку доведеться знову витратити кошти не тільки на нову ізоляцію, а ще й прибирання старої.

Порушення технології кріплення теплоізоляції



Інколи після утеплення гарний до недавнього часу будинок може перетворитися на таке страхіття, що у ньому просто не буде виникати бажання жити. Чи впевнені ви, що той результат, що ви отримаєте буде відповідати вашим очікуванням?

Чи є бажання жити у будинку з таким фасадом?



Та навіть якщо ваш будинок досить пристойно виглядає а теплоізоляція вже багато років не падає навіть при самому сильному вітрі, усе одно при її монтажі можуть бути приховані дефекти, які або нівелюють її ефект, або, у гіршому випадку, тихесенько із середини руйнують вашу будівлю. Ви ж, напевно, повинні розуміти, що теплоізоляція працює лише в тому випадку, коли вона добре захищена від сонця, вологи та інших шкідливих факторів. Тому якщо десь на ізоляцію затікає вода, то це призводить до ще більш поганих наслідків, ніж у випадку, коли б її зовсім не було.

Приховані порушення технології монтажу та недоробки



Тому при теплоізоляції особливу увагу слід приділяти деталям: укосам, місцям стиків різних елементів будівлі, переходам, балконам та інше. Причому перед тим як утеплювати будівлю слід спочатку ліквідувати усі її пошкодження. Інакше, наприклад, якщо ізоляцію закріпити на ненадійну основу, вона просто відвалиться разом із шматком стіни..

Не зроблено попередній ремонт будівлі



Таким чином, перед тим як утеплювати будівлю слід врахувати безліч дрібних моментів, які потім можуть принести вам багато неприємностей: ті ж самі стики, укоси або

переходи. Ну а якщо до вашого будинку прикріплені ще якісь зовнішні інженерні системи, наприклад, дворовий комунальний світильник на розтяжках, або тролейбусна контактна мережа, то вам доведеться не тільки усе це враховувати, а ще й узгоджувати вашу термомодернізацію із відповідними службами. І все це може і повинен робити енергоаудитор. І головне – енергоаудитор має право виконувати авторський нагляд на виконання його проектів. Тому якщо навіть будівельники будуть робити щось не так, а технічний нагляд це «не побачить», то енергоаудитор має право зупинити проект і змусити підрядника переробити погано зроблену роботу та навіть замінити неякісні матеріали.

Що входить у «роботу» енергоаудитора?



- Врахування усіх деталей конструкції будівлі (укоси, стики, переходи,...)
- Врахування наявності елементів інших інженерних систем (кондиціонери, кріплення зовнішніх елементів, наприклад, контактної мережі тролейбуса або електропроводів)
- Узгодження проекту із комунальними службами (газопостачання, електропостачання, тощо)
- **Авторський контроль над виконанням проекту**

Ви ще хочете утеплювати будинок самостійно? Тоді знайте, що утеплення будинку може не змінити ваші витрати на опалення. Чому? Тому що якщо ваш будинок підключений до системи централізованого теплопостачання, то кількість теплової енергії регулюється не вами, а теплопостачальником. І якщо воно не зміниться, то і відчутної економії ви не отримаєте. Просто в квартирах стане жарко і вашим мешканцям доведеться відкривати квартирки щоб зменшити температуру.

А ось для того щоб температура у всіх квартирах, у тому числі і у холодних кутових кімнатах дорівнювала комфортним 20 °С необхідно спершу модернізувати систему опалення. Для цього щонайменше необхідно встановити індивідуальний тепловий пункт, що дасть змогу зменшити кількість тепла, що споживається із тепломережі, а також провести балансування системи опалення. А інколи буває, що цих заходів може виявитися недостатньо і необхідно буде повністю перероблювати усю систему опалення. Зверніть увагу, що це необхідно робити або до утеплення будинку або одночасно з цим. Інакше уся ця робота може виявитися даремною.

Витрати енергії на опалення



До утеплення

- 10 Гкал за опалювальний сезон
- Середня температура у квартирах +18 °C

Після утеплення

- 9,5 Гкал за опалювальний сезон
- Середня температура у квартирах +25 °C

Уся економія «виходить» через відкриті вікна, тому що у квартирах жарко

Потрібен індивідуальний тепловий пункт та балансування системи опалення

А ви добре знаєтесь на системах опалення? На відміну від теплоізоляційних матеріалів, інформації про системи опалення в мережі Інтернет дуже мало, і вони майже всі загального характеру. Такі роботи потребують високої кваліфікації фахівців. Тому бригади, що вміють клеїти пінопласт, як правило, не займаються опаленням. Може варто все ж таки покликати енергоаудитора?

Що входить у «роботу» енергоаудитора?



- Детальне обстеження і аналіз роботи системи опалення
- Складання енергетичної моделі роботи системи опалення як складової частини енергетичної моделі усього будинку
- Розробка заходів із підвищення її ефективності: промивка труб, заміна радіаторів (на які конкретно), встановлення індивідуального теплового пункту (якого конкретно), переробка системи опалення (якщо необхідно)
- Узгодження проекту із необхідними службами (газопостачання, тепlopостачання, тощо)
- **Авторський контроль над виконанням проекту**

Але на цьому неприємні сюрпризи можуть не закінчитися, бо як показує практика після модернізації системи опалення та утеплення будинку, особливо коли старі дерев'яні вікна були замінені на сучасні металопластикові, у будинку починаються проблеми із вентиляцією: люди починають себе погано почувати і хворіти. Будинок також може почати хворіти: з'являється вогкість, пліснява та грибок. Проблема у тому, що у старих будинках дерев'яні вікна були частиною системи вентиляції. І хоч вони і мали великі втрати тепла, але забезпечували необхідний повітрообмін. Тому після усіх заходів на утеплення будинку часто буває таке, що мешканцям доводиться цілий рік жити із відчиненими квартирками, але вже не через те, що жарко, а ще й через те, що нема чим дихати.

Витрати енергії на опалення



До утеплення

- 10 Гкал за опалювальний сезон
- Середня температура у квартирах +18 °C

Після утеплення

- 9 Гкал за опалювальний сезон
- Середня температура у квартирах +20 °C

Уся економія «виходить» через відкриті вікна, тому що у квартирах тепер нема чим дихати

Потрібно відновити систему вентиляції

І якщо, фахівця із систем опалення, хоч і складно, а ще можна знайти, то фахівця, що знається на вентиляції багатоквартирних будинків, знайти ще складніше. Тому що після заміни старих вікон штатна система вентиляції фактично зруйнована а створювати нову систему вентиляції дуже складно. Але у енергоаудитора є енергетична модель вашого будинку. І він може визначити як відновити необхідний повітрообмін із мінімальними витратами коштів. І інколи ці заходи можуть бути нетиповими. Наприклад, залишити у певних місцях будинку старі дерев'яні вікна, які хоч і будуть втрачати тепло, але й забезпечувати будівлю свіжим повітрям. І це у цілому буде набагато ефективніше, і головне – дешевше, ніж використання дорогих систем та пристроїв.

Що входить у «роботу» енергоаудитора?



- Детальне обстеження і аналіз роботи системи вентиляції
- Складання енергетичної моделі роботи системи вентиляції як складової частини енергетичної моделі усього будинку
- Розробка заходів із відновлення нормального повітрообміну із мінімальною «шкодою» для будинку та гаманців мешканців
- **Авторський контроль над виконанням проекту**

Ну і наостанок, якщо, все ж таки ви все ще не хочете звертатися до енергоаудитора, то хоча б прийміть до уваги той факт, що енергоаудитор повинен обстежити усі системи вашого будинку, а у розробці заходів врахувати усі індивідуальні особливості вашого будинку. Наприклад, він повинен оцінити скільки буде коштувати демонтаж та повторний монтаж кондиціонерів, що вже встановлені в будинку, тому що якщо їх не чіпати, то або не можна нормально утеплити стіну, або потім кондиціонери не будуть нормально працювати і мешканцям потім доведеться витрачати додаткові кошти на їх переміщення. Ну і головне, лише звіт енергоаудитора є підставою для отримання коштів на модернізацію будівель від державних та міжнародних програм допомоги.

Що ще входить у «роботу» енергоаудитора?



- Детальне обстеження і аналіз роботи систем гарячого та холодного водопостачання та електропостачання
- Врахування індивідуальних особливостей будинку (балкони, лоджії, підвали, кондиціонери, магазини на першому поверсі, тощо)
- Допомога в отриманні коштів від державних та міжнародних програм
- **Персональна відповідальність за правильність розрахунків та заходів**

До речі, кожен звіт енергоаудитора може бути у будь який час перевірений у Державному агентстві з енергоефективності та енергозбереження України і ви також можете ініціювати цю перевірку. І якщо енергоаудитор щось на так нарахує, то він буде позбавлений атестату і, принаймні найближчі кілька років не зможе займатися цим видом діяльності.

Таким чином, якщо ваш будинок хворий і потребує лікування, ви звісно маєте повне право його лікувати так як вам заманеться. Але, як показує досвід, все ж таки краще звернутися до кваліфікованого фахівця, яким і є енергоаудитор.

Висновки



Ви маєте повне право
самостійно утеплити будинок
без залучання
енергоаудиторів та інших
кваліфікованих фахівців

**САМОЛІКУВАННЯ
БУДИНКУ МОЖЕ БУТИ
ШКІДЛИВИМ ДЛЯ
ЙОГО ЗДОРОВ'Я!**

8. Рекомендована література

Основна

1. Альтернативні енергоресурси. Вступ до спеціальності: навчальний посібник / С. Бойченко, А. Яковлева, О. Вовк та ін. — Київ: Центр учбової літератури, 2021. — 390 с.
2. Альтернативна енергетика [конспект лекцій для студентів природничих та інженерних спеціальностей] / В.В.Малишев, А.М.Поліщук, А.І.Габ, Д.Б. Шахнін ; Університет "Україна". - Київ : Університет "Україна", 2020. - 60 с.
3. Енергоощадність та альтернативні джерела енергії / М.Й.Олійник, В.Г.Лисяк, О.Б. Дудурич. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. — 184 с
4. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О75 Н. Нойбергер, Д. Ципленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. — Д.: НГУ, 2015. — 335 с. ISBN 978-966-350-526-8
5. The Solar Electricity Handbook – 2021 Edition: A simple, practical guide to solar energy – designing and installing solar photovoltaic systems. Paperback Greenstream Publishing; 2021st edition – 240 p. – ISBN-10 : 1907670750
6. Hydroponics: The Complete Beginner's Guide to Quickly Start an Inexpensive Hydroponic System at Home to Grow Fruits, Vegetables and Herbs in Your Own Garden/Independently published –2019 – 252 p. – ISBN-10 : 1686496095
7. Дэвид Роуз, Дивовижні технології. Дизайн та інтернет речей : навч посібник/ Дэвид Роуз. Харків: «Книжный Клуб «Клуб Семейного Досуга», 2018- 336 с. ISBN978-617-12-5388-9

Допоміжна

- 8.Посібник Енергоменеджера. / Проєкт «Реформи у сфері енергоефективності в Україні», що виконується GIZ за дорученням Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ) – 2019 – 61 р.
- 9.Енергетичний менеджмент та енергоефективність: Підручник для студентів зі спеціальності електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / І.О. Самойленко, О.Г. Гриб, А.О. Запорожець та ін. - Харків: ФОП Бровін О.В., 2020. - 348 с.
10. Енергетичний менеджмент і аудит. 1 частина: Підручник / *М.Г. Хмельняк, О.Ю. Яковлева, О.В. Остапенко+ Під заг. ред. М.Г. Хмельняк. – Херсон: ФОП Грінь Д.С. 2017. – 224 с.

Інформаційні ресурси

11. United nations. Climate actions. URL: <https://www.un.org/en/climatechange>
12. Офіційний сайт проєкту NASA POWER URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
13. Державне агенство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <https://saee.gov.ua/uk/ae>

Навчальне видання

Русу Олександр Петрович

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ПРИСТРОЇ ТА СИСТЕМИ

Конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня, які навчаються за спеціальностями: 121 – Інженерія програмного забезпечення, 122 – Комп’ютерні науки, 123 – Комп’ютерна інженерія, 125 – Кібербезпека та захист інформації, 172 – Електронні комунікації та радіотехніка, 014.09 – Середня освіта (Інформатика).

Українською мовою