

# Альтернативна енергетика

Тема 2 Вітряна енергетика

Вітряні турбіни  
(лекція)

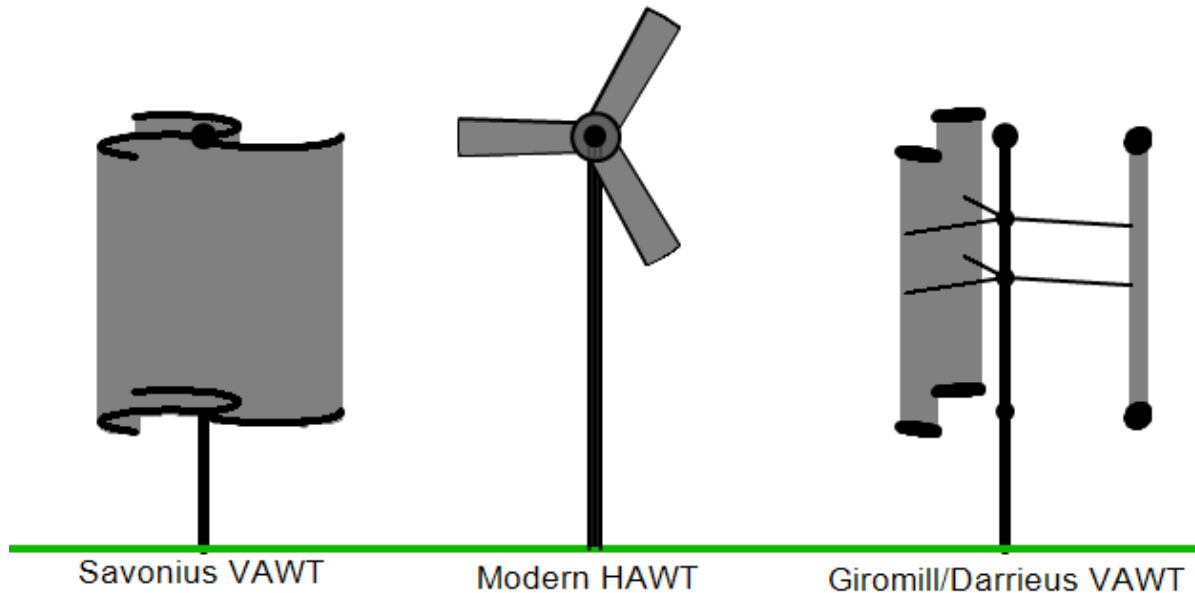
# Вітрогенератор



**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

# 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

# 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)

# 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

# Ефективність вітрогенератора

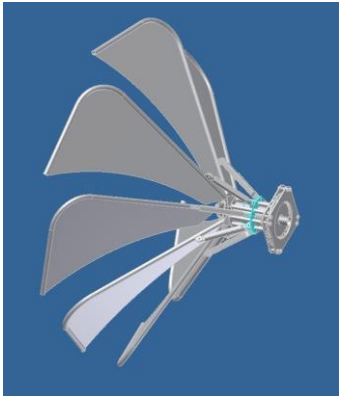


- За результатами теоретичних досліджень максимальна ефективність ідеального вітроколеса (як горизонтального, так і вертикального) не може перевищувати 59,3%.
- На даний час ефективність горизонтальних вітрогенераторів дорівнює 40%
- Експериментальні дослідження вітрогенераторів із вертикальним ротором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

**На сьогоднішній день ККД існуючих вітрогенераторів близькі до теоретичного максимуму**

# Вітрогенератори із горизонтальною віссю ротора

# 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)

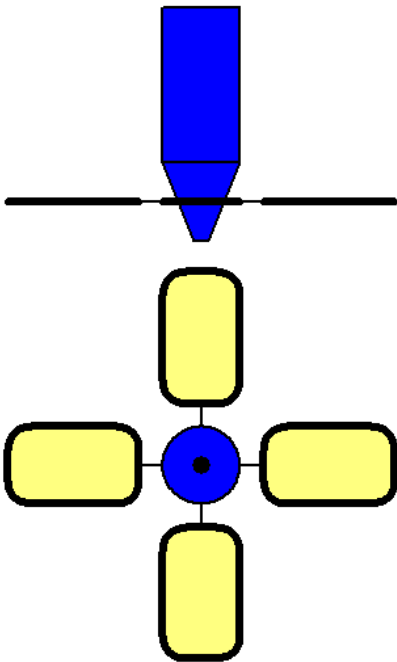
Для регулювання ефективності вітрогенератора використовують ротори із регульованим кроком гвинта (кутом встановлення лопатей)

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



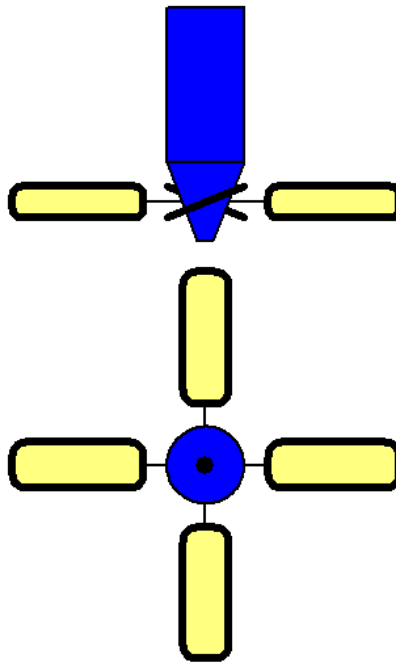
# Крок гвинта

Крок гвинта = 0



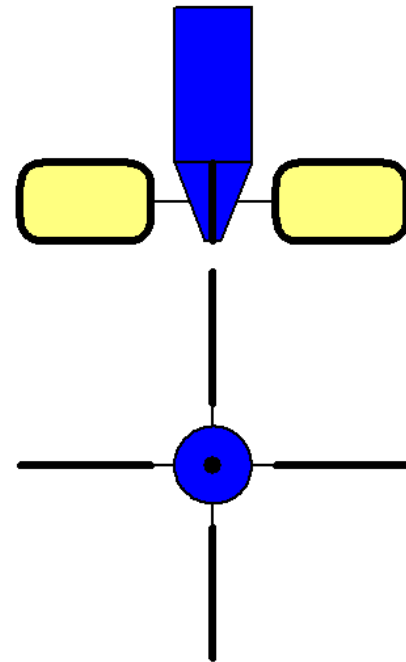
Швидкість обертання  $\rightarrow \infty$   
Обертаючий момент  $\rightarrow 0$   
Потужність  $\rightarrow 0$

$0 < \text{Крок гвинта} < \infty$



Швидкість обертання  $> 0$   
Обертаючий момент  $> 0$   
Потужність  $> 0$

Крок гвинта =  $\infty$

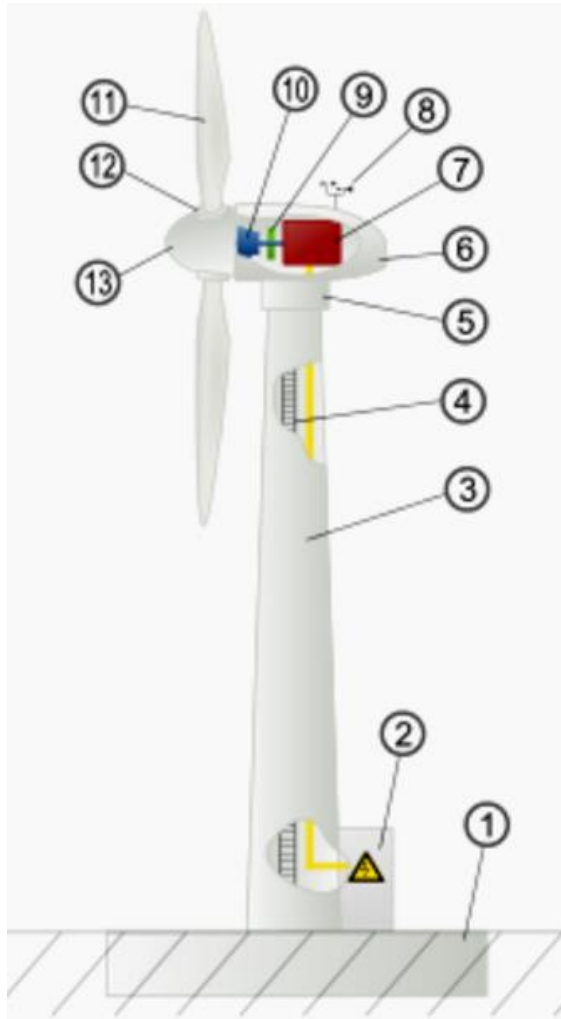


Швидкість обертання  $\rightarrow 0$   
Обертаючий момент  $\rightarrow \infty$   
Потужність  $\rightarrow 0$

**Положення при урагані**

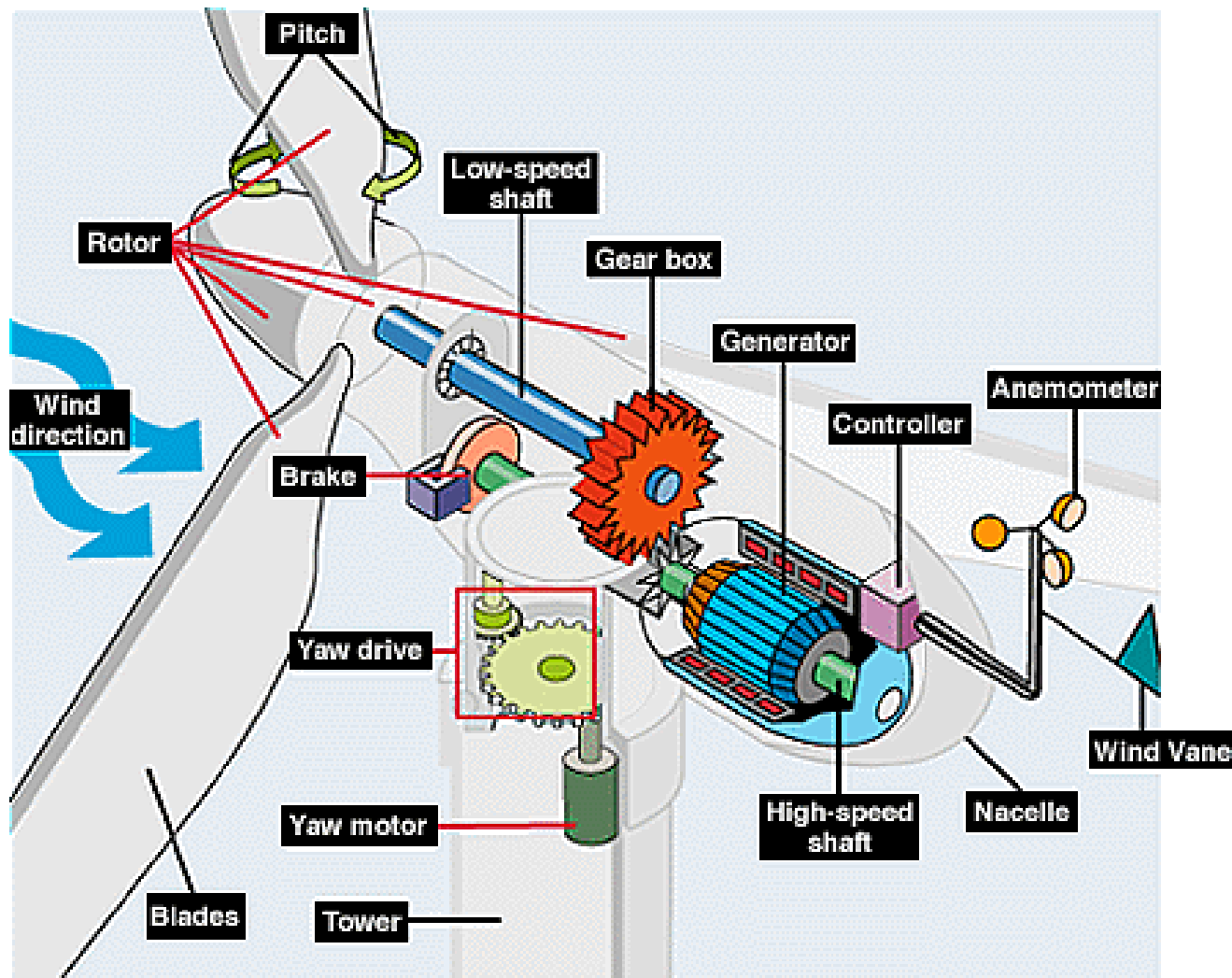
Потужність = Швидкість обертання x Обертаючий момент

# Вітрогенератор із горизонтальною віссю ротора



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

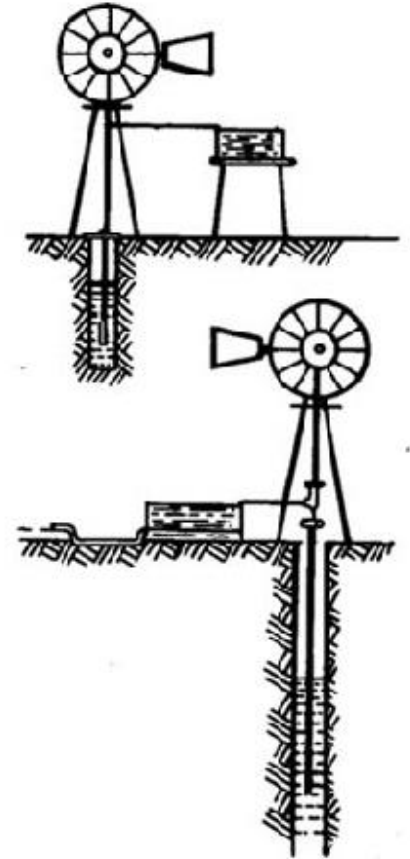
# Вітрогенератор із горизонтальною віссю ротора



# Транспортування елементів вітрогенератора



# Багатолопатеві турбіни





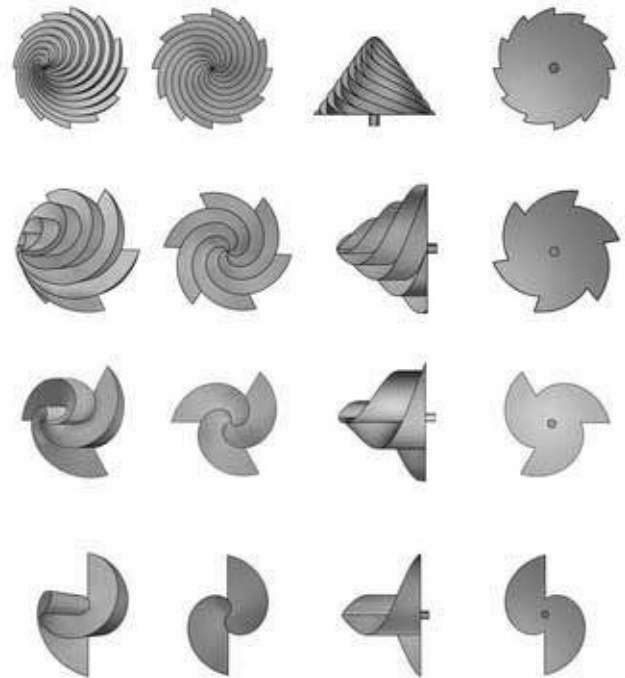
# Парусні турбіни



# Ротор Оніпко



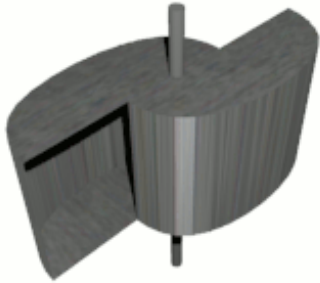
# Ротор Оніпко





# Вітрогенератори із вертикальною віссю ротора

# 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!**

# Ротор Савонівуса



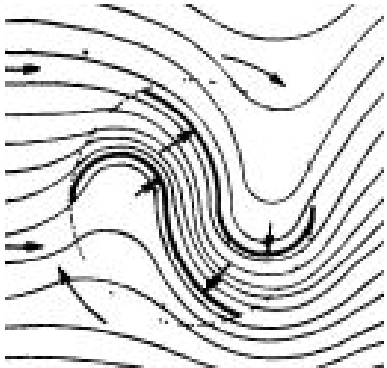
Для зменшення рівня нерівномірності навантаження на вісь ротори Савонівуса виготовляють спіральної форми або розташовують кілька роторів один над одним із зміщення куту

# Ротор Савонівуса



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

# Ротор Угринського



Різновид ротора Савонівуса, запропонований Угринського у 1946 році.

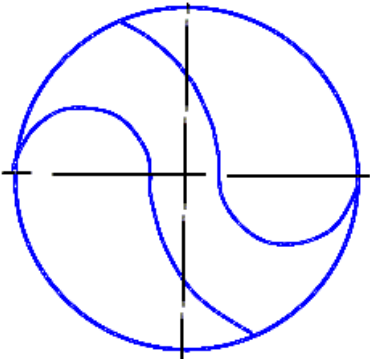
Складається із двох пластин, профіль яких нагадує літеру S. Головною умовою є співвідношення середньої частини каналу між лопатями, що повинно дорівнювати  $2/3$  від ширини гирла каналу.

## Переваги

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

## Недоліки

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



# Ротор Угринського



# Турбіна Дар'є

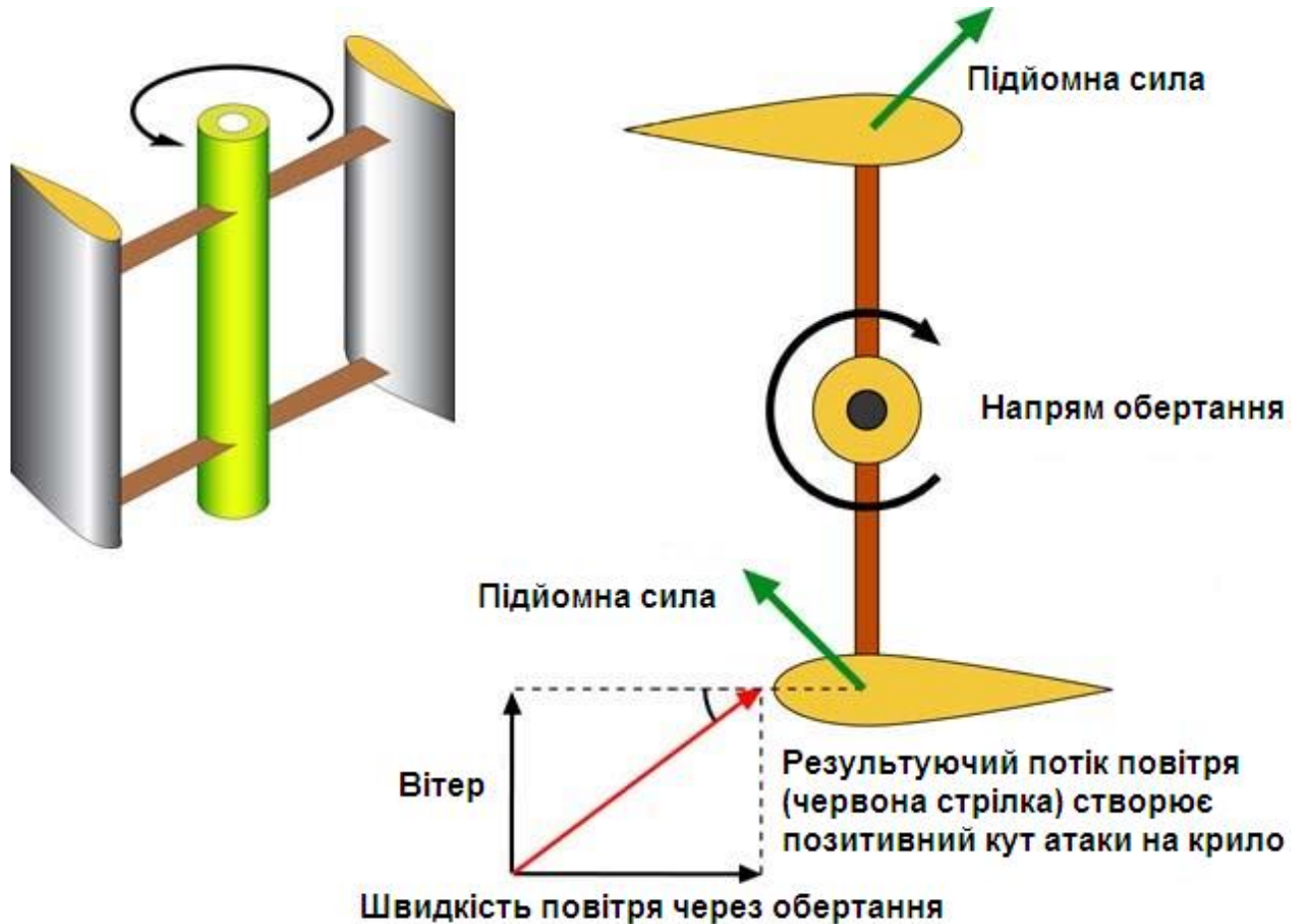


Турбіна Дар'є, Ротор Дар'є (англ. Darrieus rotor) — тип турбіни низького тиску, вісь обертання якої перпендикулярна потоку рідини або газу. Запропонована в 1931 році французьким авіаконструктором Жоржем Дар'є (George Darrieus).

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





# Турбіна Дар'є



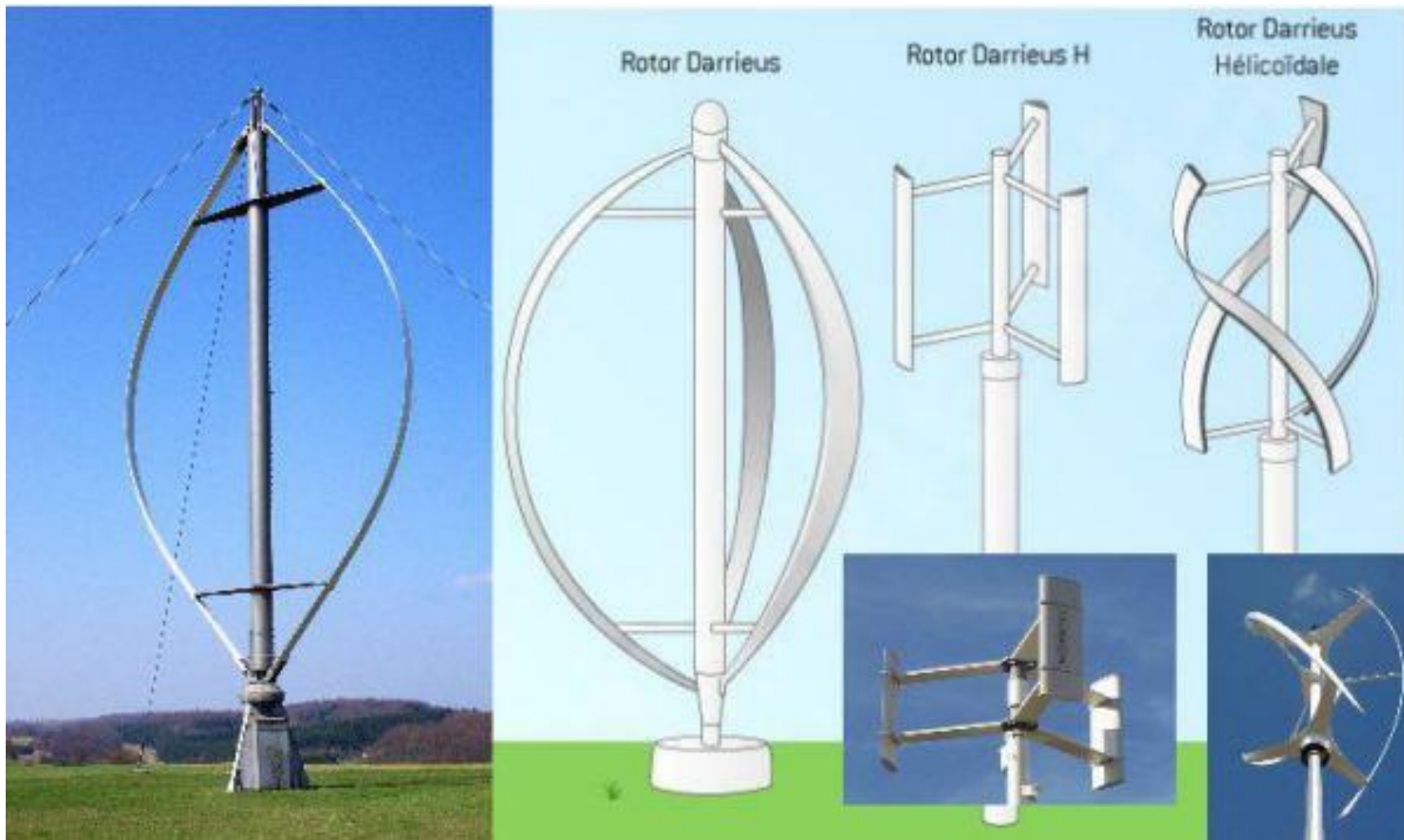
## Переваги:

- 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

# Типи турбін Дар'є

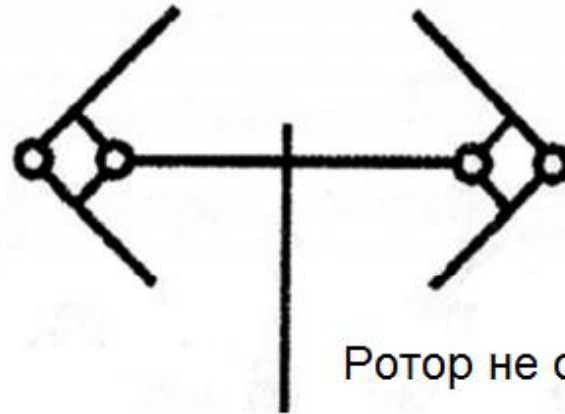


# Турбіна Дар'є із криволінійними лопатями

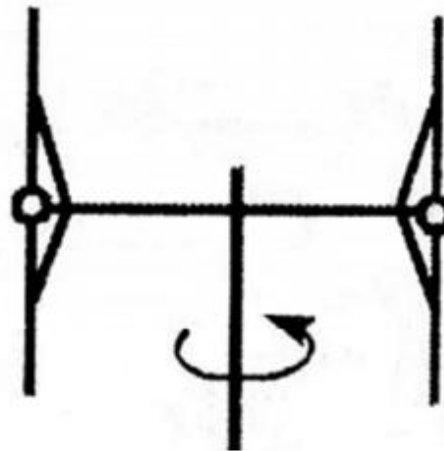


- Оригінальний варіант турбіни (1931 р.)
- Високий рівень шуму
- Великі механічні навантаження на лопаті
- Велика довжина валу, що обертається
- Складність та ненадійністю розтяжок
- Складність виготовлення лопатей
- Неможливість встановлення на берегах та в офшорних зонах
- **Ефективність нижче ніж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

# Турбіна Дар'є із змінною геометрією (ротор Масгроува)

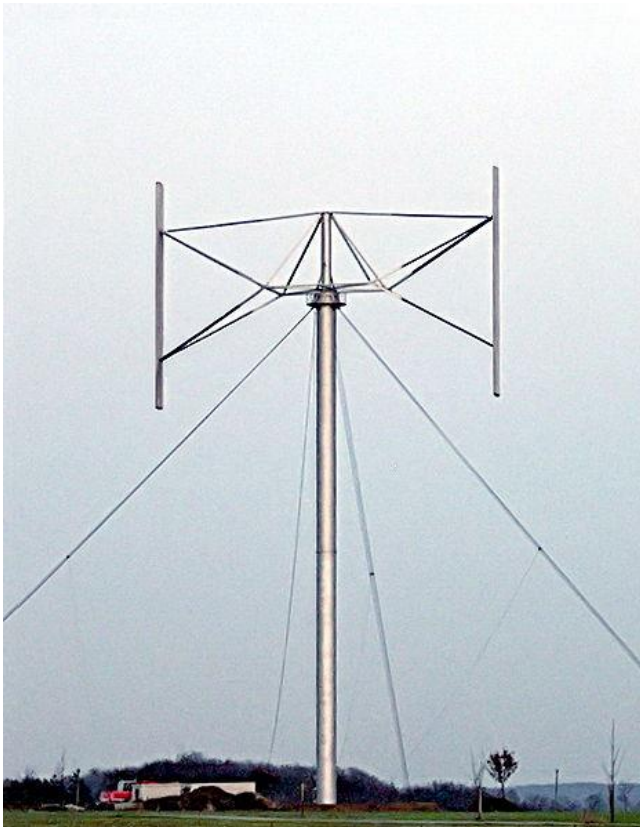


Ротор не обертається



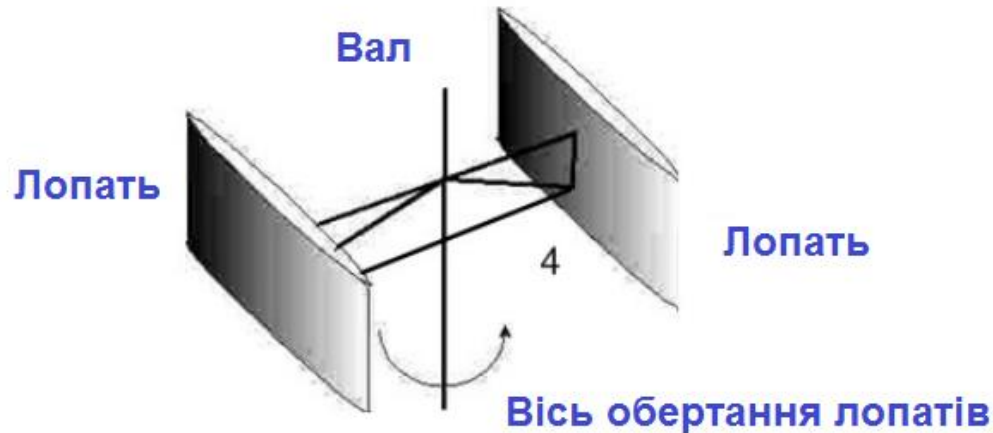
Робочий стан

# 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**

# Ротор Еванса



Крутний момент вітроколеса ротора Еванса створюється підйомною силою, яка досягає максимуму, коли лопать з великою швидкістю перетинає набігає повітряний потік.

Розкручуватися самостійно такі ротори, як правило, не можуть, тому для їх запуску зазвичай використовується генератор, що працює в режимі двигуна.

Лопаті ротора Еванса в аварійній ситуації (при занадто сильному вітрі) і при управлінні мають можливість повертатися навколо своєї вертикальної осі



# Турбіна Дар'є із прямими лопатями (Н-ротатор)



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

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



**Найбільш досконалий на сьогоднішній день тип генератора із вертикальним розташуванням ротора**



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

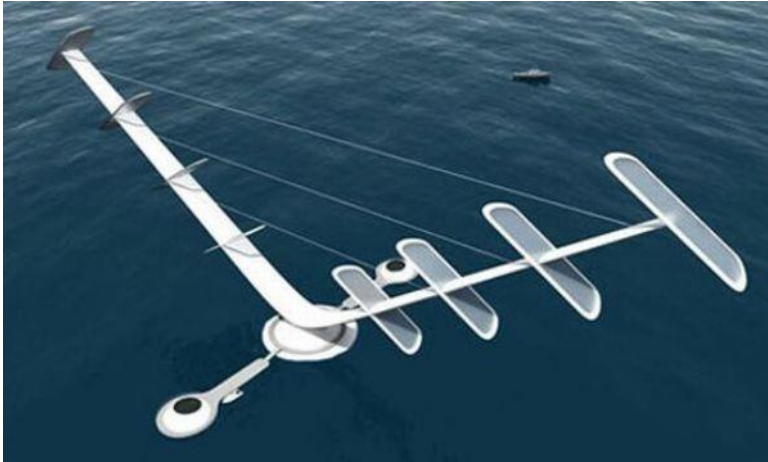


# Багатолопатеві карусельні генератори



# Вітрогенератори майбутнього (проекти)

# Аерогенератор Windpower



Аерогенератори компанії Windpower мають V-подібну форму висотою 144 метрів. Вони встановлюються в море, мають потужність 9 МВт (що в 3 рази більше звичайних) і можуть працювати навіть під час сильного шторму при швидкості вітру понад 110 м / с.

Завдяки вертикальному розташуванню осі аерогенератори не критичні до напрямку вітру, що дозволяє істотно скоротити витрати на їх будів-ництво.

# Вітряні турбіни для автобанів



Студенти університету Арізони державного архітектурного інституту розробили вітряні турбіни з дизайном, що повторює форму молекули ДНК, здатні працювати від вітру, що створюється автомобілями, що проїжджають зі швидкістю 100 км/год і вище

Кожна турбіна в змозі зробити до 9,6 кВт · год енергії щорічно при середній швидкості вітру 16 км / год, що досить, наприклад, для освітлення приміщення з площею 700 м<sup>2</sup> протягом року



# GEDAYC

Іспанський промисловий дизайнер Девід Саррія Хіменес (David Sarria Jimenez) сконструював вітряну турбину на основі форми квітки рослини. Така конструкція в п'ять разів дешевше і простіше в установці, ніж рішення з традиційними лопатями.



Генератор GEDAYC здатний працювати як при слабкому, так і при сильному вітрі і в два рази потужніший і ефективніше всіх відомих на сьогоднішній день лопатевих вітротурбін.

# Вітряні лінзи (Wind Lens)



Розроблений професором Юдзі Охья (Yuji Ohya), проект Wind Lens демонструвався в Йокогамі на Міжнародній виставці поновлюваних джерел енергії в 2010 році. Особливістю системи є фокусування вітрового потоку

Кожна лінза має діаметр 112 м і в змозі забезпечити енергією середнє домашнє господарство. Крім цього автори про-екта з нетерпінням очікують кри-тики його дизайну.

Дякую за увагу!

О.П. Русу

2020 р.