

ПРАКТИЧНЕ РОБОТА №4 РОЗРАХУНОК ВІТРОГЕНЕРАТОРА

Мета роботи: ознайомитися з основними параметрами вітрогенераторів і методикою їх розрахунку.

4.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Вітрогенераторами називають двигуни, що перетворюють енергію вітру в механічну роботу. За будовою вітряка і положенню його в потоці вітру *системи вітродвигунів* розділяються на три класи (рис. 4.1):

1. Крильчаті вітрогенератори мають вітроколесо з тим або іншим числом крил. Площина обертання вітроколеса у крильчатих вітродвигунів перпендикулярна напрямку вітру, отже, вісь обертання паралельна вітру. Коефіцієнт використання енергії вітру цих вітродвигунів досягає $\xi=0,42$.

2. Карусельні і роторні вітрогенератори мають вітроколесо (ротор) з лопатями, рухомими у напрямі вітру; вісь обертання вітроколеса займає вертикальне положення. Коефіцієнт використання енергії вітру цих вітродвигунів рівний від 10 до 18%.

3. Барабанні вітрогенератори мають таку ж схему вітроколеса, як і роторні,

і відрізняються від них лише горизонтальним положенням ротора, тобто вісь обертання вітроколеса горизонтальна і розташована перпендикулярно потоку вітру. Коефіцієнт використання енергії вітру цих вітряків від 6 до 8%.

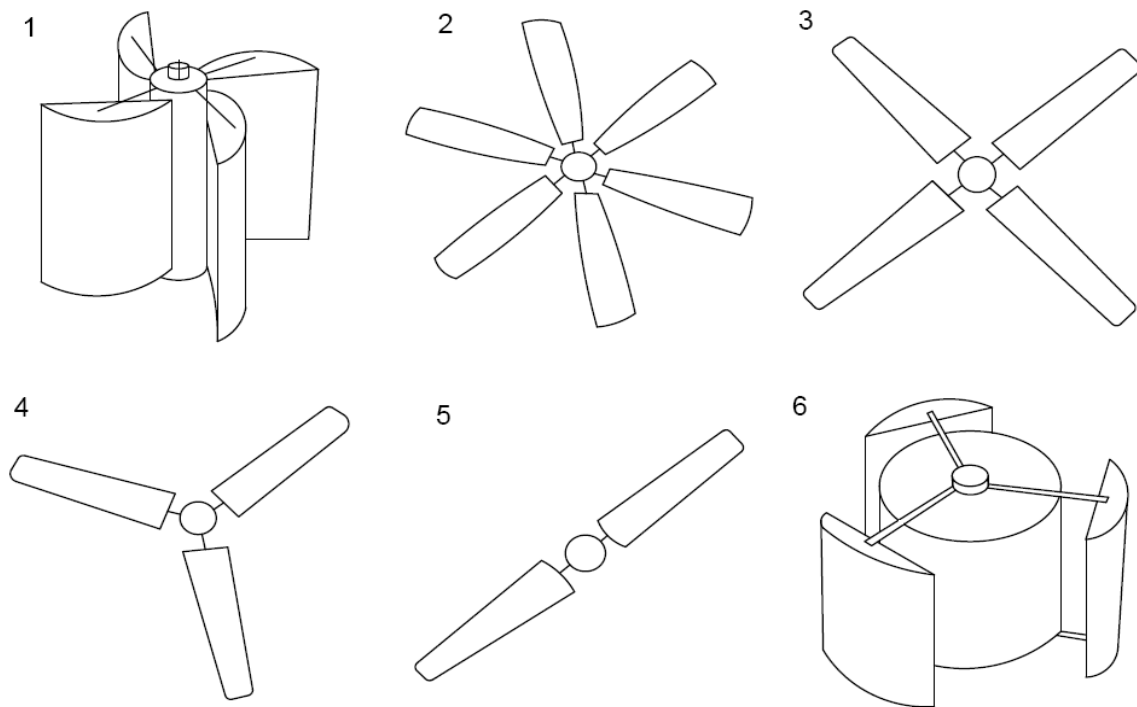


Рис. 4.1. – Типи вітродвигунів:

2 – 5 – вітродвигуни з горизонтальною віссю обертання (крильчасті); 1, 6 – вітродвигуни з вертикальною віссю обертання (карусельні: лопатеві (1) і ортогональні (6))

Крильчатий вітродвигун складається з наступних елементів (рис. 4.2):

1. Вітряк може мати від 2 до 24 лопатей. Вітряки з числом лопатей від 2 до 4 називаються малолопатевими; якщо у вітроколеса більше 4 лопатей, то воно називається багатолопатевим.

2. Голівка вітродвигуна це опора, на якій монтується вал вітроколеса і верхня передача (редуктор).

3. Хвіст кріпиться до голівки і повертає її біля вертикальної осі, встановлюючи вітроколесо на вітер.

4. Вежа вітродвигуна служить для винесення вітроколеса вище за перешкоди, що порушують течію повітряного потоку. Малопотужні вітродвигуни, що працюють як генератор, зазвичай монтуються на стовпі або трубі з розтяжками.

5. Біля основи вежі вертикальний вал кріпиться до нижньої передачі (редуктора), яка передає рух робочим машинам.

6. Регулювання оборотів вітроколеса представляє пристосування або механізм, з що обмежує обороти вітроколеса із збільшенням швидкості вітру.

На рисунку 4.3 зображено принципи розташування вітрової установки на місцевості.

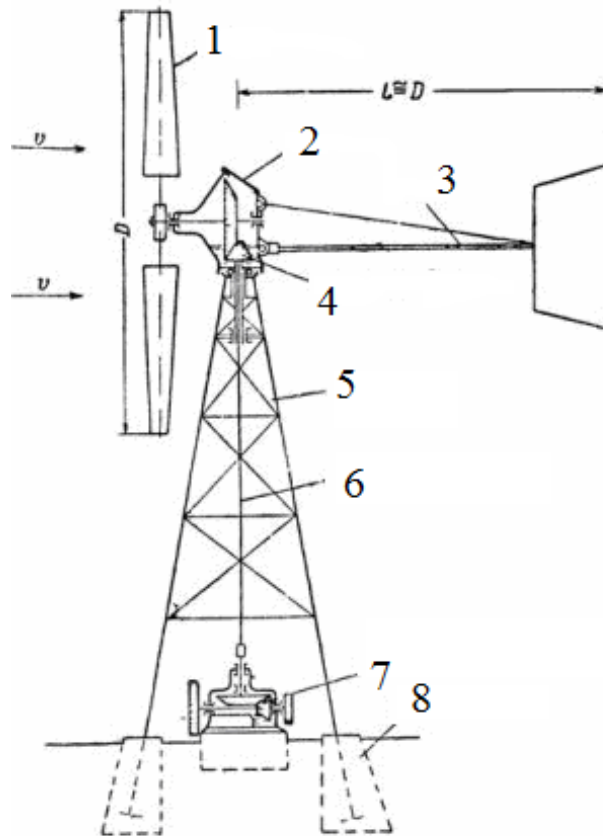
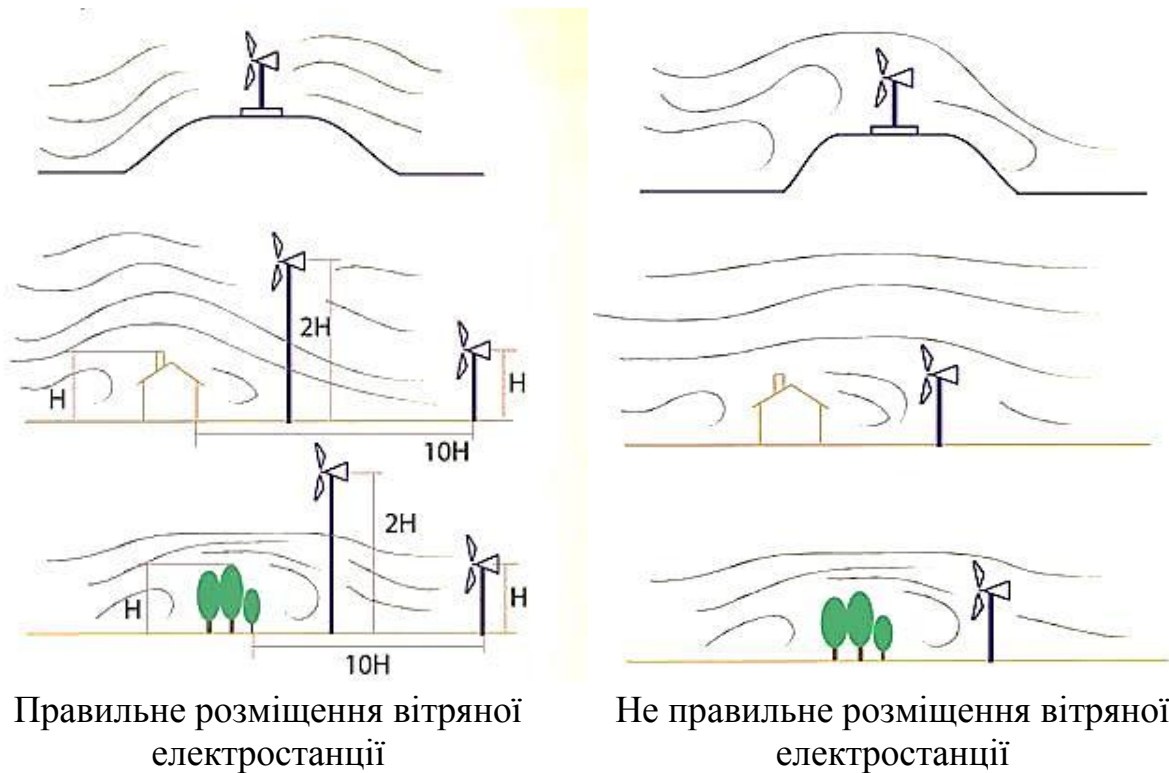


Рис. 4.2 – Вітродвигун і його основні елементи:
 1 – вітроколесо; 2 – голівка; 3 – хвіст; 4 – верхня передача; 5 – башта; 6 – вертикальний вал; 7 – нижня передача; 8 – фундамент



Правильне розміщення вітряної електростанції

Не правильне розміщення вітряної електростанції

Рис. 4.3 – Принципи розташування вітряної установки на місцевості

Основні параметри ВЕУ:

Номинальна потужність $P_{ном}$ [Вт, кВт] – потужність, що розвивається вітроустановкою при розрахунковій швидкості вітру;

Розрахункова швидкість вітру V_p [м/с] – швидкість, яку приймають для розрахунку вітрового навантаження на споруди при проектуванні. Залежно від класу споруди враховується швидкість із заданою повторюваністю – 1 раз на рік, в 5, 10, 15, 20, 50 і 100 років;

Діаметр вітротурбини D [м] – відрізок, що сполучає пару найбільш віддалених одна від однієї точок вітротурбини, проходить через її центр.

Вироблення енергії W_M [кВт-год] – кількість енергії, що виробляється вітротурбиною за певний проміжок часу (місяць, рік), величина, залежна від середньої швидкості вітру;

Середня потужність P_{CP} [кВт] – потужність, при безперервній підтримці якої, вироблення енергії за місяць буде дорівнювати реальній.

4.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.

4.2.1. Розрахунок вітрогенератора (пряма задача):

Розрахувати потужність вітроустановки з радіусом ротора R м при стартовій швидкості вітру V м/с, коефіцієнтом використання вітру ξ , ККД редуктора – $\eta_{ред}$; ККД генератора – $\eta_{ген}$.

Розрахунок вітрогенератора здійснюють за алгоритмом:

1. Потужність вітроустановки дорівнює:

$$P = \eta_{ред} \eta_{ген} P_m, \text{ Вт} \quad (4.1)$$

де P_m – потужність вітротурбіни.

2. Потужність турбіни складає:

$$P_m = \xi P_n, \text{ Вт} \quad (4.2)$$

де ξ – коефіцієнт вітровикористання. Реальний коефіцієнт вітровикористання добре спроектованої турбіни складає 0,4-0,55;

P_n – потужність вітрового потоку, що проходить через площу лопатей вітроустановки.

3. Потужність потоку обчислюється за формулою

$$P_n = \frac{\rho V^3}{2} S, \text{ Вт} \quad (4.3)$$

де ρ – щільність повітря (стандартне значення 1,225 кг/м³);

V – швидкість незбуреного вітрового потоку, м/с;

$S = \pi D^2/4$ – площа.

Для забезпечення енергією середнього котеджного будиночка необхідно мати установку середньої потужності 3 кВт.

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 4.1.

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: вітроустановка з радіусом ротора $R=2,0$ м при стартовій швидкості вітру $V=5$ м/с, коефіцієнт використання вітру $\xi = 0,45$, ККД редуктора – $\eta_{ред} = 0,82$; ККД генератора – $\eta_{ген} = 0,85$

1. Потужність потоку обчислюється за формулою:

$$P_n = \frac{\rho V^3}{2} S = \frac{1,225 \cdot 5^3 \cdot 3,14 \cdot 4^2}{2 \cdot 4} \approx 962 \text{ Вт}$$

2. Потужність турбіни складає:

$$P_m = \xi P_n = 0,45 \cdot 962 = 433 \text{ Вт}$$

3. Потужність вітроустановки дорівнює:

$$P = \eta_{ред} \eta_{ген} P_m = 0,82 \cdot 0,85 \cdot 433 \approx 302 \text{ Вт}$$

Таблиця 4.1 – Вихідні данні для розрахунку вітрогенератора

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R , м	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
V , м/с	4,7	4,9	5,2	6,4	6,3	5,5	5,8	5,0	4,9	4,7
ξ	0,4	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,47	0,49	0,5	0,53
$\eta_{ред}$, відносні од.	0,84	0,83	0,82	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
$\eta_{ген}$, відносні од.	0,88	0,89	0,9	0,87	0,86	0,85	0,9	0,87	0,88	0,89

4.2.2. Розрахунок вітрогенератора (зворотна задача).

При якій швидкості вітру вітроустановка генеруватиме кількість енергії, достатню для забезпечення енергією середнього котеджного будиночка при радіусі ротора R м, коефіцієнті використання вітру – ξ ; ККД редуктора – $\eta_{ред}$; ККД генератора – $\eta_{ген}$.

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: вітроустановка з радіусом ротора $R=2,2$ м та її потужність дорівнює $P=3$ кВт, з коефіцієнтом використання вітру $\xi=0,5$, ККД редуктора – $\eta_{ред}=0,83$; ККД генератора – $\eta_{ген}=0,9$

1. Потужність турбіни складає:

$$P_m = \frac{P}{\eta_{ред} \eta_{ген}} = \frac{3}{0,83 \cdot 0,9} \approx 4,0 \text{ кВт}$$

2. Потужність потоку обчислюється за формулою:

$$P_n = \frac{P_m}{\xi} = \frac{4,0}{0,5} = 8 \text{ кВт}$$

3. Необхідна швидкість вітру:

$$V = \sqrt[3]{\frac{2P_n}{\pi \rho R^2}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 8 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1,225 \cdot 2,2^2}} \approx 9,5 \text{ м/с}$$

4.2.3. Розрахунок параметрів вітрової електростанції.

Визначити потужність вітрової електростанції, n однотипних вітроенергетичних установок. Довжина лопаті вітроколеса L , швидкість вітру V , ККД вітродвигуна $\eta_в$, електричний ККД установки (генератора і перетворювача) η_e , температура повітря t , атмосферний тиск p .

Вітровий потік, що проходить через площу F , що проходить через лопаті

вітродвигуна, має енергію:

$$E = \frac{mV^2}{2}, \text{ Дж} \quad (4.4)$$

де V – швидкість вітру, м/с;

m – маса повітря.

За секунду через площу F протікає $m = \rho VF$ кг/с, де $\rho = \frac{p}{RT}$ – щільність повітря, кг/м³, p – атмосферний тиск, Па, $R=287$ Дж/кг·К – газова постійна, T – абсолютна температура, К. Площа F визначається через довжину лопаті L вітроколеса: $F=\pi L^2$. Відповідно електрична потужність ВЕУ визначається за формулою:

$$P = \frac{n\eta_e\eta_g\rho\pi L^2V^3}{2}, \text{ Вт} \quad (4.5)$$

де η_g – ККД вітродвигуна (змінюється в межах 0,25-0,35)

η_e – електричний ККД вітрогенератора і перетворювача (в межах 0,70-0,85).

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Вихідні данні для розрахунку параметрів вітрової електростанції

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n , шт	8	9	10	11	12	11	10	9	8	7
L , м	55	57	59	61	63	66	69	72	75	78
V , м/с	12	11	10	9	12	14	16	18	20	18
η_g , %	31	32	33	34	33	32	33	34	33	34
η_e , %	73	74	75	76	78	77	76	77	78	79
t , °С	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
p , кПа	100	101	102	101	100	99	98	97	99	101

Розв’язання. Приймаємо наступні умови: $n=10$ однотипних вітроенергетичних установок. Довжина лопаті вітроколеса $L=66$ м, швидкість вітру $V=12$ м/с, ККД вітродвигун $\eta_g=0,33$, електричний ККД установки (генератора і перетворювача) $\eta_e=0,77$, температура повітря $t=5$ °С, атмосферний тиск $p=99$ кПа.

1. Щільність повітря:

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{99 \cdot 10^3}{287 \cdot (273,15 + 5)} \approx 1,24 \text{ кг/м}^3$$

2. Електрична потужність ВЕУ визначається за формулою:

$$P = \frac{n\eta_g\eta_e\rho\pi L^2V^3}{2} = \frac{10 \cdot 0,33 \cdot 0,77 \cdot 1,24 \cdot 3,14 \cdot 66^2 \cdot 12^3}{2} \approx 37,2 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення терміну «вітрогенератор».
2. Наведіть класи систем вітрогенераторів.
3. Охарактеризуйте переваги та недоліки кожного типу вітрогенераторів.
4. Опишіть принцип роботи віротурбін.
5. Опишіть принципи вибору місця розташування вітроустановок на місцевості.
6. Опишіть основні елементи вітродвигуна.
7. Які основні параметри ВЕУ?
8. Наведіть методику визначення параметрів ВЕУ.