

Лабораторна робота № 4

Розробка імітаційних моделей обладнання, розрахованого на генерацію теплової та/або електричної енергії з використанням відновлених та викопних джерел енергії.

1. Розробка імітаційної моделі діючої вітряної електростанції.

Завданням роботи є створення математичної моделі для розрахунку потужності вітроелектростанції на основі даних швидкості вітру, температури навколишнього середовища, висоти встановлення установки та її технічних характеристик (Таблиці 1 і 2).

Передбачити:

- підключення до сервісів прогнозу погоди з використанням даних по швидкості вітру та температури для розрахунку потужності повітряного потоку;
- можливість додавання в програму інших типів вітроелектростанцій з задаванням їх характеристик в табличній формі в діапазоні зміни швидкостей вітру, характерних для цих генераторів (максимальний діапазон 0...40 м/с) та зберіганням інформації по всіх варіантах;
- розрахунок потужності вітроелектростанції та прогнозу виробництва електроенергії за вказаний період часу.

Таблиця №1 Середня швидкість вітру по обласним центрам у 2023 році

Місяць	Середня швидкість вітру, м/с							
	Запоріжжя	Київ	Житомир	Одеса	Львів	Івано-Франківськ	Рівне	Дніпро
1.2023	2.3	2.3	2	3.9	2.6	2.2	4.1	4.1
2.2023	1.8	2.7	1.9	2.9	3.3	3.6	5	3.7
3.2023	1.8	2.5	2	2.6	3.1	2.9	4.5	3.3
4.2023	2	1.9	1.7	2.8	2.3	2.8	3.6	3.5
5.2023	1.2	1.9	1.3	1.9	2.3	2.6	3.2	2.2
6.2023	1.4	1.6	1.3	1.9	1.9	2.1	3.3	3
7.2023	1.4	1.6	1.2	2.3	1.8	2.2	2.9	3.2
8.2023	1.2	1.1	0.9	1.8	1.8	1.8	2.6	2.8
9.2023	1.3	1	0.4	2.1	1.5	1.3	2.5	2.5
10.2023	1.3	2	1.5	2.2	2.6	2.2	4.3	3.9
11.2023	2.3	2.6	2.1	3.9	3	2.5	4.8	4.6
12.2023	2.3	2.3	2.4	2.7	3.3	2.3	5.4	4.4

Таблиця №2 Середня температура по обласним центрам України у 2023 році

Місяць	Середня температура, °C							
	Запоріжжя	Київ	Житомир	Одеса	Львів	Івано-Франківськ	Рівне	Дніпро

1.2023	+0.2	-0.3	+0.6	+3	+1.9	+1.8	+0.9	-1.1
2.2023	-0.3	-0.3	-0.2	+2.4	-0	+0.6	-0.4	-1
3.2023	+5.9	+4.8	+4.7	+6.2	+4.6	+4.9	+3.9	+5.5
4.2023	+10.7	+9.6	+8.7	+10	+7.8	+7.6	+7.7	+10.3
5.2023	+16.5	+16.2	+15.1	+16.6	+14	+14	+14.2	+16.4
6.2023	+20.8	+19.6	+18.9	+21.3	+17	+17.3	+17.9	+20.3
7.2023	+23.7	+21.5	+20.8	+23.8	+19.6	+20.4	+20	+23
8.2023	+25	+23.8	+22.8	+25.3	+20.9	+21.1	+21.5	+24.3
9.2023	+20.1	+18.8	+18	+21.4	+17.1	+17.1	+17.8	+19.3
10.2023	+12.4	+11.4	+11.5	+16.2	+11.1	+11.9	+11.3	+11.9
11.2023	+6.4	+4.1	+3.8	+8.4	+3.8	+4.3	+3.1	+5.3
12.2023	+2.6	+0.7	+1.1	+4.7	+1.3	+1.1	+0.4	+1.6

Теоретичні матеріали.

Існує багато варіантів вітряних електростанцій (рис.1), які забезпечують перетворення енергії вітру в електричну енергію або використовуються в вимірюваннях.



а)



б)



в)



г)

Рис.1. Вітрогенератори різних типів: а) з горизонтальним розташуванням ротору; та з вертикальним розташуванням ротору: б) Ротор Савоніуса; в) Ротор Дар'є; г) з чашковим ротором

Обґрунтовано вважається, що генератори з вертикальним розташуванням ротору мають перевагу в умовах низької швидкості вітру. Для вітрогенераторів з горизонтальним розташуванням ротору бажана швидкість вітру 5 м/сек і вище.

Потужність вітрогенератора залежить від потужності повітряного потоку P , яка визначається залежністю,

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

де ρ – щільність повітря, кг/м³, яка визначає вагу 1 м³ повітря.
 A – площа перетину ротора вітроустановки, м²;
 v – швидкість руху повітряного потоку, м/с.

Для горизонтально-осьових генераторів $A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$;

Для вертикально-осьових генераторів $A = D \cdot H$;

де D – діаметр лопатей генератора, м;
 H – висота лопатей вертикально-осьових генераторів, м.

Щільність повітря залежить від температури та тиску

$$\rho = M \cdot P / (R \cdot T),$$

де P – тиск газу, кПа (101,115 кПа - нормальні умови); R - універсальна газова константа $R=8,314$ (Дж/(К·моль)), T – температура, К, M - маса моля, яка дорівнює 29 г/моль. Вплив температури та тиску враховується при розрахунку потужності повітряного потоку.

Залежність потужності вітряних електростанцій від швидкості вітру має нелінійний характер (рис.2.). Виходячи з механічних характеристик лопатей швидкість обертів ротора електростанції обмежується. В наведеному на рис.2 графіку обмеження організоване при швидкості 15 м/с і вище.

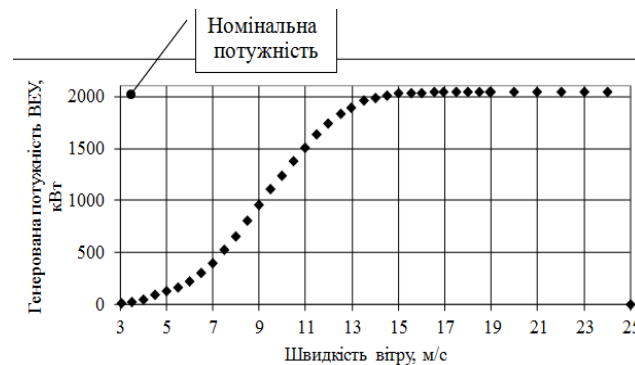


Рис.2. Приклад графіку залежності потужності вітроелектростанції від швидкості вітру за нормальних умов.

Електрична потужність вітрогенератора розраховується з урахуванням коефіцієнта використання енергії вітру. Для вітрогенераторів з горизонтальним розташуванням ротору цей коефіцієнт $K_{\text{еф}}$ орієнтовно становить 0,4, для установок з вертикальним ротором – 0,3. Таким чином, вітроелектростанція генерує електричну енергію $P_{\text{ел}}$, яка визначається за формулою:

$$P_{\text{ел}} = P \cdot K_{\text{еф}}$$

і вимірюється в ватах.

2. Завданням роботи є створення програми для розрахунку експлуатаційних показників електро/теплогенеруючого обладнання на основі його паспортних характеристик та якісних показників вхідного палива.

Передбачити проведення розрахунку для типів обладнання:

- котел,
- когенераційна установка,
- тепловий насос,
- рекуперативний теплообмінник.

Вхідні дані для розрахунку агрегатів.

В якості палива використовуються:

- природний газ, $Q_{\text{н}}^{\text{п}}=9,5$ кВт·год/м³,
- вугілля, $Q_{\text{н}}^{\text{п}}=7$ кВт·год/кг,

- пелети з деревини $Q_H^p = 4,2 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг}$,
- дизельне паливо $Q_H^p = 12 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{л}$.

Теплові агрегати характеризуються:

1. **Котел. Вхідні данні:** ККД використання палива η_k (80...92%), витрата палива $M_{\text{п}}$ (кг/год, м³/год, л/год) (5...20), витрата теплоносія через котел V_v (кг/год) (500....3000), температура води на вході в котел $T_{\text{вх}}$.

Задача - визначення потужності котлоагрегата, Q , кВт (5...20), температури на виході з котла $T_{\text{вих}}$ та різниці між вхідною та вихідною температурами ΔT .

Енергія палива витрачається на виробництво теплової енергії

$$Q_k = M_{\text{п}} \cdot Q_H^p \cdot \eta_k / 100$$

Температура води після нагрівання її в котлі зростає з початкової $T_{\text{вх}}$ до

$$T_{\text{вих}} = T_{\text{вх}} + 3600 \cdot Q_k / (4,187 \cdot V_v)$$

Вхідними даними для розрахунку котла є:

- витрати палива протягом години;
- тип палива;
- ККД котла;
- витрати теплоносія в системі опалення;
- температура теплоносія на вході в котел.

Результат розрахунку: потужність котла, температура теплоносія після нагріву води в котлі.

2. **Когенераційна установка. Вхідні данні:** витрата палива $M_{\text{п,кгу}}$ (м³/год, л/год) (5...20), витрата теплоносія через когенераційну установку $V_{\text{в,кгу}}$ (кг/год) (500....3000), температура води на вході в теплообмінник когенераційної установки $T_{\text{вх}}$, ККД виробництва електричної ($\eta_{\text{кгу.е.}} = 35...44\%$) та теплової ($\eta_{\text{кгу.т.}} = 40...45\%$), енергії,

Задача - визначити потужність когенераційної установки електричну - $N_{\text{кгу.е.}}$ кВт
 потужність когенераційної установки тепла - $Q_{\text{кгу.т.}}$ кВт
 температуру на виході з теплообмінника когенераційної установки $T_{\text{вих}}$ та різниці між вхідною та вихідною температурами ΔT

Енергія палива витрачається на виробництво теплової та електричної енергій

$$N_{\text{кгу.е.}} = M_{\text{п,кгу}} \cdot Q_H^p \cdot \eta_{\text{кгу.е.}} / 100$$

$$Q_{\text{кгу.т.}} = M_{\text{п,кгу}} \cdot Q_H^p \cdot \eta_{\text{кгу.т.}} / 100$$

Температура води після нагрівання її в утилізаторі когенераційної установки зростає з початкової $T_{\text{вх}}$ до

$$T_{\text{вих}} = T_{\text{вх}} + 3600 \cdot Q_{\text{кгу.т.}} / (4,187 \cdot V_{\text{в,кгу}})$$

3. **Тепловий насос:**

Вхідні данні:

- електрична потужність насоса - $N_{\text{т.н.}}$, кВт,
- температура холодного джерела теплової енергії (скидні теплові потоки, геотермальний теплоносії) навколишнього середовища;
- таблиця залежності коефіцієнту трансформації теплового насоса від різниці температур навколишнього середовища і кінцевої температури води на виході з теплообмінника теплового насоса, яка створюється з використанням графічних даних рис.3 ;

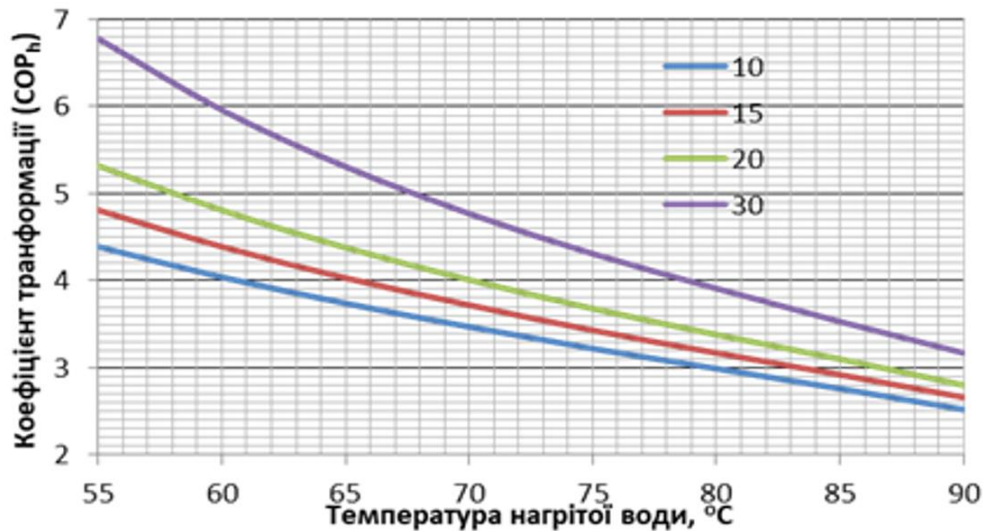


Рис.3. Коефіцієнт трансформації енергії (COP) в залежності від температури холодного джерела (скидного потоку води/ геотепла зі скважин) і температури нагріву води.

- температура води на вході в тепловий насос $T_{вх}$ (30...40°C);
- задана температура нагріву води $T_{вих}$ (50...65°C).

Задача - визначити теплову потужність теплового насосу

$$Q_{т.н.} = N_{т.н.} \cdot \varepsilon_{т.н.},$$

визначити витрату теплоносія, що нагрівається в теплообміннику теплового насосу:

$$V_v = 3600 \cdot Q_{т.н.} / ((T_{вих} - T_{вх}) \cdot 4,187)$$

4. Рекуперативний теплообмінник:

Вхідні данні:

- ККД рекуператора $\eta_{рек.}$ (85....90%),
- температура повітря в приміщенні $T_{пов.пр.}$,
- температура навколишнього середовища $T_{н.с.}$ (з прогнозу погоди),
- кількість людей, що проживає в помешканні;
- нормативний повітряобмін на 1 людину.

Об'єм повітря $V_{пов.}$, яке необхідно подавати в приміщення для забезпечення життєдіяльності людей визначається з розрахунку

$$V_{пов.} = n \cdot V_{норм.},$$

де n - кількість людей, що проживає в помешканні, $V_{норм.}$ - нормативний повітряобмін на одну людину $m^3/год$.

Теплова енергія, яка необхідна для компенсації енергії, що втрачається під час видалення відпрацьованого повітря з приміщення $\Delta Q_{пов.}$, з допустимою похибкою, викликаною зміною щільності повітря під час зміни його температури, розраховується з використанням залежності:

$$\Delta Q_{пов.} = c_p \cdot (T_{пов.пр.} - T_{н.с.}) \cdot V_{пов.} / 3600,$$

де c_p – теплоємність повітря, $c_p = 1 \text{ кДж}/(m^3 \cdot K)$.

Тепловий потік, який компенсується рекуператором становить:

$$Q_{рек} = \Delta Q_{пов.} \cdot \eta_{рек.} / 100,$$

Теплова енергія, яку необхідно витратити для підігріву повітря до рівня температури в приміщенні у випадку використання рекуператора теплової енергії $Q_{нагр}$ становить

$$Q_{нагр} = \Delta Q_{пов.} - Q_{рек},$$

$$T_{\text{вих Н.С.}} = T_{\text{вх Н.С.}} + 3600 \cdot Q_{\text{нагр.}} / V_{\text{ПОВ}}$$

$$T_{\text{вих}} = T_{\text{вх}} - 3600 \cdot Q_{\text{нагр.}} / V_{\text{ПОВ}}$$

Задача - визначити нормативний повітряобмін для даного помешкання, м³/год
 теплову потужність рекуператора, кВт,
 зменшення споживання теплової енергії на підігрів повітря за рахунок
 рекуператора, кВт.
 температуру видаленого з приміщення повітря після проходження через
 рекуператор, °С;
 температуру повітря, що подано в кімнату з навколишнього середовища через
 рекуператор, °С.

В рамках виконання лабораторної роботи визначити

1. Потужність вітрових електростанцій з вертикальним і горизонтальним ротором з заданою площею перетину (орієнтир 5....20 м²), створивши інтерфейс, який дозволяє змінювати площу перетину вітрогенератора та місто, для якого проводиться розрахунок. В результатах представити інформацію про вихідні дані та помісячні і річний об'єми згенерованої електричної енергії в кВт*год
2. Результиуючі показники по розрахунку котла/генератора/теплового насосу, рекуператора. Представити вихідні данні і результати розрахунку.