

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та  
природокористування

Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою  
Кафедра екології, технології захисту навколишнього  
середовища та лісового господарства

**05-02-379М**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання практичних робіт  
з навчальної дисципліни

**«Відновлювальні джерела енергії»**

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня  
за освітньо-професійною програмою «Технології захисту  
навколишнього середовища» спеціальності 183 «Технології  
захисту навколишнього середовища»  
денної та заочної форми навчання

Рекомендовано  
науково-методичною радою  
з якості ННІАЗ  
Протокол № 1 від 29.08.2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Відновлювальні джерела енергії» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища» спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» денної та заочної форми навчання [Електронне видання] / Варжель О. В., Вознюк Н. М. – Рівне : НУВГП, 2023. – 31 с.

Укладачі: Варжель О. В., д. філософії, старший викладач кафедри землеустрою, моніторингу, кадастру та геоінформатики; Вознюк Н. М., к. с.-г. н., доцент, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства

Відповідальний за випуск: Клименко М. О., д. с.-г. н., професор, завідувач кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства.

Керівник групи забезпечення спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Прищеп А. М.

© О. В. Варжель,  
Н. М. Вознюк, 2023  
© НУВГП, 2023

## ЗМІСТ

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1 .....	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2 .....	9
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3 .....	12
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4 .....	17
ПРАКТИЧНА РОБОТА №5 .....	21
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6 .....	23
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7 .....	29
ЛІТЕРАТУРА.....	31

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

**Тема:** Обґрунтування потреб житлового будинку у електроенергії тапошук шляхів її економії

**Мета:** навчитися розраховувати потреби житлового будинку у електроенергії та знаходити способи її економії

### Завдання

1. Провести розрахунки: максимальних добових (пікових), середньодобових та середньомісячних потреб житлового будинку в електроенергії:

1) для **аварійного режиму** – за якого забезпечується мінімально необхідне постачання електроенергії для того, щоб життєво необхідні системи будинку не вийшли з ладу (щоб працював водяний насос, насос системи опалення, холодильник та 1-2 освітлювальних прилади);

2) для **базового режиму** – за якого забезпечується необхідне постачання електроенергії для того, щоб будинок функціонував та його жителі економно використовували енергію (без зайвих витрат);

3) для **комфортного режиму** – за якого забезпечується усі можливі потреби мешканців будинку та його систем у електроенергії.

2. Розв'язати задачі прикладного характеру.

3. Запропонувати способи та методи економії електроенергії для житлового будинку.

### Хід роботи

1. Розрахунки потреб житлового будинку у електроенергії проводимо у формі таблиць 1.1-1.3. За основу розрахунків беремо потужність приладів, Вт, які передбачається експлуатувати для кожного режиму електрозабезпечення (потужність вказано на звороті приладу (на клейкій етикетці) чи у паспорті приладу) та тривалість їхньої роботи в середньому за добу.

2. Максимально добове (пікове) енергоспоживання – така кількість електроенергії, яка споживається у випадку одночасної роботи усіх приладів, які передбачено вмикати за того чи ін. режиму енергозабезпечення.

Таблиця 1.1

## Проектна місячна потреба будинку у електроенергії в аварійному режимі електроспоживання

№	Споживач	Потужність, Вт	Тривалість роботи, год/добу	Днів	Витрата електроенергії замісяць, Вт-год/ місяць
1	Лампи енергозберігаючі (8*10Вт)	80		30	
2	Тепловий насос	5000			
3	Котел газовий із вбудованим насосом	100			
4	Насос глибинний	500			
5	Холодильник	450			
<b>Максимальна пікова потужність <math>P_{max}</math>, Вт</b>					
<b>Середньодобове споживання електроенергії <math>P_{сер. доб}</math>, Вт/добу</b>					
<b>Середньомісячне споживання електроенергії <math>P_{сер. міс.}</math>, кВт/міс.</b>					

Таблиця 1.2

## Проектна місячна потреба будинку у електроенергії у базовому режимі електроспоживання

№	Споживач	Потужність, Вт	Тривалість роботи, год/добу	Днів	Витрата електроенергії за місяць, Вт год/місяць
1	Лампи енергозберігаючі (8*10Вт)	80			
2	Котел газовий із вбудованим насосом	90			
3	Тепловий насос	5000			
4	Насос глибинний	500			
5	Холодильник	450			
6	Ноутбук	80			
7	Телевізор	150			
8	Порохотяг	1500			
9	Праска	1500			
10	Пральна машина (режим нагріву)	2000			
11	Електроінструмент	1000			
12	Кухонний комбайн	700			
<b>Максимальна пікова потужність <math>P_{max}</math>, Вт</b>					
<b>Середньодобове споживання електроенергії <math>P_{сер. доб}</math>, Вт/добу</b>					
<b>Середньомісячне споживання електроенергії <math>P_{сер. міс.}</math>, кВт/міс.</b>					

Таблиця 1.3

**Проектна місячна потреба будинку у електроенергії у комфортному режимі  
електроспоживання**

№	Споживач	Потужність, Вт	Тривалість роботи, год/добу	Днів	Витрата електроенергії за місяць, Вт-год/місяць
1	Лампи енергозберігаючі(8*10Вт)	80			
2	Котел газовий із вбудованим насосом	90			
3	Тепловий насос	5000			
4	Насос глибинний	500			
5	Холодильник	450			
6	Ноутбук	80			
7	Телевізор	150			
8	Порохотяг	1500			
9	Праска	1500			
10	Пральна машина (режим нагріву)	2000			
11	Електроінструмент	1000			
12	Кухонний комбайн	700			
13	Мікрохвильова річ	2000			
14	Електрочайник	2000			
15	Фен	1500			
16	Комп'ютер персональний	350			
17	Принтер струменевий	200			
18	Вентилятор	150			
<b>Максимальна пікова потужність <math>P_{max}</math>, Вт</b>					
<b>Середньодобове споживання електроенергії</b> $P_{сер. доб}$ , Вт/добу					
<b>Середньомісячне споживання електроенергії <math>P_{сер. міс.}</math>, кВт/міс.</b>					

**3. Задачі прикладного характеру:**

*Задача 1.* Встановіть величину 100%-забезпечення електроенергією будинку в години пікових навантажень, якщо в ці години одночасно працюють такі електроприлади:

- лампи енергозберігаючі – 80 Вт/год – 5 шт,
- насос глибинний – 400 Вт/год – 1 шт, холодильник – 480 Вт/год – 1 шт,
- ноутбук – 85 Вт/год – 2 шт,
- телевізор – 130 Вт/год – 2 шт,
- пральна машина – 2200 Вт/год – 1 шт,
- мікрохвильова піч – 1700 Вт/год – 1 шт.

*Задача 2.* Оцініть величину середньомісячної економії електроенергії від заміни 8 ламп розжарювання потужністю 50 Вт/год на 8 LED ламп потужністю 5 Вт/год, якщо лампи в обох випадках працюють по 6 год/добу щоденно:

- a) 65 кВт/місяць;
- b) 75 кВт/місяць;
- c) 108 кВт/місяць;
- d) 84 кВт/місяць;
- e) 124 кВт/місяць.

*Задача 3.* Вкажіть величину пікового енергонавантаження будинку за 1 годину, якщо будуть працювати такі електроприлади: лампи освітлення – 10 шт потужністю кожної 10 Вт/год, мікрохвильова піч – 1 шт потужністю 1500 Вт/год, порохотяг – 1 шт потужністю 1500 Вт/год, електроплита – 1 шт потужністю 2000 Вт/год:

- a) 2000 Вт/год;
- b) 2775 Вт/год;
- c) 4500 Вт/год;
- d) 2775 Вт/год;
- e) 5100 Вт/год;
- f) 3500 год.

**Задача 4.** Оцініть величину середньомісячного (30 діб=4 тижні) енергоспоживання пральною машиною, якщо її середня потужність 2500 Вт/год, час роботи – 3 год 5 разів на тиждень:

- a) 150 кВт/місяць
- b) 72 кВт/місяць
- c) 120 кВт/місяць
- d) 200 кВт/місяць
- e) 20 кВт/місяць.

### **Питання для самоперевірки**

- 1. На основі яких показників встановлюється потреба будинку в електроенергії?
- 2. Як розрахувати пікове (максимальне) енергонавантаження на житловий будинок?
- 3. Які способи енергозбереження ви використовуєте у своїй оселі?

### **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2**

**Тема:** Обґрунтування мінімального перерізу магістрального кабелю електроживлення. Пошук методів та способів економії електроенергії для житлового будинку

**Мета:** навчитися розраховувати мінімальний переріз магістрального кабелю електроживлення та знаходити методи і способи економії електроенергії

#### **Завдання**

- 1. Розрахувати мінімально необхідний переріз магістрального кабелю електроживлення, який забезпечуватиме будинок у електроенергії (із мідного / алюмінієвого дроту).
- 2. Знайти способи та методи економії електроенергії для житлового будинку.
- 3. Розв'язати задачі прикладного спрямування.

#### **Хід роботи**

- 1. На основі попередньо проведених розрахунків потреб житлового будинку у електроенергії для комфортного режиму енергоспоживання і саме для пікового навантаження на мережу

(коли буде увімкнено всі побутові прилади) проводимо розрахунок мінімально необхідного перерізу магістрального кабелю електроживлення.

За основу розрахунків беремо потужність приладів (Вт), які передбачається експлуатувати для кожного режиму електрозабезпечення (потужність вказано на звороті приладу (на клейкій етикетці) чи у паспорті приладу) та тривалість їхньої роботи в середньому за добу.

Максимально добове (пікове) енергоспоживання – така кількість електроенергії, яка споживається у випадку одночасної роботи усіх приладів, які передбачено вмикати за того чи іншого режиму електрозабезпечення.

Пікове енергоспоживання комфортного режиму необхідне для обґрунтування перерізу (потужності) магістрального кабелю електрозабезпечення та обґрунтування сумарної необхідної потужності відновлювальних джерел енергії, які забезпечуватимуть електроенергією наш будинок.

Обґрунтування мінімально необхідного перерізу магістрального кабелю електроживлення, який забезпечуватиме будинок у електроенергії здійснюємо за величиною пікової (максимальної добової) потужності приладів, які передбачено експлуатувати у будинку. До цієї величини додаємо 15...20%.

Виходячи із формули електричної потужності змінного струму (1), знаходимо силу струму (2), яка пройдётиме через магістральний кабель під час пікового енергоспоживання (за пікової електричної потужності):

$$W = U \times I, \text{Вт} \quad (2.1)$$

$$I = \frac{W}{U} \quad (2.2)$$

Маючи силу струму, для якої і підбираємо переріз магістрального кабелю згідно табл.Б1 і Б2 (для напруги 220 V та 380 V).

**2.** Пошук способів та методів економії електроенергії для житлового будинку здійснюємо шляхом аналізу:

1) приладів, які експлуатуються у будинку:

– ламп освітлення та їхнього типу, їхніх характеристик, норм освітлення у жилих приміщеннях – знаходимо більш енергоефективні на заміну;

– побутової техніки: клас енергоспоживання, знаходимо на заміну більш енергоефективні прилади (наприклад, пральна машина, холодильник, порохотяг);

2) режимів енергоспоживання (тарифів оплати за енергоспоживання в денний та нічний час – знаходимо, які прилади можна перевести на нічний час роботи), розглядаємо можливість застосування таймерів;

3) загальних обсягів енергоспоживання (аналізуємо тарифи оплати за електроенергію до 100 кВт/міс, понад 100 кВт/міс).

## ДОДАТКИ

Таблиця Б. 1

### Вибір перерізу мідних проводів і кабелю в залежності від струму і потужності

Переріз жили, кв. мм	Напруга, 220 В		Напруга, 380 В	
	струм, А	потужність, кВт	струм, А	потужність, кВт
1,5	19	4,1	16	10,5
2,5	27	5,9	25	16,5
4	38	8,3	30	19,8
6	46	10,1	40	26,4
10	70	15,4	50	33,0
16	85	18,7	75	49,5
25	115	25,3	90	59,4
35	135	29,7	115	75,9
50	175	38,5	145	95,7
70	215	47,3	180	118,8
95	260	57,2	220	145,2
120	300	66,0	260	171,6

Таблиця Б. 2

**Вибір перерізу алюмінієвих проводів і кабелю в залежності від струму і потужності**

Переріз жили, кв. мм	Напруга, 220 В		Напруга, 380 В	
	струм, А	потужність, кВт	струм, А	потужність, кВт
2,5	20	4,4	19	12,5
4	28	6,1	23	15,1
6	36	7,9	30	19,8
10	50	11,0	39	25,7
16	60	13,2	55	36,3
25	85	18,7	70	46,2
35	100	22,0	85	56,1
50	135	29,7	110	72,6
70	165	36,3	140	92,4
95	200	44,0	170	112,2
120	230	50,6	200	132,0

**Питання для самоперевірки**

1. Від яких параметрів залежить мінімальний необхідний переріз магістрального кабелю електроживлення?
2. За допомогою яких показників можна здійснити вибір способів та методів економії електроенергії?
3. Для чого потрібне розрахунок пікового навантаження?

**ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3**

**Тема:** Обґрунтування теплозабезпечення будинку фермера за допомогою теплового насоса

**Мета:** обґрунтувати теплозабезпечення будинку за допомогою теплового насоса

**Завдання**

1. Розрахувати потужність теплового насоса.
2. Розрахувати додаткове теплове навантаження на підігрів води та вентиляцію будинку.
3. Обґрунтувати розміри теплообмінника із вертикальним

зондом.

4. Розрахувати додаткове джерело теплозабезпечення.

### Хід роботи

#### Тепловий насос

Тепловий насос передбачається з метою забезпечення будинку теплом. Теплообмінний теплового насосу будинку знаходиться у ґрунті і розташований горизонтально, оскільки площі прибудинкової території є достатніми (>0,15 га).

Потужність теплового насосу для будинку розраховується за формулою:

$$Q = k \times V \times \Delta T, \quad (3.1)$$

де  $k$  – загальний коефіцієнт теплопередачі будівлі (для будівель стандартної кладки цегли у 2 шари становить 1-2);  $V$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;  $\Delta T$  – максимальний перепад між температурою повітря, ззовні та всередині, приміщення в зимовий час.

Максимальний перепад між температурою  $\Delta T$  визначається за формулою:

$$\Delta T = T_{\text{пр}} - T_{\text{пов}}, \quad (3.2)$$

Для продовження роботи теплового насосу і збільшення його довговічності необхідно, щоб теплоносієм акумулювався у буферній ємності.

Об'єм буферної ємності залежить від кількості тактів теплового насосу, яка становить 3,5 разів/год.

Для 3 тактів ( $v_{3T}$ ) на 1кВт потрібно 30 л теплоносія:

$$V_{B_{3T}} = Q \times V_{3T}, \quad (3.3)$$

Для 5 тактів ( $v_{5T}$ ) – 20 л/кВт теплоносія:

$$V_{B_{5T}} = Q \times V_{5T}, \quad (3.4)$$

Об'єм буферної ємності, виходячи з розрахунків, приймаємо 1500 м<sup>3</sup>.

Розраховуємо потужність ґрунтового теплообмінника, який закладаємо горизонтально у траншеї на мінімальну глибину, яка дорівнює 2 глибинам промерзання ґрунту.

Оскільки у нашій місцевості максимальна глибина промерзання ґрунту дорівнює 0,9 м, то мінімальна глибина закладання труб теплообмінника становитиме 4 м. В проекті приймаємо 5 м.

$$Q_{\text{ГТ}} = Q \frac{(\text{COP} - 1)}{\text{COP}}, \quad (3.5)$$

де COP – коефіцієнт трансформації, розраховується залежно від характеристик теплоносія:

$$\text{COP} = \frac{Q_h}{n} \quad (3.6)$$

За температуру теплоносія (антифризу) приймаємо  $-10^\circ \text{C}$ , тоді  $\text{COP} = 2,35$ .

Для підігріву води на побутові потреби додаткове тепло навантаження розраховуємо за формулою:

$$Q_{\text{дод}}^{\text{в/п}} = N * q_{\text{Твод}}, \quad (3.7)$$

де  $N$  – кількість людей, що живе в будинку (приймаємо за 3);  $q_{\text{Твод}}$  – питоме додаткове теплове навантаження на 1 людину, для підігріву води.

При витратах гарячої води  $T = 45^\circ \text{C}$ ,  $V = 30\text{-}60$  л/добу,  $q_{\text{Твод}} = 0,15\text{-}0,30$  кВт/люд.

Додаткове навантаження на роботу системи газу вентиляції розраховуємо за формулою:

$$Q_{\text{дод}}^{\text{вент}} = \frac{L}{3600} * \rho * c * (t_{\text{л}} - t_{\text{з}}), \quad (3.8)$$

де  $L$  – об'ємна продуктивність системи вентиляції,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  $\rho$  –

густина повітря (1,2) кг/м<sup>3</sup>; с – ізобарна теплоємність повітря (1000) Дж/кг\*С;  $t_{л}$  – літня температура (20-26`С);  $t_{з}$  – зимова температура (-20-(-15)° С).

Приймаємо умову, що весь об'єм повітря у приміщенні (600 м<sup>3</sup>) проходить систему вентиляції за 3 год, тоді об'ємну продуктивність системи вентиляції розраховуємо так:

$$L = V * T_{\text{вент}} \quad (3.9)$$

Загальна потужність теплового насосу визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{заг}} = Q + Q_{\text{дод}}^{\text{в/п}} + Q_{\text{дод}}^{\text{вент}}, \quad (3.10)$$

Робимо поправку на потужність ґрунтового теплообмінника, який забезпечить роботу систем обігріву, гарячого водопостачання та вентиляції, за формулою:

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{заг}} = \frac{Q_{\text{ТН}}^{\text{заг}}(\text{COP}-1)}{\text{COP}}, \quad (3.11)$$

Враховуючи дуже велику потужність теплового насосу (60,4 кВт) та прогнозу високу вартість системи теплообмінника, а також ті умови, що на території фермерського господарства буде запроєктовано біогазів комплекс, який може постачати біогаз для додаткового обігріву будинку фермера, проектну потужність теплового насосу зменшуємо у 3 рази, таким чином, щоб  $Q_{\text{ТН}}^{\text{заг}}$  не було більшим за 20 кВт.

Відповідно проводимо перерахунок проектної потужності ґрунтового теплообмінника горизонтальної конфігурації:

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{ПР}} = \frac{Q_{\text{ТН}}^{\text{заг}-\text{ПР}}(\text{COP}-1)}{\text{COP}}, \quad (3.12)$$

Проводимо розрахунок трубопроводів горизонтального теплообмінника, який будемо закладати в траншеї глибиною 5м.

$$L = \frac{Q_{\text{заг}}^{\text{ТН}}}{q_{\text{пит}}^{\text{ГР}}}, \quad (3.13)$$

де  $q_{\text{пит}}^{\text{ГР}}$  – величина питомого теплотривою (тепловіддачі) 1 м ґрунту (для суглинку важкого становить 40-50 Вт/м).

Для горизонтальних теплообмінників величина тепловіддачі із ґрунту залежить від глибини занурення теплообмінника і становить 50-80 Вт/м.

Оскільки геологічних вишукувань не проводилось, то приймаємо величину теплотривою для 1 м теплообмінника з вертикальним зондом 55 Вт/м ( $q_{\text{пит}}^{\text{ГР}}$ ).

Розрахунок трубопроводів горизонтального теплообмінника із вертикальним зондом:

$$L_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{ГН}}^{\text{ПР}}}{q_{\text{пит.в.}}^{\text{ГР}}}, \quad (3.14)$$

Приймаємо допустиму глибину буріння виходячи із геологічних умов  $h_{\text{доп}} = 30-40\text{м}$ ;  $h_{\text{доп}}^{\text{ПР}} = 35\text{ м}$ .

Тоді глибина кожної свердловини становить 35 м, і в кожній свердловині можна розмістити 70 м теплообмінника.

Тоді проектна кількість свердловин розраховується так:

$$N_{\text{св}} = \frac{L_{\text{в}}}{l_{\text{в}}} \quad (3.15)$$

Оскільки обігрів будинку у найбільш холодний період року потребує великих втрат тепла, із врахуванням нагріву води і системи вентиляції, які еквівалентні 60,4 кВт, а проектна потужність ТН 20 кВт, ми маємо недотримання тепла для потреб будинку, яке визначається так:

$$\Delta Q = Q_{\text{ТН}}^{\text{заг}} - Q_{\text{ТН}}^{\text{заг-ПР}}, \quad (3.16)$$

## Питання для самоперевірки

1. Що являє собою тепловий насос (з чого складається та як забезпечує отримання тепла)?
2. Яким чином тепловий насос забезпечує температуру теплоносія на рівні 50 0 С?
3. На основі яких показників встановлюється потреба будинку в тепловій енергії?
4. Які показники потрібно знати, щоб встановити довжину теплообмінника теплового насосу?

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

**Тема:** Обґрунтування типу та технічно досяжної потужності вітрогенератора

**Мета:** навчитися обґрунтовувати тип вітрогенератора та встановлювати його технічно досяжну потужність залежно від швидкості вітру території

### Завдання

1. Розрахувати потужність одного вітрогенератора згідно вихідних даних.
2. Встановити необхідну кількість вітрогенераторів для забезпечення потреб житлового будинку у електроенергії (для базового режиму енергоспоживання, див. практичну роботу № 1).
3. Розв'язати 2 задачі (в кінці практичної роботи).

Враховуючи те, що вітрогенератора забезпечують понад 90% потреб електроенергії взимку, то необхідна потужність вітрогенератора приймається така ж, як і потужність сонячної електростанції, із поправкою на те, що вітер дме протягом усієї доби зі швидкістю, яка дорівнює середній швидкості вітру за місяць.

Загальна технічно досяжна потужність вітроелектростанції розраховується за формулою:

$$Q_{\text{вітр}}^{\text{ПР.заг}} = \frac{Q_{\text{сер.доб з}}}{K_{\text{ак}}}, \quad (4.1)$$

де:  $Q_{\text{сер.доб з}}$  – середня за годину протягом доби величина споживання електроенергії будинком для базового режиму енергоспоживання (див. практичну роботу № 1), кВт/год;  $K_{\text{ак}}$  – коефіцієнт допустимого рівня розрядки акумуляторів (для літій-йонних акумуляторів  $K_{\text{ак}} = 100\% - 40 \dots 35\% = 0,60 \dots 0,65$  (акумулятори не рекомендовано розряджати нижче за 35%...40%).

Необхідно визначитися з потужністю навантаження в середньому на 1 вітрогенератор на основі розрахунків потужності вітрового потоку, яка розраховується за формулою:

$$P_{\text{вітр}} = K * R * V^3 * \frac{S}{2}, \text{ Вт/год} \quad (4.2)$$

де:  $K$  – коефіцієнт ефективності турбіни (0,2-0,5) (для трилопатевих вітряків горизонтального типу  $K=0,4$ );  $R$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup> (1,225 кг/м<sup>3</sup>);  $V$  – швидкість потоку повітря, м/с (швидкість вітру середньорічна, м/с);  $S$  – площа вітрового потоку, м<sup>2</sup> (формула 4.3):

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (4.3)$$

$D$  – діаметр лопатей вітрогенератора, м.

Розрахунки потужності вітрогенератора заданої конфігурації, для кожного з місяців досліджуваного періоду (листопад-березень) проводимо в табл. 4.1.

За результатами розрахунку (табл. 4.1) встановити межі потужності вироблення електроенергії горизонтальними вітрогенераторами,  $P_{\text{min}}^{\text{вітр}}$  і  $P_{\text{max}}^{\text{вітр}}$ .

Необхідну кількість вітрогенераторів визначають за формулою:

$$n_{\text{вітр}} = \frac{Q_{\text{сон з}}^{\text{пр}}}{P_{\text{min}}^{\text{вітр}}},$$

Або якщо сонячну електростанцію не обґрунтовано (для нашого випадку):

$$n_{\text{вітр}} = \frac{Q_{\text{вітр}}^{\text{пр.зар}}}{P_{\text{вітр}}^{\text{мін}}}, \quad (4.4)$$

$Q_{\text{пр}}$  – величина середньодобового енергоспоживання (електроенергії) будинком у **базовому режимі** (практична робота №1), кВт/год.

Мінімальна віддаль розміщення вітрогенераторів встановлюється за формулою:

$$L_{\text{мін}} = 15 \times D, \quad (4.5)$$

де  $D$  – діаметр вітроколеса, м.

**Таблиця 4.1**

**Розрахунок проектних потужностей горизонтальних (вертикальних) вітрогенераторів**

Проектні показники		Місяць досліджуваного періоду (швидкість вітру, $V_{\text{сер}}$ , м/с)				
		XI	XII	I	II	III
Горизонтальні вітрогенератори		Потужність вітрогенератора, $P$ , Вт/год				
$K = 0,40$						
$R = 1,225 \text{ кг/м}^3$						
$V$ , м/с		<b>5,1</b>	<b>4,9</b>	<b>4,8</b>	<b>4,7</b>	<b>4,6</b>
$P_1$ ;	$D=1$					
$P_2$ ;	$D=2$					
$P_3$ ;	$D=3$					
$P_4$ ;	$D=4$					
$P_5$ ;	$D=5$					
$P_6$ ;	$D=6$					
$P_7$ ;	$D=7$					
$P_8$ ;	$D=8$					
Вертикальні вітрогенератори		Потужність вітрогенератора, $P$ , Вт/год				
$K = 0,20$						
$R = 1,225 \text{ кг/м}^3$						
$V$ , м/с		<b>5,1</b>	<b>4,9</b>	<b>4,8</b>	<b>4,7</b>	<b>4,6</b>
$P_1$ ;	$D=1$					

P <sub>2</sub> ;	D=2					
P <sub>3</sub> ;	D=3					
P <sub>4</sub> ;	D=4					
P <sub>5</sub> ;	D=5					
P <sub>6</sub> ;	D=6					
P <sub>7</sub> ;	D=7					
P <sub>8</sub> ;	D=8					

Загальна потужність вітрогенераторів розраховується за формулою:

$$P_{\Sigma}^{\text{вітр}} = n^{\text{ПР}} * P_{\text{min}}^{\text{вітр}} \quad (4.6)$$

Мінімальна висота опори ( $H_{\text{ПР}}$ ) кожного вітрогенератора становитиме:

$$H_{\text{ПР}} = h + c + R, \quad (4.7)$$

де  $R$  – радіус ротора ( $R = D/2$ );  $h$  – висота перешкоди біля вітроустановки ( $h = 8$  м);  $c$  – відстань від верхівки перешкоди до нижньої точки кола обмаху ротора ( $c = 2$  м).

Відстань між ногами фермерної опори вітрогенератора визначається так:

$$l_{\text{ПР}} = H_{\text{ПР}} * 0,3, \quad (4.8)$$

### Задачі

*Задача 1.* Розрахувати технічно можливу потужність вітрогенератора горизонтального типу та мінімально допустиму висоту опори, якщо мінімальна середньодобова швидкість вітру місцевості = 5,4 м/с, вітрогенератор має такі характеристики:

- 3 крила;
- радіус ротора: 2,5 м;
- коефіцієнт енергоефективності турбіни: 0,45;
- висота перешкоди біля вітроустановки: 5,5 м;
- відстань від верхівки перешкоди до нижньої точки кола

обмаху ротора: 2,0 м;

– щільність повітря: 1,225 кг/м<sup>3</sup>.

Задача 2. Підберіть проектну потужність вітрогенератора із трилопатеvim вітроколесом горизонтального типу діаметром 6 м, якщо середньорічна швидкість вітру на даній території дорівнює 5,5 м/с, коефіцієнт ефективності віротурбіни становить 0,45, щільність повітря дорівнює 1,225 кг/м<sup>3</sup>.

- a) 650 Вт/год
- b) 565 Вт/год
- c) 1295 Вт/год
- d) 250 Вт/год

### **Питання для самоперевірки**

- 1. Що являє собою вітрогенератор (з чого складається та який тип енергії виробляє)?
- 2. Які установки входять до складу вітроелектростанції?
- 3. Які показники потрібно знати, щоб розрахувати технічну потужність вітрогенератора?

### **ПРАКТИЧНА РОБОТА №5**

**Тема:** Обґрунтування проектних характеристик сонячної електростанції

**Мета:** обґрунтувати проектні характеристики сонячної електростанції

#### **Завдання**

- 1. Встановити необхідну потужність сонячної батареї для аварійного режиму.
- 2. Встановити необхідну потужність сонячної батареї для базового режиму.
- 3. Встановити необхідну потужність сонячної батареї для комфортного режиму.

#### **Хід роботи**

На основі табл. 3.1-3.3 було встановлено, що для аварійного режиму середньодобове споживання електроенергії

становитиме:

$$Q_{\text{сер.доб}}^{\text{ел}} = \frac{Q_{\text{міс 1}}^{\text{ел}}}{N}, \quad (5.1)$$

Максимальне миттєве споживання електроенергії протягом доби:

$$Q_{\text{мах.мит}} = \frac{Q_{\text{сер.доб}}^{\text{ел}}}{24}, \text{ кВт} \quad (5.2)$$

Отже, для аварійного режиму роботи нашого обладнання достатньо було б сонячних панелей загальною потужністю ..... кВт, якби вони акумулювали енергію цілу добу.

Враховуючи ті умови, що наша гібридна система «вітрогенератор+сонячні батареї» буде розподіляти максимальну потужність своєї роботи, відповідно таким чином: сонячні батареї забезпечуватимуть більше 90% електроенергії в літній період(квітень-жовтень), а вітрогенератор в зимній (листопад-березень).

Враховуючи тривалість сонячного світіння, яка в літній період становить для Рівненської області 8 год, поправочний коефіцієнт на неповну роботу сонячних батарей становитиме:

$$K_{\text{сон}} = \frac{8}{24} = 0,3$$

Також враховуючи, що сонячні батареї повинні забезпечувати повну зарядку акумуляторів, враховуючи що в період максимального електроспоживання акумулятори віддаватимуть 60-79% акумульованої енергії, тому додатково вводимо поправочний коефіцієнт на забезпечення ефективної енергії  $K_{\text{ак}} = 0,60-0,70$ ,  $K_{\text{ак}}^{\text{ПР}} = 0,65$ .

Необхідна потужність сонячної батареї, для аварійного режиму, становитиме:

$$Q_{\text{сон 1}}^{\text{ПР}} = \frac{Q_{\text{мах.мит}}}{K_{\text{сон}} * K_{\text{ак}}^{\text{ПР}}}, \text{ кВт} \quad (5.3)$$

Аналогічно проводимо обґрунтування потужності сонячної електростанції, для базового і комфортного режимів електрозабезпечення будинку.

Середньодобове споживання електроенергії, для базового режиму, становитиме ..... кВт год/добу, а максимальне миттєве споживання електроенергії протягом доби .....кВт.

Тоді необхідна потужність сонячної батареї, для базового режиму, становитиме..... кВт.

Середньодобове споживання електроенергії, для комфортного режиму, становитиме також .....кВт год/добу, а максимальне миттєве споживання електроенергії протягом доби ..... кВт.

Тоді необхідна потужність сонячної батареї, для комфортного режиму, становитиме ..... кВт.

Остаточню розрахунок потужності сонячної електростанції приймаємо для комфортного режиму, на основі показників середньодобового споживання електроенергії. Вона становитиме ..... кВт.

### Питання для самоперевірки

1. Що являє собою сонячна батарея (з чого складається та який тип енергії виробляє)?
2. Яким чином виникає електричний струм у сонячній батареї?
3. Які установки входять до складу сонячної електростанції?
4. Які показники потрібно знати, щоб визначити термін окупності сонячної електростанції?
5. Які показники потрібно знати, щоб розрахувати технічну потужність сонячних батарей та акумулятора до них?

### ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

**Тема:** Обґрунтування біогазового комплексу для переробки відходів на біогаз

**Мета:** обґрунтувати біогазовий комплекс для переробки відходів на біогаз

## Завдання

1. Визначити потужність біогазового комплексу, який перероблятиме відходи тваринницької ферми на 70 голів ВРХ та встановити забезпечення теплової енергії, яку повинен видавати газовий котел

### Хід роботи

У нашому фермерському господарстві відходи утворюватимуться на тваринницькій фермі, яка має такі характеристики:

- 1) вид тварин-корови;
- 2) кількість голів-70;
- 3) тип системи видалення екскрементів –самосплавна;
- 4) добова кількість підстилки  $m_{п}$ -1,5 кг/голову.

**Об'єм гносприймача** визначаємо за формулою:

$$V_{зб} = \frac{Q_{г}}{\rho} * t_{н} * k_{в}, \quad (6.1)$$

де  $Q_{г}$  – добовий вихід гною з ферми, кг/добу;  $\rho$  – густина гною, кг/м<sup>3</sup> (1080);  $t_{н}$  – час накопичення гною (2 доби);  $k_{в}$  – коефіцієнт, що враховує зміну густини сировини за час накопичення(1);  $n$  – поголів'я тварин;  $m_{е}$  – маса екскрементів від 1 тварини (55 кг/добу);  $m_{в}$  – добова кількість води, що потрапляє в систему гноєсховища. Оскільки система видалення гною самосплавна, то  $m_{в}=0,3 * m_{е}$ ;  $m_{п}$  – добова кількість підстилки.

**Добовий вихід гною** визначається за формулою:

$$Q_{г}=n (m_{е}+ m_{в}+ m_{п}), \text{ т/добу} \quad (6.2)$$

**Вологість гною** визначаємо так:

$$W_{г}=W_{е} - 0,01 * P_{п} (W_{е} - W_{п}) + 0,01 * P_{в} (100 - W_{е}), \quad (6.3)$$

де  $W_{е}$  – вологість екскрементів(86-87%);  $W_{п}$  – вологість

підстилки(20%);  $P_{п}$  – частка підстилки у гної(12-13%);  $P_{в}$  – частка води у гної(2-3%).

Згідно виконаних розрахунків визначаємо об'єм гноєприймача:

$$V_{зб} =$$

**Добовий обсяг завантаження метантенка** визначається за формулою:

$$Q_{мет} = \frac{W_{г} * Q_{г}}{W_{бр.м}}, \quad (6.4)$$

де  $W_{бр.м}$  – вологість бродильної маси у метантенку ( $W_{бр.м}=92\%$ ).

**Об'єм бродильної камери** визначаємо так:

$$V_{к} = \frac{Q_{мет} * 100}{p * q}, \quad (6.5)$$

(4.5)

де  $p$  – добова доза завантаження(для мезофільного процесу  $p = 7\%$ );  $q$  – коефіцієнт заповнення камери( $q = 0,8$ ).

**Добовий вихід біогазу** визначаємо за формулою:

$$V_{бг} = \frac{Q_{г} * \frac{100 - W_{г}}{100} * z}{100 * k * \rho_{г}}, \quad (6.6)$$

де  $z$  – стан розкладання органічної речовини( $z = 30\%$ );  $k$  – коефіцієнт розчинності біогазу ( $k = 1,3$ );  $\rho_{г}$  – густина біогазу ( $\rho_{г} = 0,00117 \text{ т/м}^3$ ).

Для біогазових установок існує 2 статті витрат тепла:

- 1) на підігрівання біомаси;
- 2) на компенсацію тепловтрат метантенком.

Розрахуємо витрати теплової енергії на роботу біогазової установки, для підігрівання біомаси( в цілому за рік):

$$Q_{\text{бгу}} = Q_{\text{бгу}}^{\text{тп}} + Q_{\text{бгу}}^{\text{хп}}, \quad (6.7)$$

де  $Q_{\text{бгу}}^{\text{тп}}, Q_{\text{бгу}}^{\text{хп}}$  – кількість теплоти, що витрачається на підігрівання біомаси в теплий/холодний період року, МДж.

**Кількість теплоти, що витрачається на підігрівання біомаси в теплий та холодний період року:**

$$Q_{\text{бгу}}^{\text{тп}} = c_{\text{г}} * \frac{t_{\text{тп}} * Q_{\text{г}}}{\eta} * \Delta t, \quad (6.8)$$

$$Q_{\text{бгу}}^{\text{хп}} = c_{\text{г}} * \frac{t_{\text{хп}} * Q_{\text{г}}}{\eta} * \Delta t, \quad (6.9)$$

де  $c_{\text{г}}$  – теплоємність гною( $c_{\text{г}} = 4,06 * 10^{-3}$  МДж/кг\*°С);  $t_{\text{тп}}$  – тривалість теплового періоду( $t_{\text{тп}} = 150$  діб);  $t_{\text{хп}}$  – тривалість холодного періоду( $t_{\text{хп}} = 215$  діб);  $\eta$  – ККД нагрівача( $\eta = 70\%$ );  $\Delta t$  – різниця температур бродіння та маси гною, яка подається у метантенк(для  $t_{\text{тп}} = 20^{\circ}$  С; для  $t_{\text{хп}} = 30^{\circ}$  С).

$$Q_{\text{бгу}}^{\text{тп}} = \dots \dots \dots \text{МДж}$$

$$Q_{\text{бгу}}^{\text{хп}} = \dots \dots \dots \text{МДж}$$

$$Q_{\text{бгу}} = \text{МДж}$$

**Кількість біогазу, яка необхідна, для підігріву біомаси визначаємо так:**

$$V_{\text{бгу}} = \frac{Q_{\text{бгу}}}{q_{\text{бгу}}} \quad (6.10)$$

де  $q_{\text{бгу}}$  – теплотворна здатність біогазу( $q_{\text{бгу}} = 22$  МДж/м<sup>3</sup>).

$$V_{\text{бгу}} = \dots \dots \dots \text{м}^3$$

**Витрати біогазу на компенсацію тепловитрат метантенком** визначається за формулою:

$$V_{\text{вт}} = \frac{Q_{\text{бгу}} * k_{\text{тв}}}{q_{\text{бгу}}}, \quad (6.11)$$

де  $k_{\text{тв}}$  – коефіцієнт втрат тепла метантенком ( $k_{\text{тв}} = 0,6$ ).

$$V_{\text{вт}} = \dots \dots \text{м}^3/\text{рік}$$

**Частка біогазу, яка йде на обслуговування метантенку** визначається так:

$$\eta_{\text{бг}} = \frac{V_{\text{бгу}} + V_{\text{вт}}}{365 * V_{\text{бг}}}, \quad (6.12)$$

$$\eta_{\text{бг}} =$$

**Річний вихід біогазу, який можна використати для різних потреб** розраховується за формулою:

$$V_{\text{бг}}^{\text{річ}} = V_{\text{бг}} * \eta_{\text{бг}}, \quad (6.13)$$

$$V_{\text{бг}}^{\text{річ}} = \dots \dots \text{м}^3/\text{рік}$$

**Річний вихід енергії, яка акумульована у біогазі** розраховуємо так:

$$Q_{\text{бг}}^{\text{річ}} = V_{\text{бг}}^{\text{річ}} * q_{\text{бг}} \quad (6.14)$$

$$Q_{\text{бг}}^{\text{річ}} = \dots \dots \text{МДж}/\text{рік}$$

Переведемо об'єм біогазу з МДж у кВт, враховуючи, що

$$1 \text{ МДж} = 0,279 \text{ кВт}; \quad 1 \text{ кВт} = 3,58 \text{ МДж}$$

Перевівши МДж в кВт, отримуємо ..... кВт/рік енергії.

**Кількість енергії, яку може виробляти газовий котел при спалюванні всієї кількості біогазу за 1 год. становить:**

$$Q_{\text{бг}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{бг}}^{\text{річ}}}{365 \cdot 24}, \quad (6.15)$$

$$Q_{\text{бг}}^{\text{год}} = \dots \dots \dots \text{кВт/год}$$

Розрахуємо чи існує **надлишок енергії біогазу, яку можна використати для інших потреб:**

$$\Delta Q_{\text{бг}}^{\text{год}} = Q_{\text{бг}}^{\text{год}} - Q_{\text{газ.к.}}^{\text{пр}}, \quad (6.16)$$

$$\Delta Q_{\text{бг}}^{\text{год}} = \dots \dots \dots \text{кВт/год}$$

На основі зроблених розрахунків можна зробити висновок, що потужність біогазового комплексу, який перероблятиме відходи тваринницької ферми на 70 голів ВРХ, не задовольняє/задовольняє умов достатнього забезпечення теплової енергії, яку повинен видавати газовий котел.

Обґрунтування біогазового комплексу на основі переробки відходів тваринницької ферми(70 голів ВРХ), показали, що річний вихід біогазу становить ..... м<sup>3</sup>/рік, що еквівалентно потужності..... кВт/год.

Даний вихід біогазу забезпечить .....% покриття потреби у енергії газу, для обігріву будинку.

### **Питання для самоперевірки**

**1. Що являє собою біогазовий комплекс (з чого складається та що виробляє)?**

**2. Чи може виробляти електроенергію біогазовий комплекс? Що для цього потрібно зібрати в комплект комплексу?**

3. Які установки входять в комплект біогазового комплексу для виробництва біогазу?

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

**Тема:** Розрахунок енергетичного потенціалу приливної енергії океанічного басейну

**Мета:** розрахувати приливний потенціал океанічного басейну при заданій величині приливної хвилі.

### Завдання

1. Оцінити енергетичний потенціал приливної енергії океанічного басейну, що має площу  $F$ ,  $\text{км}^2$ , якщо відома середня величина приливної хвилі  $R^2$  ср.

### Хід роботи

У науковій літературі є кілька рівнянь, що дозволяють визначити приливний потенціал басейна. Одне з них запропоновано вітчизняним ученим Л. Б. Бернштейном:

$$E_{\text{пот}} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot R^2 \cdot F$$

де  $E_{\text{пот}}$  – енергетичний потенціал приливної енергії океанічного басейну;

$F$ ,  $\text{км}^2$  – площа енергетичного потенціалу приливної енергії океанічного басейну;

$R^2$  ср – середня величина приливної хвилі.

### Приклад розв'язку задачі

Використовуючи формулу Л.Б. Бернштейна, оцінити приливний потенціал басейну  $E_{\text{пот}}$ , кВт год, якщо його площа  $F = 1000 \text{ км}^2$ , а середня величина припливу  $R_{\text{ср}} = 7,2 \text{ м}$ .

Дано:  $F = 1000 \text{ км}^2$ ;  $R_{\text{ср}} = 7,2 \text{ м}$ .

Знайти:  $E_{\text{пот}}$ , кВт · год – ?

Розв'язок: використовуючи формулу Л.Б. Бернштейна,

оцінити приливний потенціал басейну  $E_{\text{пот}}$ , кВт · год, якщо його площа  $F=1000 \text{ км}^2$ , а середня величина приливу  $R_{\text{ср}}=7,2 \text{ м}$ .

Приливний потенціал басейну:

$$E_{\text{пот}} = 1,97 \cdot 106 \cdot R^2 \cdot \text{ср} \cdot F = 1,97 \cdot 106 \cdot 7,22 \cdot 1000 = 102 \cdot 109 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Відповідь: приливний потенціал басейну  $E_{\text{пот}} = 102 \cdot 109$  кВт · год.

### Вихідні дані

Варіанти	$F, \text{км}^2$	$R_{\text{ср}}, \text{м}$
1	31	400
2	30	700
3	29	1000
4	28	1500
5	27	2000
6	31	2200
7	30	2500
8	29	3000
9	28	3500
10	27	4000
11	31	500
12	30	800
13	29	1100
14	28	1600
15	27	2100
16	31	600

### Питання для самоперевірки

1. Які параметри потрібні для розрахунку приливної потенціалу басейну?
2. Як визначається середня величина приливної хвилі?
3. В яких одиницях вимірюється приливний потенціал басейну?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі : навч. Посібник. Львів : Магнолія, 2008. 188 с.
2. Куріс Ю. В., Червоний І. Ф. Біогазові технології. Енергетичні та екологічні аспекти : монографія . Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 488 с.
3. Любарець О. П., Зайцев О. М., Любарець В. О. Проектування систем водяного опалення : посібник для проектувальників, інженерів і студентів технічних ВНЗ). Відень–Київ–Сімферополь, 2010. 200 с.
4. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Енергозберігаючі відновлювальні джерела тепlopостачання : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 170 с.
5. Новітні принципи теплонасосних та когенераційних технологій використання викидного палива : монографія / М. М. Табаченко, В. І. Самуся, Р. О. Дичковський, В. С. Фальштинський, Ю. І. Оксень. Дніпропетровськ : НГУ, 2012. 247 с.
6. Уминський С. М., Чучуй В. П., Інютін С. В. Альтернативні палива з біомаси. Мінагрополітики, Одеський держ. аграрний ун-т. О. : ТЕС, 2014. 375 с.
7. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття / за заг. ред. А. К. Шидловського, М. П. Ковалка. К. Українські енциклопедичні знання. 2001. 398 с.
8. Сонячна енергетика: теорія та практика / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал; Нац. ун-т «Львівська політехніка». Л. : Видво Львів. політехніки, 2014. 340 с.
9. Сидоров В.І. Технології гідро- та вітроенергетики. Черкаси : Вертикаль : видавець Кандич С. Г., 2016. 166 с.

### Інформаційні ресурси

1. <http://saee.gov.ua/uk/ae/termo-energy>
2. [aea.org.ua](http://aea.org.ua)
3. <http://www.altalgroup.com>
4. <https://vecotech.com.ua>