

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Д. В. Риндюк  
Т. В. Шелешей  
І. С. Беднарська

**Навчальний посібник**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра  
за спеціальністю 144 «Теплоенергетика»

Електронне мережне навчальне видання

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2022

Рецензент: *Новаківський Є.В.*, канд. техн. наук, доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор *Пешко В.А.*, канд. техн. наук, доц.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № 1 від 02.09.2022 р.)  
за поданням Вченої ради теплоенергетичного факультету  
(протокол №9 від 28.06.2022 р.)*

Для України відновлювана енергетика є одним із стратегічних напрямків розвитку енергетичного сектору, враховуючи високу залежність країни від імпорتنих енергоносіїв, в першу чергу, природного газу, і великий потенціал держави, доступний для виробництва енергії.

Важливим моментом сучасної енергетики є пріоритетний розвиток екологічно чистих технологій на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Використання ВДЕ сприяє розв'язанню не тільки питань ефективного енергозабезпечення, але й багатьох екологічних, економічних і соціальних проблем громад. Тому, використання ВДЕ – це шлях до становлення нової державної економіки, заснованої на пріоритетності інноваційного технологічного розвитку та формуванні нових можливостей й інструментів підвищення конкурентоспроможності на світових ринках. У зв'язку з цим, об'єктивна інформація про наявні ВДЕ є необхідною для вивчення.

Реєстр № НП 22/23-053      Обсяг 2,9 авт.арк.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056  
<http://kpi.ua>

Свідотство про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© Д.В. Риндюк, Т.В. Шелешей, І.С. Беднарська  
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>1. ЕНЕРГІЯ СОНЦЯ.....</b>	<b>6</b>
1.1. Використання енергії сонця для отримання теплової енергії.....	6
1.2. Використання енергії сонця для отримання електричної енергії.....	9
1.3. Енергія сонця. Сонячні колектори. Розв’язання задач.....	15
Контрольні запитання і завдання.....	18
<b>2. ЕНЕРГІЯ ВІТРУ.....</b>	<b>20</b>
2.1. Характеристика вітру та повторюваність швидкостей вітру для заданого району.....	20
2.2. Розрахунок потужності, що виробляється вітроустановкою.....	22
2.3. Вітрова енергетика. Потужність вітроенергетичних становок.....	26
Контрольні запитання і завдання.....	33
<b>3. ЕНЕРГІЯ БІОМАСИ.....</b>	<b>35</b>
Контрольні запитання і завдання.....	39
<b>4. ЕНЕРГІЯ МАЛИХ РІК.....</b>	<b>40</b>
4.1. Розрахунок греблі гідроелектростанції та параметрів гідротурбіни.....	40
4.2. Розрахунок гірляндної ГЕС.....	43
Контрольні запитання і завдання.....	46
<b>5. ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ.....</b>	<b>47</b>
Контрольні запитання і завдання.....	50
<b>6. ЕНЕРГІЯ ОКЕАНУ.....</b>	<b>51</b>
6.1. Енергія хвиль.....	51
Контрольні запитання і завдання.....	59
6.2. Енергія припливів. Посилення припливів.....	60
Контрольні запитання і завдання.....	63
6.3. Теплова енергія океану.....	64
Контрольні запитання і завдання.....	66
Перелік посилань.....	68
Список рекомендованої літератури.....	69
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>70</b>

Додаток А.....	70
Додаток Б.....	73
Додаток В.....	77
Додаток Г.....	78
Додаток Д.....	80
Додаток Е.....	81

## ВСТУП

Використання органічного палива для отримання енергії характеризується істотним негативним впливом на місце існування людини і природу. Чим більше енергії споживаємо, тим більше органічного палива потрібно спалити для її виробництва. Продукти згоряння органічного палива на електростанціях є одним із основних причин парникового ефекту планети. Одним із шляхів вирішення енергетичних проблем та збереження нашої планети є енергозбереження.

Альтернативою використанню органічного палива є установки на основі відновлюваних джерел енергії.

Метою даного навчального посібника є закріплення отриманих теоретичних знань з дисципліни «Нетрадиційні відновлювані джерела енергії», оволодіння методикою розрахунку основних параметрів геліо-вітроенергетичних, біогазових, геотермальних та інших установок та визначення можливості їх використання на прикладі кліматичних умов Київської області. [1]

На основі аналізу електроприладів та обладнання, що використовується у побуті, визначається його енергоефективність, розраховується річне споживання електроенергії, витрати на це споживання. Отримані дані використовуються у наступних задачах для визначення частки електроенергії, яка може бути заміщена за рахунок того чи іншого виду відновлюваного джерела енергії.

У посібнику представлені варіанти завдань, методика розрахунку, наведено приклади розв'язання. [2]

Дані, необхідні вирішення завдань, представлені у додатку.

# 1. ЕНЕРГІЯ СОНЦЯ

## 1.1. Використання енергії сонця для отримання теплової енергії

Найбільш оптимальна область використання сонячної енергії – це нагрівання води та повітря, гаряче водопостачання та опалення приміщень. Пристрій, що перетворює енергію сонця на теплову енергію, називається сонячний колектор (СК). Робота СК базується на принципі тепличного ефекту. Сонячне випромінювання, потрапляючи на зачорнений теплообмінник СК через прозоре покриття, нагріває теплоносії. Теплоносії може бути повітря, вода та ін.

Сонячні колектори використовуються для отримання гарячої води та опалення приміщень. Температура нагрівання води залежить від пори року, географічної широти місцевості, кута нахилу колектора до горизонту, а також конструктивних та режимних параметрів сонячного колектора.

При розрахунках та виборі СК температура навколишнього повітря для квітня та вересня приймається рівною 10 °С (283 °К), для травня- 15 °С (288 °К), червня, липня-серпня - 20 °С (293 °К). [2]

**Завдання 1.1.** Розрахувати площу сонячного колектора для забезпечення споживача гарячою водою в кількості  $m$  кілограмів на добу із заданою температурою  $T_k$ , °К у літній період (з травня по серпень). Визначити кількість колекторів  $n$  для вироблення необхідного обсягу гарячої води та розрахувати їхню вартість. Вихідні дані для розрахунку взяти із табл. П.1.1 додатка 1. Розрахунок здійснити для кожного місяця заданого періоду.

### Методика розрахунку.

1. Визначається кількість питомої енергії, яка виробляється сонячним колектором в умовах Київської області в літній період для кожного місяця:

$$Q_{в.уд.} = K_f \left[ H \cdot \tau - \frac{(Tn - T_{o.c.})}{R^n} \cdot 3,6 \times 10^{-3} \right] \quad \text{МДж/м}^2 \quad (1.1)$$

де  $K_f$  – коефіцієнт перенесення сонячної енергії до рідини. Цей коефіцієнт показує частку теплового потоку  $Q_{в.уд.}$ , що передається воді, та в розрахунках приймається рівним 0,85;

$H$  – сумарна сонячна денна радіація на горизонтальну поверхню;

$\tau$  – коефіцієнт пропускання сонячного випромінювання прозорим покриттям (з урахуванням поглинання сонячного випромінювання поверхнею колектора приймаємо  $\tau = 0,9$  – для одинарного скляного покриття,  $\tau = 0,8$  для подвійного скляного покриття,  $\tau = 0,81$  для силікатного скла);

$T_{II}$  – температура приймальної поверхні колектора,  $^{\circ}\text{K}$ ;

$T_{о.с.}$  – температура довкілля,  $^{\circ}\text{K}$ ;

$R^{II}$  – термічний опір приймальної поверхні типового колектора ( $R^{II} = 0,13 \text{ м}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}/\text{Вт}$  – для одинарного скла,  $R^{II} = 0,22 \text{ м}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}/\text{Вт}$  – для двошарового скла;  $R^{II} = 0,4 \text{ м}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}/\text{Вт}$  – для силікатного скла).

Сумарна денна сонячна радіація на горизонтальну поверхню визначається:

$$H = H_0 \left( a + \nu \frac{S}{S_0} \right), \text{ МДж}/\text{м}^2, \quad (1.2)$$

де  $H_0$  – коефіцієнт, що приймається рівним еталонному (атмосферному) значенню сонячної радіації ( $1360 \text{ Вт}/\text{м}^2 = 1,36 \text{ кВт}/\text{м}^2$ ). Враховуючи, що  $1 \text{ кВт} = 3,6 \text{ МДж}$  кожного місяця цей коефіцієнт дорівнюватиме  $H_0 = 1,36 \cdot 3,6 \text{ МДж}/\text{м}^2$ ;

$a$  та  $\nu$  – постійні коефіцієнти для заданого району;

$S$  – дійсна тривалість сонячного сьйва для заданого району, год;

$S_0$  – можлива тривалість сонячного сьйва, год.

Значення коефіцієнтів  $a$ ,  $\nu$  і  $S_0$  для Київської області беруться з таблиці П.1.2. для кожного розрахункового місяця; середнє значення  $S$  – за таблицею П.1.3. [3]

Температура приймальної поверхні колектора розраховується за виразом:

$$T_{II} = \frac{T_{о.с.} + T_B}{2}, \text{ }^{\circ}\text{K} \quad (1.3)$$

де  $T_B$  – температура води в баку-акумуляторі до кінця дня (у

розрахунках приймається рівною заданій кінцевій температурі  $T_K$ ).

2. Визначається кількість енергії для нагрівання необхідної кількості води на добу до заданої температури кожного місяця розрахункового періоду  $i$ :

$$Q_{ni} = m \cdot C (T_K - T_H) 10^{-3} \quad (1.4)$$

де  $m$  - маса гарячої води, кг;  $C$  - теплоємність води ( $C=4,19$  кДж/кг  $^{\circ}\text{K}$ );

$T_K$  - кінцева температура нагріву,  $^{\circ}\text{K}$ ;

$T_H$  - початкова температура нагріву (приймається рівною температурі навколишнього середовища для розрахункового періоду).

3. Площа сонячного колектора визначається ставленням

$$P_{СК} = \frac{Q_{ni}}{Q_{в.уд.i}}, \text{ м}^2. \quad (1.5)$$

Виходячи з розрахункової площі СК визначається кількість колекторів  $n$  для розрахункового періоду часу використання. Для розрахунку приймаємо площу одного колектора  $0,8 \text{ м}^2$ .

4. Розраховується вартість необхідної кількості колекторів за їх максимальним значенням з розрахункових місяців.

5. Зробити висновок щодо доцільності використання енергії сонця для нагрівання води в умовах заданого району. [4]

### Приклад розрахунку

Вихідні дані:

Населений пункт: м. Київ;

Маса гарячої води,  $m = 10$  кг;

Кінцева температура нагрівання,  $T_K = 70$   $^{\circ}\text{C}$ ;

Вид скляного покриття – одинарне;

Розрахунковий період – із травня до серпня.

1. Сумарна сонячна радіація для травня:

$$H = H_0 \left( a + \varepsilon \frac{S}{S_0} \right) = 4,9 \left( 0,12 + 0,54 \cdot \frac{8,6}{16} \right) = 2,01 \text{ МДж} / \text{ м}^2$$

Температура приймальної поверхні СК:

$$T_{II} = \frac{T_{OC.} + T_B}{2} = \frac{288 + 343}{2} = 315,5^{\circ}K$$

2. Кількість питомої енергії, що виробляється сонячним колектором у літній період за травень:

$$Q_{в.юд.5} = K_f \left[ H \times \tau - \frac{T_n - T_{OC.}}{R_{II}} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \right] = 0,85 \left[ 2,01 \cdot 0,9 - \frac{315,5 - 288}{0,13} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \right] = 0,89 \text{ МДж} / \text{м}^2$$

Кількість енергії для нагрівання води на добу до заданої температури для травня:

$$Q_{n5} = m \cdot C (T_K - T_H) 10^{-3} = 10 \cdot 4,19 (343 - 288) \cdot 10^{-3} = 2,3 \text{ МДж}$$

Для інших місяців  $Q_n$  визначається аналогічним чином.

3. Площа сонячного колектора:

$$P_{СК} = \frac{Q_{ni}}{Q_{в.юд.i}} = \frac{2,3}{0,89} = 2,58 \text{ м}^2.$$

4. Кількість сонячних колекторів для травня:

$$n_5 = \frac{2,58}{0,8} = 3,2 \text{ шт}$$

Для інших місяців розрахунок кількості СК аналогічний. Для рекомендації до встановлення приймаємо найбільшу кількість СК, отриману для кожного місяця. Для нашого розрахунку  $n=4$  шт. Вартість чотирьох сонячних колекторів визначається за діючими на момент розрахунку цінами заводу-виробника

## 1.2. Використання енергії сонця для отримання електричної енергії

Сонячна енергія перетворюється на енергію електричну за допомогою сонячних фотоелектричних установок, дія яких ґрунтується на явищі фотоелектричного ефекту. Сонячні елементи (СЕ) або фотоелементи служать для просторового перетворення зарядів та створення ЕРС у напівпровідниковому переході. Сучасні фотоелементи практично повністю ґрунтуються на кремнії. Найбільш поширені кристалічні фотоелементи. Вони зазвичай мають синій колір із відблиском. Аморфні та некристалічні мають гладкий вигляд і

залежно від кута зору змінюють колір. Монокристалічний кремній має кращі характеристики, ніж полікристалічний, але дорожчий за нього. Аморфний кремній має значно гірші характеристики і застосовується в основному в невеликих несилкових приладах (годинник, калькулятор).[5]

Потужність сонячних елементів, як правило, невелика, і становить середньому 0,7–0,75 Вт. Для більшої потужності СЕ з'єднують між собою послідовно, утворюючи сонячні модулі (СМ), які далі можуть збиратися в сонячну батарею (СБ). Необхідно враховувати, що послідовному з'єднанні елементів неминучі втрати потужності. Коефіцієнт  $\eta_{\Delta P}$ , що враховує ці втрати, приймається в розрахунках рівним 0,95–0,99. Коефіцієнт, що визначає втрати енергії при передачі її споживачеві (втрати в інверторі, зарядному пристрої та ін) становить  $\eta_{\Delta E} = 0,9$ .

Форма сонячних елементів може бути прямокутною, квадратною, а також псевдоквадратною або псевдокруглою. Форма визначає коефіцієнт заповнення майданчика сонячного модуля. Для прямокутних та квадратних та псевдоквадратних СЕ цей коефіцієнт дорівнює  $K_{\text{зап}} = 0,95–0,99$ ; для круглих  $K_{\text{зап}} = 0,85$ .

К.К.Д. Перетворення сонячних променів в електричну енергію залежить від матеріалу сонячного елемента, його багаточисловості та температури навколишнього середовища. Для одношарових кремнієвих монокристалічних СЕ  $\eta_K$  становить 10-15%, для полікристалічних СЕ  $\eta_K = 8-12\%$ , для аморфного кремнію  $\eta_K = 6-8\%$ . Температура довкілля визначається періодом року. Для умов Київської області вона становить: для березня та жовтня  $+5\text{ }^\circ\text{C}$ , для квітня, вересня  $+10\text{ }^\circ\text{C}$ , травня  $+15\text{ }^\circ\text{C}$ , червня, липня, серпня  $+20\text{ }^\circ\text{C}$ .

Потужність СЕ може бути визначена із вольт-амперної характеристики (ВАХ). ВАХ сонячного елемента, (модуля, батареї) – це залежність між струмом навантаження і напругою на клеммах сонячного фотоелектричного елемента при постійних значеннях температури сонячних елементів та інтенсивності сонячного випромінювання (рис.1.1).

Стандартні умови випробувань сонячного елемента, модуля, батареї

STC (Standard test conditions for solar cell, module, array) – це умови випробувань, регламентовані за щільністю потоку сонячної енергії  $R=1000$  Вт/м<sup>2</sup> та температури фотоелектричних сонячних елементів  $(25\pm 2)$  °С.

На ВАХ сонячного елемента можна виділити дві характерні точки:

1. Точка холостого ходу, коли напруга максимальна, що дорівнює напрузі холостого ходу ( $U=U_{\max}=U_{x.x.}$ ). У цьому струм дорівнює  $I=0$ ;
2. Крапка короткого замикання ( $U=0$ ;  $I=I_{\max}=I_{k.z.}$ ).

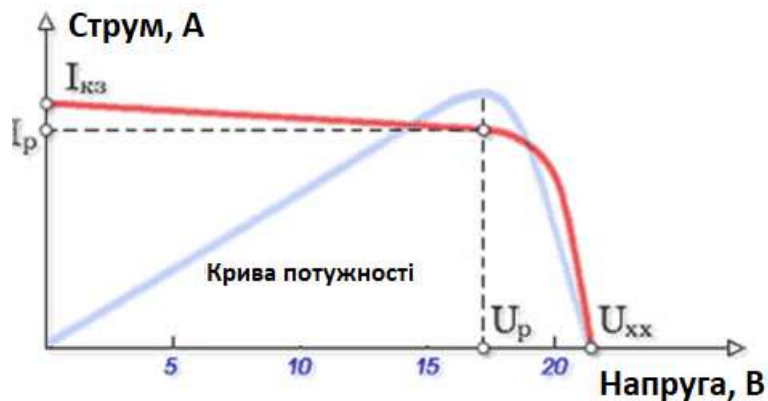


Рисунок 1.1. Вольт-амперна характеристика сонячного фотоелемента.

[6]

Потужність сонячного елемента визначається добутком  $P=UI$ , Вт тому у точках 1 та 2 вона дорівнює 0.

**Завдання 1.2.** Визначити характеристики СМ типу PSM4-150 на кремнієвих монокристалічних сонячних елементах та розрахувати його К.К.Д. залежно від потужності. Розрахувати вироблення електроенергії сонячною батареєю, що складається з  $m$  модулів на майданчику, розташованому під кутом  $\beta$  до горизонту в заданий період. Визначити відсоток валового потенціалу сонячної радіації, який використовується сонячним модулем на 1 м<sup>2</sup> цього модуля. Зробити висновки щодо доцільності використання СМ для отримання електричної енергії. Дані до розрахунку взяти з табл. П 1.4 та П 1.5 додатка 1.

Методика розрахунку

1. К.К.Д. одного сонячного модуля визначається:

$$\eta = \frac{P}{P_{кор}}, \quad (1.6)$$

де  $P$  - потужність, що визначається за ВАХ сонячного модуля (рис. П 1.1. додатку 1).

Для зручності розрахунків СМ дані ВАХ рекомендується внести до таблиці 1.1 відзначивши точки холостого ходу та короткого замикання.

Корисна потужність  $P_{кор}$  визначається:

$$P_{кор} = R \cdot F_{СМ} \quad (1.7)$$

де  $R$  - рівень освітленості, Вт/м<sup>2</sup> (додаток 1, рис.П.1.1);

$F_{СМ}$  – площа сонячного модуля, що визначається за виразом:

$$F_{СМ} = F_{СЕ} \cdot n \cdot K_{зап}, м^2 \quad (1.8)$$

де  $F_{СЕ}$  - площа одного сонячного елемента, м<sup>2</sup>;

$n$  – кількість сонячних елементів у модулі;

$K_{зап}$  – коефіцієнт заповнення сонячними елементами площі сонячного модуля.

Значення  $F_{СЕ}$   $n$  і  $K_{зап}$  взяти з табл. П.1.6. Додатки 1.

Результати розрахунку кожної точки характеристики рекомендується занести в таблицю 1.1.

За даними таблиці, побудувати залежність  $\eta=f(P)$ . Визначити максимальне значення К.К.Д. за відповідного значення потужності.

Таблиця 1.1. Результати розрахунку основних енергетичних характеристик СМ.

I, А									
U, В									
P, Вт									
$\eta$ , %									

1.2. Вироблення електричної енергії сонячним модулем у  $i$ -му місяці

визначається:

$$E_{вал} = E_{вал} \cdot F_{CM} \cdot m \cdot \eta_K \cdot K_t \cdot \eta_{\Delta P}^m \cdot \eta_{\Delta E}^m, \text{кВт} \cdot \text{год} \quad (1.9)$$

де  $E_{вал}$  - валовий питомий прихід сонячної радіації на аналізований майданчик, кВт год/м<sup>2</sup> (табл.П. 1.5);

$m$  – кількість модулів у сонячній батареї;  $\eta_K$

К.К.Д. кремнієвого сонячного елемента (береться максимальне значення за ВАХ СМ);

$K_t$  – коефіцієнт, що враховує вплив сонячної температури модуля з його К.К.Д.;

$\eta_{\Delta E}^m, \eta_{\Delta P}^m$  - відповідно втрати потужності, що визначаються послідовним з'єднанням елементів та передачею енергії до споживача.

Коефіцієнт, що враховує вплив температури сонячного модуля з його К.К.Д. визначається з виразу:

$$K_t = 1 - [\alpha(T - T_0)] \quad (1.10)$$

де  $T$  – температура довкілля для заданого місяця, °К;  $T=25$  °С – стандартна температура сонячного елемента;  $\alpha$  – градієнт зміни К.К.Д. СЕ від зміни температури.

Для кремнієвих сонячних елементів він визначається:

$$\alpha = \frac{\eta_K}{120}, \quad (1.11)$$

де  $\eta_K$  -К.К.Д.сонячного елемента для розрахункових умов (береться максимальне значення).

Вироблення електричної енергії розраховується протягом місяців, зазначених у завданні.

2. Відсоток використання валового потенціалу визначається ставленням отриманого вироблення електричної енергії сонячним модулем на 1м<sup>2</sup> модуля до валового питомого приходу сонячної радіації для кожного місяця. [6]

$$I = \frac{E_i}{E_{вал.i}} \cdot 100\%,$$

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

Розрахунковий місяць: липень;

Температура навколишнього середовища,  $T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Кут нахилу сонячної батареї до горизонту,  $\beta = 58^{\circ}$ ;

Кількість модулів,  $m = 3$ .

1. Розбиваємо ВАХ на кілька точок, включаючи точки  $x.x$  та  $k.z$ . Для кожної точки значення струму визначаємо відповідне значення напруги. Дані заносимо до таблиці 1.1. За цими даними визначається потужність сонячного модуля. Так, для струму  $I = 1,5\text{ A}$ , напруга дорівнює  $U = 34\text{ V}$ . Тоді потужність у цій точці характеристики:

$$P = UI = 34 \cdot 1,5 = 51\text{ Вт}$$

Аналогічно визначаються всі інші значення потужності. Дані заносяться до таблиці 1.1.

2. Площа сонячного модуля:

$$F_{CM} = F_{CE} \cdot n \cdot K_{зан} = 0,0156 \cdot 72 \cdot 0,97 = 1,09\text{ м}^2$$

3. Корисна потужність:

$$P_{кор} = R \cdot F_{CM} = 800 \cdot 1,09 = 872\text{ Вт}$$

4. К.К.Д. сонячного модуля для потужності  $P = 51\text{ Вт}$ :

$$\eta = \frac{P}{P_{кор}} = \frac{51}{872} = 0,058 \quad \text{Для решти точок розрахунок аналогічний.}$$

5. За даними таблиці 1.1 будемо залежність  $\eta = f(P)$  та визначаємо максимальне значення коефіцієнта корисної дії. Для нашого випадку він дорівнює 11,3%.

6. Градієнт зміни К.К.Д. СЕ від зміни температури:

$$\alpha = \frac{\eta_K}{120} = \frac{11,3}{120} = 0,094$$

7. Коефіцієнт, що враховує вплив температури СМ на його К.К.Д:

$$K_t = 1 - [\alpha(T - T_0)] = 1 - [0,094(293 - 298)] = 1,47$$

8. Вироблення електричної енергії сонячною батареєю у липні:

$$E_{вал} = E_{вал} \cdot F_{CM} \cdot m \cdot \eta_K \cdot K_t \cdot \eta_{\Delta P}^m \cdot \eta_{\Delta E}^m = 145,2 \cdot 1,09 \cdot 3 \cdot 0,113 \cdot 1,47 \cdot 0,97 \cdot 0,9 = 68,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

9. Використання валового потенціалу на 1 м<sup>2</sup> модуля для липня складає:

$$I_7 = \frac{E_7}{E_{вал.7}} \cdot 100 = \frac{68,8}{145,2} \cdot 100 = 47\%$$

Тобто ефективність використання енергії сонця для отримання електричної енергії за допомогою сонячних батарей із трьох модулів у липні місяці становить менше 50 %.

### 1.3. Енергія сонця. Сонячні колектори. Розв'язання задач [7]

Серед відновлюваних джерел енергії сонячна радіація за масштабами ресурсів, екологічної чистоти та доступності не поступається енергії вітру і тому також досить перспективна.

Використання сонячної енергії достатньо різноманітне, але найбільш очевидна область застосування сонячної енергії – підігрів повітря і води. В районах з холодним кліматом необхідне опалення жилих будівель і гаряче водопостачання. Промисловість також вимагає велику кількість гарячої води. В Австралії, наприклад, на підігрів рідин до температури 100 С витрачається майже 20% енергії. Для багатьох країн використання сонячних систем теплопостачання - це спосіб зменшити залежність економіки від імпорту викопних палив. У зв'язку з цим у багатьох країнах, особливо в Австралії, Ізраїлі, США, Японії, Іспанії, Німеччині, Австрії, Греції та Кіпрі активно розширюється виробництво сонячних нагрівальних систем. Загальна площа

сонячних колекторів, встановлених у країнах ЄС, до кінця 2004 року досягла 13 960 000 м<sup>2</sup>, а у світі перевищила 150 000 000 м<sup>2</sup>. Щорічний приріст площі сонячних колекторів у ЄС у середньому становить 12 %, а окремих країнах – 20 – 30 % та більше. Сумарна теплова потужність сонячних колекторів у системі теплопостачання склала більше 680 000 ГВт · год в рік.

Основними перевагами сонячної енергії є її доступність та багатогранність застосування; невичерпність; простота використання сонячних систем теплопостачання та ГВП, та можливість використання стандартного обладнання; відносна сталість у багатьох районах.

До недоліків слід віднести: розсіяність; періодичність; необхідність застосування найчастіше дорогих матеріалів; необхідність акумулювання та резервування внаслідок її періодичності.

Сонячний колектор – пристрій, який служить для нагрівання води потоком сонячної енергії та є основним компонентом будь-якої сонячної системи теплопостачання. Сонячний тепловий колектор включає прозору панель, теплопоглинаючу панель, набір скляних трубок для рідинного теплоносія, теплоізоляційний шар.

У колекторі відбувається поглинання сонячного випромінювання та передача енергії рідини, тобто перетворення сонячної енергії на тепло. Найпростіші приймачі містять весь об'єм рідини, яку необхідно нагріти. Приймачі складнішої конструкції нагрівають за певний час лише невелику кількість рідини, яка, як правило, потім накопичується в окремому резервуарі (баку-акумуляторі). Від технічної досконалості колектора та вартості залежить ефективність всієї системи сонячного теплопостачання та її економічні показники.

Потік променистої енергії  $Q_{\text{пов}}$ , [Вт], що поглинається поверхнею приймача, складає:

$$Q_{\text{пов}} = \tau_{\text{пов}} \alpha A I \quad (1.13)$$

де  $\tau_{\text{пов}}$  - коефіцієнт пропускання сонячного випромінювання прозорим покриттям, приймається рівним 0,9 для одинарного скляного покриття, 0,8 – для подвійного скляного покриття, 0,81 – для селективного скла;

$\alpha$  – коефіцієнт поглинання приймальної поверхні колектора сонячного випромінювання, що приймається рівним 0,91 для одинарного скляного покриття, 0,9 – для подвійного скляного покриття, 0,81 – для селективного скла;

$A$  – площа освітлюваної поверхні колектора,  $\text{м}^2$  ;

$I$  – опроміненість поверхні сонячного колектора,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

У процесі поглинання енергії температура поверхні приймача підвищується і стає істотно вищим за температуру навколишнього повітря. Це призводить до виникнення зворотного теплового потоку в навколишнє середовище, який можна визначити:

$$Q_{\text{пов}} = A (T_n - T_{\text{н.с.}}) / R_n \quad (1.14)$$

де  $T_n$  - температура приймальної поверхні колектора, [К] ;

$T_{\text{н.с.}}$  - температура навколишнього середовища , [К] ;

$R_n$  – термічний опір приймальної поверхні колектора, для типових колекторів можна прийняти рівним  $0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  для одинарного скла,  $0,22 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  – для двошарового скла,  $0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  – для селективного скла.

Рівняння сонячного колектора можна уявити

$$Q_{\text{пов}} = A \left[ \tau_{\text{пов}} \alpha A I - \frac{(T_n - T_{\text{н.с.}})}{R_n} \right] \quad (1.15)$$

Проте чи вся енергія, одержувана колектором, передається воді, а тільки її частина, що характеризується коефіцієнтом переходу  $k_f$  сонячної енергії, що показує частку теплового потоку  $Q_{\text{ск}}$ , що передається рідини, приймається рівним 0,85:

$$Q_{\text{ж}} = k_f \cdot Q_{\text{ск}} \quad (1.16)$$

Кількість тепла, необхідного для нагрівання рідини на певну різницю температур  $Q_{\text{ж}}$  [Вт] можна записати у вигляді

$$Q_{\text{ж}} = L \rho c (T_{\text{к}} - T_{\text{н}}), \quad (1.17)$$

де  $T_{\text{к}}$  - кінцева температура води, [К];

$T_{\text{н}}$  – початкова температура води, [К];

$\rho$  – щільність води, що дорівнює  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

$c$  – теплоємність води, рівна  $4200 \text{ Дж} / \text{кг}$ ;

$L$  – об'ємна витрата води,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Рівняння теплового балансу колектора можна записати як:

$$k_f \cdot A \left[ \tau_{\text{пов}} \alpha A I - \frac{(T_n - T_{\text{н.с.}})}{R_n} \right] = L \rho c (T_k - T_n) \quad (1.18)$$

З рівняння балансу сонячного колектора визначаються всі основні характеристики. [8]

### Контрольні запитання і завдання

1.1. Є плоский пластинчастий нагрівач з розмірами  $2 \times 0,8 \text{ м}^2$ . Опір тепловтрат становить  $R_n = 0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ; температура приймальної поверхні колектора  $T_n$  збільшується на  $20^\circ\text{C}$ ; температура навколишнього повітря  $T_{\text{н.с.}} = 22^\circ\text{C}$ ; коефіцієнт пропускання сонячного випромінювання прозорим покриттям  $\tau_{\text{пов}} = 0,9$  для одинарного скляного покриття; коефіцієнт поглинання приймальної поверхні колектора сонячного випромінювання  $\alpha = 0,9$  для одинарного скляного покриття, опроміненість поверхні сонячного колектора  $I = 750 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ; початкова температура води  $T_n = 20^\circ\text{C}$ ,  $\rho$  – щільність води, що дорівнює  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $c$  – теплоємність води, дорівнює  $4200 \text{ Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$ . Визначити потрібну об'ємну витрату води  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , для забезпечення умови підвищення температури води на виході з колектора на  $10^\circ\text{C}$ .

1.2. Для умов задачі 1.3. Як зміниться витрата води, якщо використовувати подвійне скло?

1.3. Для умов задачі 1.3. Як зміниться витрата води, якщо використовувати селективне покриття?

1.4. Для умов задачі 1.3. Як зміниться витрата води, якщо потік променистої енергії у площині колектора стане  $I = 1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ?

1.5. Для умов задачі 1.3. Як зміниться витрата води, якщо потік променистої енергії у площині колектора стане  $I = 450 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ?

1.6. Для умов задачі 1.3. Як зміниться температура води на виході, якщо при тій ж витраті води потік променистої енергії площині колектора стане  $I = 1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ?

1.7. Для умов задачі 1.3. Яка має бути площа колектора, щоб забезпечити водопостачання котеджу, в якому проживають 5 осіб за умови що 150 літрів особі на добу?

1.8. Побудуйте залежність витрати води 1) від площі колектора за умовами задачі 1.3.  $A = 2; 3; 6; 10; 20; 40; 100; 200 \text{ м}^2$ . 2) від температури вхідної рідини  $T_{\text{н}} = 12; 15; 18; 20; 24 \text{ }^\circ\text{C}$ , 3) від температури навколишнього повітря  $T_{\text{н.с.}} = 20; 24; 28; 32; 36 \text{ }^\circ\text{C}$ , 4) від температури рідини, що виходить  $T_{\text{к}} = 30; 35; 40; 45 \text{ }^\circ\text{C}$ , 5) від температури поверхні колектора  $T_{\text{п}} = 40; 45; 50; 55; 60 \text{ }^\circ\text{C}$ .

1.9. Побудуйте залежність температури води на виході 1) від площі колектора за умовами задачі 1.3.  $A = 2; 3; 6; 10; 20; 40; 100; 200 \text{ м}^2$ . 2) від температури вхідної рідини  $T_{\text{н}} = 12; 15; 18; 20; 24 \text{ }^\circ\text{C}$ , 3) від температури навколишнього повітря  $T_{\text{н.с.}} = 20; 24; 28; 32; 36 \text{ }^\circ\text{C}$ , 4) від витрати води  $G = 10; 15; 20; 25; 30; 35 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$ , 5) від температури поверхні колектора  $T_{\text{п}} = 40; 45; 50; 55; 60 \text{ }^\circ\text{C}$ , 6) від інтенсивності сонячної радіації  $I = 450; 500; 600; 700; 800; 900 \text{ Вт/м}^2$ .

## 2. ЕНЕРГІЯ ВІТРУ

### 2.1. Характеристика вітру та повторюваність швидкостей вітру для заданого району

Вітер – це переміщення повітряних мас щодо поверхні землі внаслідок нерівномірного нагрівання та перерозподілу атмосферного тиску. Основними характеристиками вітру є його напрямок та середня швидкість за певний період часу.

Енергетичні та аерологічні характеристики вітрової енергії для конкретного регіону відображені у вітроенергетичному кадастрі.

Енергетичними характеристиками вітру є валовий, технічний та економічний ресурси чи потенціали вітру.

Розрахунок залежності потужності, що розвивається ВЕУ від швидкості вітру, проводиться за середніми значеннями швидкостей по градаціях, починаючи від мінімальної.

Дані за середньорічною швидкістю вітру отримані шляхом її вимірювання на стандартній висоті 10 м. Якщо в розрахунках висота вежі ВЕУ відрізняється від стандартної, необхідно провести перерахунок потужності з урахуванням поправного коефіцієнта за висотою  $K_H$ . Якщо вежа знаходиться в межах 8-10 м, перерахунку потужності не потрібно. [9]

**Завдання 2.1.** Визначити кількість енергії, яку може виробити вітроенергетична установка протягом року з урахуванням повторюваності швидкостей вітру за градаціями у заданому районі Київської області. Дані до розрахунку представлені в табл.2.1., повторюваність швидкостей вітру – в табл.2.2. Додатки 2.

#### Методика розрахунку

1. Розраховується кількість енергії, яка може бути вироблена вітроустановкою для кожного місяця з питомою площею, що омітається, з урахуванням повторюваності швидкостей для заданого району:

$$W_{уд}^M = \beta T \left( \sum_{v_{min}}^{v_p} v_i^3 * t^* + v_p^3 \sum_{v_p}^{v_{max}} t^* \right), \frac{\kappa B m * \text{ч}}{M^2} \quad (2.1)$$

де  $\beta = 2 * 10^{-4}$  - коефіцієнт, що враховує характеристики вітру;

T – число годин роботи ВЕУ на місяці, год;

$v_i$  – середня швидкість у градації, м/с;

$v_p$  – робоча швидкість вітроустановки, м/с;

$v_{max}$  – максимальна швидкість вітроустановки, м/с;  $v_p$  – мінімальна швидкість вітроустановки, м/с

$t^*$  – повторюваність швидкості вітру для цієї градації.

2. Визначається повна енергія, що виробляється для кожного місяця

$$W_{BEY}^M = \frac{W_{y\delta}^M (\pi D^2)}{4}, \kappa B m * \text{ч} \quad (2.2)$$

3. Визначається повна енергія, що виробляється вітроустановкою протягом року

$$W_{BEY}^{\Gamma} = \sum_{i=1}^n W_{BEY}^M, \kappa B m * \text{ч} \quad (2.3)$$

4. Побудувати залежність виробленої вітроустановкою потужності від  $W_{BEY}^{\Gamma} = f(m - \text{ч})$ .

Визначити максимум вироблення енергії. [10]

### Приклад розрахунку

Вихідні дані:

Район– місто Златоуст; Тип ВЕУ – ЛМВ-500;

Номинальна потужність,  $P_{BCY} = 0,5$  кВт; Мінімальна швидкість обертання  $v_{min} = 3$  м/с; Робоча швидкість обертання  $v_p = 7,0$  м/с; Максимальна швидкість обертання  $v_{max} = 30$  м/с; Діаметр вітроколеса,  $D=3$  м.

1. Кількість енергії з питомої площі, яку може виробити ВЕУ в січні в районі м. Золотоуста з урахуванням повторюваності вітру в цьому районі:

$$W_{y\partial}^M = \beta T \left( \sum_{v_{min}}^{v_p} v_i^3 * t^* + v_p^3 \sum_{v_p}^{v_{max}} t^* \right) = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 31 \cdot 24 [(3^3 \cdot 0,31 + 4,5^3 \cdot 0,14 + 6,5^3 \cdot 0,05) + 7^3 (0,05 + 0,02 + 0,01 + 0 + 0 + 0)] = 9,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2.$$

Для інших місяців розрахунок ведеться аналогічно.

10. Повна енергія, що виробляється ВЕУ у січні:

$$W_{B\exists y}^M = W_{y\partial}^M \frac{\pi D^2}{4} = 9,2 \cdot \frac{3,14 \cdot 3^3}{4} = 65,13, \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Для інших місяців розрахунок аналогічний.

Повна енергія, яка може бути вироблена ВЕУ за рік у районі Золотоуста визначається сумою енергій кожного місяця.

## 2.2. Розрахунок потужності, що виробляється вітроустановкою

Для перетворення енергії вітру на механічну або електричну енергію використовуються вітроенергетичні установки (ВЕУ). Механічна енергія, що виробляється ВЕУ, переважно використовується для підйому води. Електрична енергія може вироблятися ВЕУ як промислового споживання, так побутових потреб.

Конструктивно ВЕУ можуть бути горизонтально-осьові та вертикально-осьові. Горизонтально-осьові ВЕУ переважно пропелерного типу. За кількістю лопатей вони можуть бути одне, двох, трьох і багатолопатеві. Вітроколесо таких установок обертається під дією підйомної сили крила.

Коефіцієнт використання енергії вітру (критерій Бетца-Жуковського) залежить від величини втрати швидкості вітру при проходженні через площину вітроколеса. Максимальне значення цього коефіцієнта одно 0,593, тобто. вітроустановкою може бути використано трохи більше половини вітрового потоку. Для реальних горизонтально-осьових ВЕУ  $\xi=0,42$ , для вертикально-осьових  $\xi=0,38$ .

Швидкість вітру є визначальним параметром для розрахунку потужності ВЕУ, тому що вона знаходиться в кубічній залежності від цієї

швидкості. Роботу вітроустановки характеризують наступні швидкості:

–  $v_{min}$  - Мінімальна (стартова) швидкість вітру, при якій вітроколесо починає обертатися;

–  $v_p$  - Розрахункова (номінальна) швидкість, при якій вітроустановка виходить на робочий режим і розвиває номінальну потужність;

–  $v_{max}$  - максимальна швидкість вітру, при якій вітроустановка повинна бути відключена.

У діапазоні швидкостей від  $v_{min}$  до  $v_p$  ВЕУ розвиває тим більшу потужність, що більше швидкість вітру. При швидкості вітру  $v \geq v_p$  автоматично встановлюється постійний режим обертання вітроколеса за допомогою спеціального регулювального пристрою. Якщо  $v > v_{max}$ , вітровий напір на вітроустановку стає критичним і за умови механічної міцності відбувається його зупинка за рахунок регулювання кута атаки лопатей. Потужність, що виробляється вітроустановкою, відрізняється від потужності, що розвивається вітроколесом, на величину втрат при перетворенні енергії вітру, що утилізується, в корисну енергію. [11]

Вибір потужності ВЕУ визначається електричним навантаженням електроспоживачів, які використовуються в об'єкті, що розглядається. При цьому слід враховувати, що вони практично ніколи не включаються одночасно. Тому розрахунок ведеться за середніми показниками електроспоживання. Крім цього, споживання електроенергії залежить від часу доби. Наприклад, у нічний час доби енергоспоживання зазвичай знижується, а робота вітроустановки триває. Таким чином, слід передбачити установки, що акумулюють, що дозволяють накопичувати енергію в період зниження споживання і далі використовувати накопичену енергію в період пікових навантажень. [12]

**Завдання 2.2.** Розрахувати потужність, що виробляється горизонтально-осьовий вітроустановкою і побудувати залежність вироблюваної потужності від швидкості вітру для заданого району Київської області. Дані до розрахунку взяти з табл.П 2.1 додатка 2.

## Методика розрахунку

1. Площа, омітається вітроколесом, дорівнює:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (2.4)$$

де  $D$  – діаметр вітроколеса, м.м.

2. Визначається потужність, що виробляється вітроустановкою:

$$P = \rho \frac{A}{2} v^3 \cdot \xi \cdot \eta, \text{ Вт} \quad (2.5)$$

де  $\rho$  – щільність повітря, що дорівнює  $1,23 \text{ кг/м}^3$ ;

$v$  – швидкість вітру, м/с;

$\xi$  – коефіцієнт використання енергії вітру;

$\eta$  – коефіцієнт, що враховує втрати при передачі потужності від валу вітроколеса до робочої машини (К.П.Д. ВЕУ), що визначається:

$$\eta_n = \eta_p * \eta_g \quad (2.6)$$

де  $\eta_p$  - К.П.Д. редуктора (механічний К.П.Д.);

$\eta_g$  - К.П.Д. генератори.

Для розрахунків приймаємо  $\eta_n = 0,8$ .

Потужність, що виробляється вітроустановкою, розраховується для всього діапазону швидкостей, зазначених у технічній характеристиці ВЕУ. Дані розрахунку потужності в інтервалі від  $v_{\min}$  до  $v_p$  занести до табл.2.1.

Таблиця 2.1. Результати розрахунку залежності потужності ВЕУ від швидкості вітру

$v, \text{ м/с}$									
$P, \text{ Вт}$									

За даними табл. 2.1 побудувати залежність  $P=f(v)$ , вказавши у ньому характерні точки:  $v_{\min}, P_{\min}, v_p, P_p; v_{\max}$ .

3. Визначити річне вироблення електроенергії  $W_e$  за рахунок ВЕУ.

$$W_I = \frac{P_{BEU} \cdot T}{1000}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (2.7)$$

де  $T$  - час роботи вітроустановки на рік, год.

4. Визначити середньорічну забезпеченість електроенергією приватного будинку від ВЕУ:

$$E_E = \frac{W_\Gamma}{\Pi_\Gamma} 100\% \quad (2.8)$$

Дані щодо річного споживання електроенергії приватним будинком  $\Pi_\Gamma$  взяти із завдання 1.1.

5.Зробити висновки щодо доцільності використання ВЕУ для заданого району. [12]

### Приклад розрахунку

Вихідні дані аналогічні до завдання 2.1.

1. Площа, омітається вітроколесом:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 9}{4} = 7,06 \text{ м}^2$$

2. Потужність, що виробляється вітроустановкою швидкості обертання вітроколеса:

$$P = \rho \frac{A}{2} v^3 \cdot \xi \cdot \eta = 1,23 \cdot \frac{7,06}{2} \cdot 7^3 \cdot 0,42 \cdot 0,8 = 500,4 \text{ Вт.}$$

Аналогічним чином вважається потужність інших швидкостей вітру в діапазоні від  $v_{\min}$  до  $v_p$  з інтервалом в 1,0 м/с. Дані заносяться до таблиці 2.1, якими будується залежність  $P=f(v)$ .

3. Річний виробіток електроенергії  $W_\Gamma$  за рахунок ВЕУ за умови сталості середньорічної швидкості вітру  $v=7$  м/с.

$$W_\Gamma = \frac{P_{BЭУ} \cdot T}{1000} = \frac{500 \cdot 8760}{1000} = 4380 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

4. Середньорічна забезпеченість електроенергією приватного будинку від ВЕУ:

$$E_E = \frac{W_\Gamma}{\Pi_\Gamma} 100\% = \frac{4380}{5760} \cdot 100\% = 76\%$$

Тобто потреба в електроенергії електропобутових приладів у приватному будинку на 76% може бути забезпечена за рахунок вітроенергетичної установки.

## **2.3.Вітрова енергетика. Потужність вітроенергетичних установок**

Вітроенергетика з її сучасним технічним обладнанням є цілком сформованим напрямком енергетики. Вітроенергетичні установки потужністю від кількох кіловат до мегават виробляються в Європі, США та інших частинах світу. Більшість цих установок використовується для виробництва електроенергії, як в єдиній енергосистемі, так і в автономних режимах.

Основними перевагами вітронергетики є: простота конструкцій та простота їхньої експлуатації; доступність цього справді невичерпного джерела енергії. До недоліків слід насамперед віднести мінливість напрямку і сили вітру: можливість тривалих простоїв і необхідність акумулювання і резервування вітроенергетичних установок, що впливає з цього, відчуження територій і зміна традиційних ландшафтів.

Відомо, що при швидкості вітру  $u$ , м/с, і щільності повітря  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, вітроколесо, охоплює площу  $F$ , м<sup>2</sup> розвиває потужність  $P$ , Вт, що визначається

$$P = \xi F \rho u^3 / 2. \quad (2.9)$$

Тут  $\xi$  - коефіцієнт потужності, що характеризує ефективність використання вітроколесом енергії вітрового потоку та прийнятий рівним 0,35.

З (2.9) видно, що потужність  $P$  пропорційна охопленій площі  $F$  і кубу швидкості. Коефіцієнт потужності залежить від конструкції вітроколеса та швидкості вітру. Так як швидкість вітру непостійна, а потужність дуже сильно залежить від швидкості, то вибір оптимальної конструкції вітроколеса багато в чому визначається вимогами споживача енергії. Зазвичай середньорічна потужність, що знімається з одиниці площі вітроколеса, пропорційна щільності повітря і кубу середньої швидкості. Максимальна проектна потужність вітроенергетичної установки (ВЕУ) визначається для деякої стандартної швидкості вітру. Зазвичай ця швидкість дорівнює приблизно 12 м/с, при цьому потужність, що знімається з 1 м<sup>2</sup> охопленої площі, - близько 300 Вт при значенні  $\xi$  від 0,3 до 0,45. У районах зі

сприятливими вітровими умовами середньорічне виробництво електроенергії складає 22 -30% від його максимального проектного значення. Термін служби вітрогенераторів зазвичай не менше 15-20 років, а їхня вартість коливається від 1000 до 1500 дол. США за 1 кВт проектної потужності.

Однією з основних умов при проектуванні вітрових установок є забезпечення їх захисту від руйнування дуже сильними випадковими поривами вітру. Вітрові навантаження пропорційні квадрату швидкості вітру, а раз на 50 років бувають вітри зі швидкістю, що в 5 -10 разів перевищує середню, тому установки доводиться проектувати з дуже великим запасом міцності. Крім того, швидкість вітру дуже коливається в часі, що може призвести до втомливих руйнувань, а для лопатей істотні ще й змінні гравітаційні навантаження (близько  $10^7$  циклів за 20 років експлуатації).

Причиною виникнення вітрів є поглинання земною атмосферою сонячного випромінювання, що призводить до розширення повітря та появи конвективних течій. У глобальному масштабі на ці термічні явища накладається ефект обертання Землі, що призводить до появи переважаючих напрямків вітру. Окрім цих загальних, чи синоптичних, закономірностей багато у цих процесах визначається місцевими особливостями, зумовленими певними географічними чи екологічними чинниками. Швидкість вітрів збільшується з висотою, а їх горизонтальна складова значно більше вертикальної. Остання обставина є основною причиною виникнення різких поривів вітру та деяких інших дрібномасштабних ефектів. Сумарна кінетична енергія вітрів оцінюється величиною порядку  $0,7 \cdot 10^{21}$  Дж. Внаслідок тертя, переважно в атмосфері, а також при контакті з землею і водною поверхнями ця енергія неперервно розсіюється, при цьому розсіювана потужність – порядку  $1,2 \cdot 10^{15}$  Вт, що приблизно рівно 1% поглиненої енергії сонячного випромінювання. [13]

Для аналізу вітроенергетичного потенціалу місцевості складається вітроенергетичний кадастр, який є районованою системою чисельних характеристик режиму вітру. Вітроенергетичний кадастр-це сукупність об'єктивно достовірних та необхідних кількісних відомостей, що

характеризують вітер як джерело енергії. У кадастрі всі характеристики зазвичай представлені у табличній чи графічній формі, використовуючи матеріали багаторічних спостережень.

У більшості прикладних задач вітроенергетики набагато важливіше знати не сумарну кількість енергії, яке може виробити вітроустановка, наприклад, за рік, а ту потужність, яку вона може забезпечувати постійно. За сильного вітру, від 10 до 12 м/с, вітроустановки виробляють достатньо електроенергії, яку іноді навіть доводиться скидати в систему або запасати. Труднощі виникають у періоди тривалого затишшя або слабкого вітру. Тому для вітроенергетики є законом вважати райони із середньою швидкістю вітру менше 5 м/с малоприсадними для розміщення вітроустановок, а зі швидкістю 8 м/с дуже хорошими. Але незалежно від цього у всіх випадках потрібен ретельний вибір параметрів вітроустановок відповідно до місцевих метеоумов.

Для проведення аналізу вітроенергетичного потенціалу потрібно попередньо проводити протягом року щоденні 5-кратні вимірювання швидкості вітру з рівними проміжками часу: о 9 год, 12 год, 15 год, 18 год і о 21 год. [12]

Можливе використання баз даних метеовимірювань або вітроенергетичних кадастрів.

Порядок обробки результатів вимірів наступний [6].

1. Результати вимірювань швидкості вітру  $u_1$ , м/с, об'єднуються у групи з інтервалом  $\Delta u$ . Визначається загальна кількість вимірювань  $N$ .

2. Оскільки вимірювання швидкості можуть проводитися на висоті  $h_1$  а для оцінки енергетичного потенціалу потрібна швидкість вітру  $u$ , м/с, на висоті передбачуваної установки вітротурбін  $h$ . визначення швидкості вітру на висоті  $h$  виконується за допомогою відомої апроксимаційної залежності

$$u = u_1 (h/h_1)^{1/5}, \quad (2.10)$$

де  $h$  визначається із попередніх розрахунків (якщо відомий діаметр колеса вітроагрегату, наприклад).

3. Визначається величина імовірнісного розподілу швидкості вітру

$$\Phi_u = N_{ui}/N, \quad (2.11)$$

де  $N_{ui}$  - число вимірювань в  $i$ -му швидкісному інтервалі.

Будується залежність  $\Phi_u = f(u)$ . Добуток  $\Phi_u \Delta u$  може бути інтерпретовано як частина пори року, протягом якої швидкість вітру має значення, що містяться в інтервалі від  $u$  до  $u + \Delta u$ .

4. Середнє значення швидкості вітру  $u_c$ , м/с визначається співвідношенням

$$u_c = \sum u_i / N, \quad (2.12)$$

де  $\sum u_i$  - сума всіх вимірних значень швидкості.

5. Визначається ймовірність  $\Phi_{u>u'}$  появи вітру зі швидкістю  $u$ , більшої певної заданої швидкості  $u'$ , для чого складаються ймовірності всіх швидкісних інтервалів, в яких  $u > u'$ . Ймовірність  $\Phi_{u>u'}$  може бути інтерпретована як частина пори року, протягом якої вітри дмуть зі швидкістю, більшою  $u'$ . Будується залежність  $\Phi_{u>u'} = f(u)$ .

6. Потужність вітрового потоку одиничного перерізу  $P_u$ , Вт визначається

$$P_u = \rho u^3 / 2, \quad (2.13)$$

де  $\rho$  - щільність повітря, приймається рівною  $1,3 \text{ кг/м}^3$ .

Добуток  $P_u \cdot \Phi_u$ , являє собою функцію розподілу енергії вітру. Будується залежність  $P_u \cdot \Phi_u = f(u)$ .

7. Будується залежність  $P_u = f(\Phi_{u>u'})$ , що дозволяє визначити ймовірність очікування вітрового потоку заданої потужності.

Після виконання обробки вимірювань та розрахунків проводиться аналіз отриманих результатів. Зазвичай акцентуються такі моменти.

1. Користуючись побудованою залежністю  $\Phi_u = f(u)$ , необхідно порівняти середнє значення швидкості вітру з найбільш ймовірним значенням швидкості вітру в даній місцевості, а також з розрахунковою швидкістю, що приймається для проктування ВЕУ ( $u = 10 - 12 \text{ м/с}$ ).

2. За допомогою побудованої залежності  $P_u \cdot \Phi_u = f(u)$ , визначається

значення швидкості, при якій функція розподілу енергії вітру має максимум і порівнюється з найбільш ймовірним значенням швидкості вітру в цій місцевості.

3. За допомогою побудованої залежності  $P_u = f(\Phi_{u>u})$ , визначається ймовірність очікування вітрового потоку певної потужності.

Дослідження показують, що найточніше статистичні дані метеорологічних вимірів описуються теоретичною залежністю розподілу Релея. [14]

Таким чином, для визначення ймовірності швидкості вітру є аналітичний вираз, який відповідає експериментальним даним. У цьому випадку, по-перше, можливо різко скоротити необхідну кількість вимірювань швидкості вітру, по-друге, є можливість аналітичного розрахунку характеристик вітроустановок.

Для розподілу Релея справедливі наступні рівності

$$\Phi_{u>u} = \exp\left[-\pi/4 \cdot (u/\bar{u})^2\right], \quad (2.14)$$

де  $\Phi_{u>u}$  — ймовірність появи вітру зі швидкістю  $u$ , м/с, більшою за деяку задану швидкість  $u'$ , м/с;  $\bar{u}$  — середнє значення швидкості, м/с;

$$(\bar{u}^3)^{1/3} = 1,24\bar{u}. \quad (2.15)$$

Для розподілу Релея також справедливі твердження, що можливість швидкості  $\Phi$ , максимальна при значенні швидкості

$$u = (2/\pi)^{1/2} \cdot \bar{u} = 0,8\bar{u} \quad (2.16)$$

і функція  $\Phi_u \cdot u^3$  максимальна при значенні швидкості

$$u = 2(2/\pi)^{1/2} \cdot \bar{u} = 1,6\bar{u} \quad (2.17)$$

Достовірно оцінити, яка частка енергії вітру може бути використана в енергетиці, навряд чи можливо, оскільки ця оцінка дуже сильно залежить від рівня розвитку вітроенергетики і споживачів. Тим не менш, офіційні оцінки можливої частки вітроенергетики в енергетиці в цілому, наприклад, у Великобританії та Західної Німеччини, що не передбачають будь-яких серйозних змін в інфраструктурі енергоспоживання, дають не менше 20%. При певних змінах інфраструктури частка вітроенергетики може біти суттєво більшою. Автономні вітрові електроустановки дуже перспективні для

витіснення дизельних електростанцій і опалювальних установок, працюючих на нафтопродуктах, особливо в віддалених районах і на островах.

Вітроенергетичні установки класифікуються за двома основними ознаками - геометрією вітроколеса та його положенням відносно напрямку вітру.

Класифікація вітроелектрогенераторів на основі перерахованих вище ознак, звичайно, не вичерпує всього різноманіття можливих конструкцій вітроустановок. Особливо це стосується найбільш перспективних установок, що використовують спеціальні пристрої для збільшення швидкості набігаючого вітрового потоку. [15]

*Вітроколесо з горизонтальною віссю.* Розглянемо горизонтально-осьові вітроколеса пропелерного типу. Основною обертальною силою у коліс цього типу є підйомна сила. Відносно вітру ветроколесо в робочому положенні може розташовуватися перед опорною вежею або за нею. При передньому розташуванні вітроколесо повинно мати аеродинамічний стабілізатор або будь-який інший пристрій, що утримує його в робочому положенні. При задньому розташуванні вежа частково затінює ветроколесо і турбулізує потік, що набігає на нього. При роботі колеса в таких умовах виникають циклічні навантаження, підвищений шум та флуктуація вихідних параметрів вітроустановки. Напрямок вітру може змінюватися досить швидко, і ветроколесо має чітко відстежувати будь-які інші зміни. Тому у ВЕУ потужністю понад 50 кВт для цієї мети використовуються електричні серводвигуни.

У вітроелектрогенераторах зазвичай використовуються дво-і трилопатеві вітроколеса, останні відрізняються плавним ходом. Електрогенератор і редуктор, що з'єднує його з вітроколесом, розташовані, зазвичай, зверху опорної вежі в поворотній головці. В принципі їх зручніше розміщувати внизу, але складності, що при цьому виникають, з передачею крутного моменту знецінюють переваги такого розміщення. Багатолопатеві колеса, що розвивають великий крутний момент, при слабкому вітрі, використовуються для перекачування води та інших цілей, що не вимагають

високої частоти обертання вітрового колеса.

*Вітроелектрогенератори з вертикальною віссю.*

Вітроелектрогенератори з вертикальною віссю обертання внаслідок своєї геометрії за будь-якого напрямку вітру перебувають у робочому положенні. Крім того, така схема дозволяє за рахунок лише подовження валу встановити редуктор із генераторами внизу вежі. [16]

Принциповими недоліками таких установок є: 1) набагато більша схильність до їх втомлювальних руйнувань через більш часто виникаючих в них автоколивальних процесів і 2) пульсація крутного моменту, що призводить до небажаних пульсацій вихідних параметрів генератора. Через це переважна більшість ветрозлектрогенераторів виконана за горизонтально-осьовою схемою, проте дослідження різних типів вертикально-осьових установок продовжуються.

Найбільш поширені типи вертикально-осьових установок такі.

1. *Чашковий ротор (анемометр)*. Вітроколесо цього типу обертається силою опору. Форма чашкоподібної лопаті забезпечує практично лінійну залежність частоти обертання колеса від швидкості вітру.

2. *Ротор Савоніуса*. Це колесо також обертається силою опору. Його лопаті виконані з тонких вигнутих листів прямокутної форми, тобто відрізняються простотою та дешевизною. Обертний момент створюється завдяки різному опору, діючому на повітряний потік увігнутою та вигнутою щодо нього лопатями ротора. Через велике геометричне заповнення це вітроколесо має великий крутний момент і використовується для перекачування води.

3. *Ротор Дар'є*. Обертний момент створюється підйомною силою, що виникає на двох або трьох тонких вигнутих несучих поверхнях, що мають аеродинамічний профіль. Підйомна сила максимальна в той момент, коли лопать з великою швидкістю перетинає набігаючий повітряний потік. Ротор Дар'є використовується у вітроелектрогенераторах. Розкручуватись самостійно ротор, як правило, не може, тому для його запуску зазвичай використовується генератор, працюючий у режимі двигуна.

4. *Ротор Масгрува.* Лопаті цього вітроколеса у робочому стані розташовані вертикально, але мають можливість обертатися або складатися навколо горизонтальної осі при відключенні. Існують різні варіанти роторів Масгрува, але вони відключаються при сильному вітрі.

5. *Ротор Еванса.* Лопаті цього ротора в аварійній ситуації та при керуванні повертаються навколо вертикальної осі.

*Концентратори.* Потужність вітроенергоустановки залежить від ефективності використання енергії повітряного потоку. Одним із способів її підвищення є концентратори (підсилювачі) повітряного потоку. Для горизонтально-осьових вітроелектрогенераторів розроблено або запропоновано різні варіанти таких концентраторів. Це можуть бути дифузори або конфузори (дефлектори), що направляють на вітроколесо повітряний потік з площі, більшої площі охопленої ротором, і деякі інші пристрої. Широкого поширення в промислових установках використання концентратори поки не отримали. [17]

#### Контрольні запитання і завдання

2.1. Визначити вертикальний профіль вітру, якщо відомо, що на висоті  $h$ , м швидкість вітру склала  $v$ , мс .

2.2. Визначити діаметр вітроколеса, необхідний для вітроустановок потужністю 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000, 2000, 3000. 4000 кВт при швидкості вітру  $v = 12$  м/с; коефіцієнт використання енергії вітру  $\xi = 0,3$  , щільність повітря прийняти рівною  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>.

2.3. На якій висоті доцільно розмішати вітродвигуни, якщо відомо, що на висоті  $h = 1,5$  м швидкість вітру становила  $v = 5$  м/с. Потреба енергії становить 100 кВт. Скільки знадобиться установок, якщо діаметр вітроколеса дорівнює  $D$ , м.

2.4. На острові Фейр у Північному морі проживає 70 людей. Там проблеми з вугіллям, нафтою, бензином – все треба завозити. Однак, на острові постійно дмуть вітри із середньою швидкістю 8 м/с. Визначте кількість та потужність вітроустановок, які можуть забезпечити енергією цей

населений пункт. Структура енергоспоживання: освітлення, побутові прилади -3 кВт; опалювальні установки, електроплити – 35 кВт; теплиці –7 кВт; заряджання електромобілів - 5 кВт. Діаметр вітроколеса  $D$ , м.

2.5. У нижнесаксонському селищі Бімольтен, на висоті 98 метрів, встановлено 14 вітротурбін. Визначити їхню встановлену потужність, якщо їх діаметр становить 10 м. Відомо, що на висоті  $h = 2$  м швидкість вітру  $v = 6,8$  м/с

2.6. У нижнесаксонському Лері на північний захід від острова Боркум, будуються 12 вітротурбін, потужністю 4-5 МВт кожна. Визначити їх теоретичний діаметр за швидкості вітру в 12 м/с.

2.7. Для умов попереднього завдання. У 2007р. планувалося загальну потужність збільшити до 1000 МВт. Скільки потрібно встановити ще таких турбін?

2.8. Турбіна Е 112 має встановлену потужність 4,5 МВт. Її діаметр становить 110 м. Визначити висоту, на якій повинна працювати турбіна в номінальному режимі, якщо відомо, що в даній місцевості на висоті  $h$ , м швидкість вітру склала  $v$ , м/с.

2.9. Побудуйте залежність потужності, що знімається з турбіни 1). від діаметра турбіни  $D = 2; 4; 8; 15; 30; 50; 100$  м. Прийняти швидкість вітру  $v = 12$  м/с , коефіцієнт використання  $\xi = 0,3$  , щільність  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup> 2). Від швидкості вітру  $v = 6; 8; 10; 12; 14$  м/с. Прийняти діаметр вітроколеса  $D = 15$  м; коефіцієнт використання  $\xi = 0,3$ ; щільність  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup> 3) Від висоти установки вітроколеса турбіни  $h = 20; 30; 40; 60; 80; 100; 120$  м. Прийняти діаметр вітроколеса  $D = 15$  м; коефіцієнт використання  $\xi = 0,3$ ; щільність  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>, якщо відомо, що в цій місцевості на висоті  $h$ , м, швидкість вітру склала  $v$ , м/с.

### 3. ЕНЕРГІЯ БІОМАСИ

Біомаса як похідна енергії Сонця в хімічній формі є одним з найбільш популярних і універсальних ресурсів на Землі. При розгляді енергетичного потенціалу до біомаси відносять всі форми матеріалів рослинного походження, які можуть бути використані для одержання енергії: деревину, трав'яні та зернові культури, відходи лісового господарства та тваринництва тощо. Теплотворна здатність сухої біомаси становить близько 14 МДж/кг. У момент утворення (збирання врожаю) біомаса містить велику кількість води, від 8 до 20% у пшеничній соломі, 30 – 60 % у деревині, до 75 – 90 % у гною сільськогосподарських тварин та 95 % у водному гіацинті.

У процесі переробки біомаси за рахунок бродіння виділяється біогаз, який є цінним, екологічно чистим паливом.

Вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини та виду використовуваної сировини. З тонни гною великої рогатої худоби виходить 40 – 50 м<sup>3</sup> біологічного газу із вмістом метану 60 %.

Енергія, укладена в 1 м<sup>3</sup> біогазу еквівалентна 0,6 м<sup>3</sup> природного газу, 0,74 м<sup>3</sup> нафти та 0,66 л дизельного палива. [18]

У розрахунках використовують поняття сухої речовини (СВ). Вода, що міститься в біомасі, не дає газу.

Виробництво біогазу відбувається за допомогою спеціальних пристроїв – біогазових установок (БДУ). Основними компонентами БДУ є: метантенк (реактор), газгольдер, система завантаження, система вивантаження, змішувальна ємність та випускний газопровід.

Розрізняють 3 рівня бродіння: низький (до 20 °С) - психрофільне бродіння; середній (32–34 °С) – мезофільне бродіння та високий (52–55 °С) – термофільне бродіння. Чим вище температура, тим краще йде процес бродіння, проте значно зростають витрати на підігрів. [19]

**Завдання 3.1.** Розрахувати обсяг біогазової установки для фермерського господарства та вихід біогазу при зброджуванні гною від тварин. Процес бродіння – мезофільний, завантаження біомаси – із

приміщення з температурою  $t$  О.С.

$=15$  °С. Визначити потенційний запас енергії біогазу та кількість теплоти для підтримки процесу бродіння біомаси у метантенку. Визначити, який обсяг природного газу, нафти та дизельного палива може замінити отриманий обсяг біогазу. Вихідні дані для розрахунку за варіантами взяти у додатку 3, табл.П.3.1. [14]

#### Методика розрахунку

1. Визначається вихід гною від кожного виду тварин з урахуванням підстилки:

$$K_{Pi} = 1,5 \cdot M_{сутi} \cdot n, \frac{\text{кг}}{\text{сут}}, \quad (3.1)$$

де 1,5 - коефіцієнт, що враховує наявність підстилки;

$M_{сутi}$  – добовий вихід гною залежно від виду тварин, кг/добу.  
(табл.П.3.2 додатка 3);

$n$  – кількість голів.

2. Визначається сумарна частка сухої речовини (СВ) у гною. Для кожного виду тварин вона дорівнює:

$$M_{CBi} = K_{i}(1 - W), \text{кг/сут}, \quad (3.2)$$

де  $W$  - вологість гною, о. (Табл. П.3.2).

3. Визначається обсягметантенка БДУ при використанні гною відповідного виду тварин на добу:

$$V_M = \frac{M_{CB\Sigma}}{m_p}, \text{м}^3/\text{сут сут} \quad (3.3)$$

де  $m_p$  – рекомендований обсяг завантаження СВ на  $\text{м}^3$  метантенка,  $\text{кг}/\text{м}^3$  (з табл.П. 3.2 береться більше значення для заданого виду тварин).

4. Частка сухої органічної речовини (ЗР) у гною для кожного виду тварин:

$$M_{COBi} = M_{CBi} \cdot P, \text{кг/сут}, \quad (3.4)$$

де  $P$  - частка СОР у сухій речовині гною (табл.П.3.2).

5. Вихід біогазу при повному розкладанні сухої органічної речовини:

$$V_{Pi} = m_H \cdot M_{COBi}, \text{м}^3, \quad (3.5)$$

де  $m_H$  – вихід біогазу з 1 кг СОВ у гною, приймається рівним 0,315–0,415 м<sup>3</sup>/кг.

6. Сумарний вихід біогазу при зброджуванні біомаси для цього обсягу метантенка визначається:

$$V_E = \Sigma(V_{Pi} \cdot m_{Bi}), \text{ м}^3, \quad (3.6)$$

де  $m_{Bi}$  – частка виходу біогазу відхідного матеріалу при даній тривалість метанового бродіння (табл.П.3.2).

7. Визначається обсяг метантенка при повному завантаженні:

$$V_{П.З} = \frac{K_{П\Sigma} \cdot T}{\rho_H}, \text{ м}^3, \quad (3.7)$$

де  $K_{П\Sigma}$  – сумарне значення для всіх видів тварин;

$T$  – тривалість бродіння, сут (береться найбільше з видів тварин);

$\rho_H$  – питома щільність маси, що зброджується. Т.я., вологість гною зазвичай близька до 90%,  $\rho_H$  приймають рівною  $\rho_{\text{води}} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

8. Перевіряється відповідність обсягу метантенка його повному завантаженню:

–якщо  $V_{П.З.} \ll V_M$ , отже, частина метантенка використовуватися не буде, що економічно не вигідно.

–при  $V_{П.З.} = V_M$  може виникнути проблема через забивання каналу збору біогазу піною.

Рекомендоване співвідношення  $V_{П.З.}/V_M = 0,7 \dots 0,9$ .

9.Потенційний запас енергії біогазу, що виробляється протягом доби:

$$P_E = V_B \cdot C_B, \text{ МДж}, \quad (3.8)$$

де  $C_B=22$  МДж/м<sup>3</sup> – теплотворна здатність біогазу.

10. Визначається кількість теплоти для підтримання режиму бродіння біомаси:

$$Q = K_{П\Sigma} \cdot C (t_B - t_3) \frac{1}{\eta}, \text{ МДж/сут} \quad (3.9)$$

де  $K_{П\Sigma}$  – сумарний вихід гною від усіх видів тварин, кг/добу;

$C$  – середня теплоємність завантажуваної біомаси, приймається рівною  $4,18^{**} \cdot 10^{-3}$  МДж/кг · К;

$t_B$  – температура процесу бродіння, ОК;

$t_3$  – температура маси, що завантажується, приймається рівною температурі навколишнього середовища, К,

$\eta$  – К.П.Д. процесу, у розрахунках приймається рівним 0,7.

1. Визначити, який обсяг природного газу, нафти та дизельного палива може замінити отриманий обсяг біогазу. [4]

### Приклад розрахунку

Вихідні дані:

Вид тварин: корови – 20 гол.; свині – 10 гол.

1. Вихід гною з урахуванням підстилки:

– для корів:

$$K_{П1} = 1,5 \cdot M_{сум1} \cdot n = 1,5 \cdot 40 \cdot 20 = 1200 \text{ КТ/сут.}$$

– для свиней:

$$K_{П2} = 1,5 \cdot M_{сум2} \cdot n = 1,5 \cdot 2 \cdot 10 = 30 \text{ КГ/сут.}$$

2. Сумарна частка сухої речовини

– у гною корів:

$$M_{СВ1} = K_{П1} (1 - W) = 1200 (1 - 0,87) = 156 \text{ КГ/сут}$$

– у гною свиней:

$$M_{СВ2} = K_{П2} (1 - W) = 30 (1 - 0,9) = 3 \text{ кг/сут}$$

3. Об'єм метантенка БДУ для двох видів тварин:

$$V_M = \frac{M_{СВ\Sigma}}{m_p} = \frac{159}{6,0} = 26,5 \text{ м}^3/\text{сут}$$

4. Частка СОВ у гною

– для корів:

$$M_{СОВ1} = M_{СВ1} \cdot P = 156 \cdot 0,8 = 124,8 \text{ КГ/сут}$$

– для свиней:

$$M_{СОВ2} = M_{СВ2} \cdot P = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ КГ/сут}$$

5. Вихід біогазу при повному розкладанні сухої органічної речовини

– для корів:

$$V_{П1} = m_H \cdot M_{СОВ1} = 0,365 \cdot 124,8 = 45,55 \text{ м}^3$$

– для свиней:

$$V_{П2} = m_H \cdot M_{COB2} = 0,365 \cdot 2,4 = 0,87 \text{ м}^3$$

6. Сумарний вихід біогазу при зброджуванні:

$$V_B = \Sigma(V_{Пi} \cdot m_{B_i}) = 45,55 \cdot 0,4 + 0,87 \cdot 0,5 = 18,65 \text{ м}^3.$$

7. Об'єм метантенка при повному завантаженні:

$$V_{П.3} = \frac{K_{П\Sigma} \cdot T}{\rho_H} = \frac{(1200 + 30) \cdot 17}{1000} = 20,9 \text{ м}^3$$

8. Співвідношення  $\frac{V_{П.3}}{V_M} = \frac{20,9}{26,5} = 0,79$ , що відповідає рекомендованій завантаженню метантенка.

9. Потенційний запас енергії біогазу, що виробляється протягом доби:

$$P_E = V_{Б\Sigma} \cdot C_B = 18,65 \cdot 22 = 410,3 \text{ МДж.}$$

10. Кількість теплоти для підтримки режиму бродіння біомаси:

$$Q = K_{П\Sigma} \cdot C(t_B - t_3) \frac{1}{\eta} = 1230 \cdot 4,18 \cdot 10^{-3} (305 - 288) \cdot 1,4 = \\ = 122,4 \text{ МДж/сут.}$$

11. Еквівалент отриманого обсягу біогазу іншим видам палива:

$V_B = 18,65 \text{ м}^3 \equiv 11,2 \text{ м}^3$  природного газу  $\equiv 13,8 \text{ м}^3$  нафти  $\equiv 12,3$  л дизельного палива.

### Контрольні запитання і завдання

3.1. Це правда, що з відходів можна створити енергію?

3.2. Чи є якісь певні види відходів, чи переробити можна все?

3.3. Тобто, те сміття, яке ми викидаємо щодня, може зарядити мій телефон?

3.4. Що таке “зелений тариф”?

3.5. Що таке біогаз і звідки він береться?

3.6. Чи правильно я розумію, Україна може повністю відмовитися від газу. Зовсім?

3.7. Все виглядає досить круто, але коли Україна зможе перейти на чисту енергію?

3.8. Чи можна старі ТЕЦ, ГЕС й АЕС переобладнати?

## 4. ЕНЕРГІЯ МАЛИХ РІК

### 4.1. Розрахунок греблі гідроелектростанції та параметрів гідротурбіни

Водна енергія є похідною від енергії сонця та вітру. Цей джерело енергії належить до поновлюваних, тїр .я. вода під дією сонця випаровується і далі знову випадає як опадів. Для перетворення енергії води на електричну служать гідроелектростанції.

До малих гідроелектростанцій відносяться ГЕС потужністю до 10 МВт. Вони можуть працювати автономно на ізолюваному споживачі, а також паралельно з енергосистемою. ГЕС можуть працювати і в комплексі з ВЕУ, ГЕУ та ін.

Основою гідроенергетичних розрахунків є дані про режимі стоку. Стоки бувають поверхневі та ґрунтові. Поверхневі стоки є опади, що стікають у знижені місця у вигляді струмків і річок. Ґрунтові стоки утворюють підземні стоки. Площа, з якої здійснюється стік у річку, є водозбірним басейном річки. Лінія, що відокремлює один басейн від іншого, називається вододілом.

Залежно від потенціалу, всі річки розподілені на чотири групи. Першу групу становлять річки з потенціалом понад 1000 млн. кВт год, третя та четверта групи мають потенціал менше ніж 1000 млн. кВт год. [5]

Основні параметри, що визначають потенціал річки - натиск  $h$  і витрата  $Q$ . Напір можна збільшити шляхом спорудження дамб, гребель (греблі ГЕС). При будівництві гребель необхідно враховувати ухил річки  $i$ , який для рівнинних річок становить  $i = 5-10$  см/км, для гірських річок  $i = 5-10$  м/км.

**Завдання 4.1.** Розрахувати параметри греблі для рівнинної річки з ухилом  $i$  витратою  $Q$  і натиском  $h$ . Визначити необхідний запас води у водоймищі для нормальної роботи турбін. Розрахувати потужність та вибрати тип гідротурбіни, розрахувати її параметри. Визначити потужність гідрогенератора малої ГЕС та річне вироблення електроенергії. Дані до розрахунку взяти в табл.П5.1 додатка 5. [6]

## Методика розрахунку

1. Визначається довжина греблі

$$L = \frac{h}{i}, \text{ м}, \quad (4.1)$$

де  $h$  – тиск води, м;  $i$  – ухил річки у відповідність із завданням.

2. Площа водоймища (дзеркало води) визначається:

$$S_B = 0,5L\ell \cdot 10^3, \text{ м}^2, \quad (4.2)$$

де  $\ell$  - ширина берегів, приймається у розрахунках  $\ell = 0,01 L$ , м.

3. Визначається необхідний запас для нормальної роботи гідротурбін:

$$G_B = 0,5S_B \cdot h, \text{ м}^3, \quad (4.3)$$

4. Визначається збільшення висоти греблі для додаткового запасу води у разі її нестачі:

$$h_{\text{доп}} = \frac{G_B}{S_B}, \text{ м}, \quad (4.4)$$

5. Загальна висота греблі:

$$H = h + h_{\text{доп}}, \text{ м}, \quad (4.5)$$

6. Потужність греблі визначається:

$$P_{nn} = 9,81QH, \text{ кВт}, \quad (4.6)$$

де  $Q$  – витрата води у відповідність із завданням.

7. Потужність гідротурбіни визначається з урахуванням втрат у гідроустановці:

$$P_{nn} = 9,81QH\eta_T, \text{ кВт}, \quad (4.7)$$

де  $\eta_m$  = К.П.Д. турбіни, в розрахунках приймається рівним 06-08

8. За розрахованим значенням потужності  $P_T$ ,  $q$  і  $H$  по номограмі (рис.П5.1) визначаємо тип гідротурбіни.

9. Розрахуємо параметри гідротурбіни. Для поперечно струминної турбіни:

– діаметр робочого колеса

$$D = \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}}, \text{ м}, \quad (4.8)$$

– ширина колеса

$$B = \frac{Q}{0,42D\sqrt{H}}, \text{ м}, \quad (4.9)$$

– частота обертання робочого колеса:

$$n = 30 \sqrt{\frac{2gH}{\pi D}}, \text{ об/мин.}, \quad (4.10)$$

10. Потужність генератора малої ГЕС визначається:

$$P_{\Gamma} = P_T \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \cos \varphi, \text{ кВт}, \quad (4.11)$$

де  $\eta_{\Gamma}$  - К.П.Д. генератора, що приймається в розрахунках рівним 0,6-0,9,  $\cos \varphi$  - коефіцієнт потужності генератора (приймається рівним 0,6-0,9).

11. Річне виробництво електроенергії малої ГЕС дорівнює:

$$W = P_I \cdot T, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (4.12)$$

де  $T$  - період роботи малої ГЕС, год [5]

Приклад розрахунку.

Вихідні дані:

Витрати води  $Q=0,7$  м<sup>3</sup>/с;

Напір води  $h = 5$  м;

Ухил річки  $i=0,06$  м/км.

1. Довжина греблі:

$$L = \frac{h}{i} = \frac{5}{0,06} = 83300 \text{ м.}$$

2. Площа водоймища:

$$S_B = 0,5L\ell \cdot 10^3 = 0,5 \cdot 83300 \cdot 0,83 \cdot 10^3 = 34,6 \cdot 10^6 \text{ м}^2.$$

3. Необхідний запас води для нормальної роботи гідротурбін:

$$G_B = 0,5S_B \cdot h = 0,5 \cdot 34,6 \cdot 10^6 \cdot 5 = 86,4 \cdot 10^6 \text{ м}^3$$

4. Збільшення висоти греблі для додаткового запасу води у разі її нестачі:

$$h_{\text{доп}} = \frac{G_B}{S_B} = \frac{86,4 \cdot 10^6}{34,6 \cdot 10^6} = 2,5 \text{ м}$$

5. Загальна висота греблі:

$$H = h + h_{\text{доп}} = 5 + 2,5 = 7,5 \text{ м}$$

6. Потужність греблі:

$$P_{n.l} = 9,81QH = 9,81 \cdot 0,7 \cdot 7,5 = 51,5 \text{ кВт}$$

7. Потужність гідротурбіни з урахуванням втрат ( $\eta_m = 0,65$ ) становить в гідроустановки:

$$P_T = 33,5 \text{ кВт}$$

8. За номограмою (рис.П.4.1) значенням  $P_T$ ,  $Q$  та  $H$  відповідає поперечно-струменевий тип гідротурбіни.

9. Параметри гідротурбіни:

– діаметр робочого колеса

$$D = \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}} = \sqrt{\frac{0,7}{\sqrt{7,5}}} = 0,5 \text{ м}$$

– ширина колеса

$$B = \frac{Q}{0,42D\sqrt{H}} = \frac{0,7}{0,42 \cdot 0,5 \cdot 2,74} = 1,2 \text{ м}$$

– частота обертання робочого колеса:

$$n = 30 \sqrt{\frac{2gH}{\pi D}} = 30 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 7,5}{3,14 \cdot 0,5}} = 290,4 \text{ об/мин.}$$

10. Потужність генератора малої ГЕС:

$$P_G = P_T \cdot \eta_G \cdot \cos \varphi = 33,5 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 21,4 \text{ кВт.}$$

11. Річне виробництво електроенергії малої ГЕС:

$$W = P_G \cdot T = 21,4 \cdot 8760 = 187,8 \text{ МВ} \cdot \text{ч}$$

## 4.2. Розрахунок гірляндної ГЕС

Для використання енергії річки без створення гідротехнічних споруд та спеціальних пристроїв для спрямування водного потоку використовуються гірляндні ГЕС. ГГЕС є турбінами малого діаметра, закріплені по кілька штук на одному тросі, який є валом цих турбін. Турбіни обертаються із тросом як одне ціле. Збільшення потужності таких установок досягається не зростанням розмірів турбін, а збільшенням кількості на одному тросі, а також збільшенням кількості гірлянд, що працюють на один генератор. [6]

Перебуваючи у потоці, гірлянда турбін сприймає значне лобове опір,

від якого залежить натяг троса гірлянди. У розтягнутому стані трос передає крутний момент турбін до генератора, що знаходиться на березі.

Турбіни бувають поперечні та торцеві. Поперечні турбіни кріпляться до троса попарно. У кожній парі одна турбіна повернута до іншої за напрямом обертання на  $90^\circ$ . Це зроблено з метою вирівнювання моменту, що крутить, кожної пари турбін за один оборот. Потік води, що набігає на турбіну, утворює лобову силу тиску. При цьому з одного боку від осі обертання він утворює більший тиск, ніж з іншого, від цього виникає крутний момент. Що цей момент і швидкість обертання турбіни, то вище її потужність.

Торцеві турбіни встановлюються вздовж водного потоку. Гірляндрні установки можуть працювати як біля дна, і біля поверхні потоку. Вони можуть працювати на водних потоках зі швидкостями течії 1 м/с і більше, глибиною від 0,3 м і вище, шириною 0,5 м і більше. [5]

Гірляндрні ГЕС можуть бути встановлені як на судноплавних річках, так і на несудноплавних. Одногірляндрні установки при роботі на швидкостях течії в межах 1,2-3 м/с можуть досягати 5-кіловатних потужностей. При швидкості водного потоку 1 м/с потужність ГГЕС дорівнює приблизно 1 кВт.

Ці установки прості за пристроєм, що легко переносяться, їх монтаж проводиться протягом одного дня.

**Завдання 4.2.** Розрахувати потужність гірляндрної ГЕС, що складається з  $n$  поперечних турбін діаметром  $d$ . Загальна довжина гірлянди (активна частина)  $L$  швидкість течії водного потоку  $v$ . Вибрати тип генератора Гірляндрної ГЕС. Дані до розрахунку представлені в табл.П.4.2. З урахуванням даних першого завдання (потрібна кількість енергії) розрахувати кількість споживачів, які можуть бути забезпечені електроенергією мікроГЕС. [5]

#### Методика розрахунку

1. Потужність гірлянди визначається:

$$P_{\text{гир}} = d \cdot L \cdot v^3 \cdot \eta_T, \text{ кВт}, \quad (4.13)$$

де  $d$  – діаметр поперечної турбіни, м,

$L$  – довжина активної частини гірлянди, м;

$v$  – швидкість течії водного потоку, м/с,

$\eta_T$  – коефіцієнт, що враховує втрати енергії у турбіні (для поперечних турбін  $\eta_T = 0,45-0,47$ ).

Довжина активної частини гірлянди  $L$  визначається добутком довжини однієї турбіни на їх кількість у гірлянді  $n$ .

2. Визначається лінійна швидкість обертання троса гірлянди:

$$n_T = \frac{60 \cdot v}{R}, \quad (4.14)$$

де  $R$  - радіус турбіни, м.

3. Визначається потужність генератора

$$P_{\text{ген}} = P_{\text{гир}} \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{ген}}, \text{ кВт}, \quad (4.15)$$

де  $\eta_{\text{ред}}$  - К.П.Д. редуктора, враховує втрати у передачі ( $\eta_{\text{ред}} = 0,7-0,9$ );

$\eta_{\text{ген}}$  - К.П.Д. генератора ( $\eta_{\text{ген}} = 0,75-0,9$ ).

4. За отриманим значенням потужності з таблиці П.4.3 вибирається найближчий за характеристиками тип генератора, записується його марка та параметри.

5. Визначається виробництво електроенергії гірляндної ГЕС за літній період:

$$W_T = P_{\text{ген}} \cdot 24(N_6 + N_7 + N_8), \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (4.16)$$

де  $N$  - кількість днів у відповідному місяці.

6. Визначити забезпеченість електроенергією приватного будинку у % від потреби за умови безперервної роботи гірляндної ГЕС протягом року.

Дані для розрахунку взяти із задачі 1.1 [6]

#### Приклад розрахунку

Вихідні дані:

Швидкість водного потоку  $v = 2,5$  м/с;

Діаметр турбіни  $d=0,3$  м;

Довжина турбіни  $l = 0,5$  м;

Кількість турбін  $n=5$ .

1. Потужність гірлянди:

$$P_{\text{гир}} = d \cdot L \cdot v^3 \cdot \eta_T = 0,3 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 2,5^3 \cdot 0,46 = 5,4 \text{ кВт}$$

2. Лінійна швидкість обертання троса гірлянди:

$$n_T = \frac{60 \cdot v}{R} = \frac{60 \cdot 2,5}{0,15} = 1000 \text{ об/мин.}$$

3. Потужність генератора

$$P_{\text{ген}} = P_{\text{гир}} \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{ген}} = 5,4 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 3,46 \text{ кВт}$$

4. З таблиці П.5.3 вибираємо найближчий за характеристиками генератор типу ВС-18/8 номінальною потужністю  $P_H=3,5$  кВт і швидкістю  $n=1000$  об/хв.

5. Вироблення електроенергії гірляндної ГЕС за літній період:

$$W_{\text{Г}} = P_{\text{ген}} \cdot 24(N_6 + N_7 + N_8) = 3,5 \cdot 24(30 + 31 + 31) = 7,73 \text{ МВт} \cdot \text{ч.}$$

6. За умови безперервної роботи гірляндної ГЕС протягом року забезпеченість електроенергією приватного будинку в кілька разів перевищуватиме потрібне значення в електроенергії. [5]

#### Контрольні запитання і завдання

4.1. Яке підприємство називають гідроелектростанцією?

4.2. Назвіть відомі типи ГЕС.

4.3. Які типи турбін використовують на ГЕС?

4.4. Який принцип роботи ГЕС

4.5. Як впливають гідроелектростанції на довкілля?

## 5. ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ

Температурний градієнт –  $q$  ( $^{\circ}\text{C}/\text{км}$ ) показує зміну температури у шарі землі за кожен кілометр. За цим показником поверхня землі ділиться на 3 геотермальні райони: гіпертермальний, напівтермальний та нормальний. Гіпертермальний ( $q > 80$   $^{\circ}\text{C}/\text{км}$ ) – найкращий для будівництва геотермальних електростанцій. Напівтермальний район має  $q = 40-80$   $^{\circ}\text{C}/\text{км}$ ; Якість геотермальної енергії невисока, її краще використовувати безпосередньо для теплопостачання будівель. Вилучення тепла у таких районах проводиться з природних водоносних шарів або з подрібнених сухих порід. Малоперспективні області для використання енергії – нормальний район із температурним градієнтом  $q < 40$   $^{\circ}\text{C}/\text{км}$ . Це найбільші райони з тепловими потоками  $0,06$   $\text{Вт}/\text{м}^2$ . [4]

Для розрахунку потенціалу геотермальної енергії враховується наявність водоносного шару, в якому зосереджено теплову енергію, глибину його залягання і товщину цього шару. Як правило, шар має пористу структуру, пори заповнені водою. Крім цього, потенціал геотермальної енергії залежить від густини твердих порід земної кори, його теплоємності.

**Завдання 5.1.** Виходячи із заданого значення температурного градієнта  $q$ , визначити тип геотермального району. Визначити теплоємність водоносного шару  $C_{\text{сл}}$  та його температуру  $\tau_{\text{сл}}$  при глибині залягання  $H$  при заданих характеристиках породи шару. Визначити можливий час використання шару та теплову потужність, що витягується з нього на початку та через  $n$  років експлуатації. Площу поверхні прийняти рівною  $F=1,0$   $\text{км}^2$ , пористість породи пласта  $\alpha=5\%$ , питому теплоємність породи пласта  $C_n = 840$   $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{ОК})$ . Дані для розрахунку наведено у додатку 6. [6]

### Методика розрахунку

1. За заданим значенням температурного градієнта визначається тип геотермального району.

2. Визначається теплоємність водоносного шару для заданого термального району:

$$C_{сл} = F \cdot b [\alpha \cdot \rho_{в} \cdot C_{в} + (1 - \alpha) \cdot \rho_{п} \cdot C_{п}], \text{ Дж/}^{\circ}\text{К}, \quad (5.1)$$

де  $F$  - площа поверхні, що розглядається,  $\text{км}^2$ ;

$b$  - Товщина водоносного шару, м;

$\alpha$  – пористість породи, о.

$\rho_{в} = 1000 \text{ кг/м}^3$  – питома густина води;

$C_{в} = 4180 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$  – питома теплоємність води;

$\rho_{п}$  – питома густина породи, у розрахунках прийняти  $\rho_{п} = 2700 \text{ кг/м}^3$ ;

$C_{п}$  – питома теплоємність породи.

3. Вихідна температура водоносного шару визначається:

$$\tau_{сл} = \tau_{ср} + q \cdot H, \text{ К}, \quad (5.2)$$

де  $\tau_{ср}$  - середня температура на поверхні землі, що приймається рівною  $10^{\circ}\text{C}$ ;

$q$  – температурний градієнт для заданого термального району,  $^{\circ}\text{C/км}$ ;

$H$  - Глибина залягання водоносного шару, км.

4. Визначається тепловий потенціал водоносного шару:

$$P_{Т} = C_{сл} \cdot (\tau_{сл} - \tau_{\partial}), \text{ Дж}, \quad (5.3)$$

де  $\tau_{\partial}$  - мінімально допустима температура шару, що приймається рівною  $40^{\circ}\text{C}$ .

5. Визначається можливий час використання шару при відводі від нього теплової енергії:

$$t_0 = \frac{C_{сл}}{V \cdot \rho_{в} \cdot C_{в}}, \text{ років}, \quad (5.4)$$

де  $V$  - об'ємна витрата води при її закачуванні для відведення тепла, приймаємо в розрахунках  $0,1 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ .

6. Визначається теплова потужність, що отримується з шарів спочатку експлуатації:

$$\left( \frac{dP_{Т}}{dt} \right)_{t=0} = \frac{P_{Т}}{t_0} \cdot e^{\frac{t}{t_0}}, \text{ МВт}, \quad (5.5)$$

7. Визначається теплова потужність, що витягується з пласта через  $n$  років експлуатації:

$$\left(\frac{dP_T}{dt}\right)_{t=n} = \frac{P_T}{t_0} \cdot e^{\frac{t}{t_0}}, \text{ МВт} \quad (5.6) [4]$$

### Приклад розрахунку

Вихідні дані:

Температурний градієнт -  $q = 50 \text{ }^\circ\text{C /км}$ ;

Глибина залягання шару  $H = 3,5 \text{ км}$ ;

Товщина шару  $b = 800 \text{ м}$ ;

Період експлуатації свердловини,  $n=10$  років.

1. По  $q = 50 \text{ }^\circ\text{C /км}$  заданий варіант ставитись до напівтермального району ( $q = 40-80 \text{ }^\circ\text{C /км}$ ).

2. Теплоємність водоносного шару для заданого термального району:

$$C_{cn} = 10^6 \cdot 800 [0,05 \cdot 1000 \cdot 4180 + (1 - 0,05) \cdot 2700 \cdot 840] = 1,89 \cdot 10^{15}, \text{ Дж/}$$

3. Вихідна температура водоносного шару:

$$\tau_{cl} = \tau_{cp} + q \cdot H = 283 + (50 \cdot 3,5 + 273) = 731 \text{ }^\circ\text{K}$$

4. Тепловий потенціал водоносного шару:

$$P_T = C_{cl} \cdot (\tau_{cl} - \tau_{\partial}) = 1,89 \cdot 10^{15} (731 - 313) = 7,9 \cdot 10^{17} \text{ Дж}$$

5. Можливий час використання шару під час відведення від нього теплової енергії:

$$t_0 = \frac{C_{cl}}{V \cdot \rho_B \cdot C_B} = \frac{1,89 \cdot 10^{15}}{0,1 \cdot 1000 \cdot 4180} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ с (143 года)}.$$

6. Теплова потужність, що витягується з шару на початку експлуатації:

$$\left(\frac{dP_T}{dt}\right)_{t=0} = \frac{P_T}{t_0} \cdot e^{\frac{t}{t_0}} = \frac{7,9 \cdot 10^{17}}{4,5 \cdot 10^9} = 175 \text{ МВт}$$

7. Визначається теплова потужність, що видобувається з водоносного шару через 10 років експлуатації:

$$\left(\frac{dP_T}{dt}\right)_{t=n} = \frac{P_T}{t_0} \cdot e^{-\frac{t}{t_0}} = 61 \cdot e^{-\frac{10}{143}} = 163 \text{ МВт}$$

## Контрольні запитання і завдання

- 5.1. Що розуміють під геотермальною теплою?
- 5.2. Опишіть типи геотермальної енергії.
- 5.3. Охарактеризуйте основні методи добування геотермальної теплоти
- 5.4. Опишіть способи використання геотермальної теплоти.
- 5.5. Назвіть основні характеристики геотермальної води.

## 6. ЕНЕРГІЯ ОКЕАНУ

### 6.1. Енергія хвиль

Величезну кількість енергії можна отримати від морських хвиль. Потужність, що переноситься хвилями на глибокій воді, пропорційна квадрату їх амплітуди та періоду. Тому найбільший інтерес представляють довгоперіодні ( $T \sim 10\text{с}$ ) хвилі великої амплітуди ( $a \sim 2\text{м}$ ), що дозволяють знімати з одиниці довжини гребеня в середньому від 50 до 70 кВт/м.

Можливість перетворення енергії хвиль на електроенергію доведено вже давно. Існує безліч технічних рішень, що дозволяють реалізувати цю можливість. В останні роки інтерес до хвильової енергетики різко посилюється, особливо в Японії, Великобританії, країнах Скандинавії, внаслідок чого експерименти переросли у стадію реалізації проектів. Сучасна тенденція розробки таких установок, як і взагалі установок на поновлюваних видах енергії, орієнтується на поодинокі модулі помірної потужності (близько 1 МВт) розміром близько 50 м вздовж фронту хвилі. Подібні пристрої вже зараз можуть принести певні економічні вигоди у разі заміни дизельних генераторів, що забезпечують енергією віддалених селищ, особливо на островах.

Розвиток хвильової енергетики пов'язаний із значними труднощами. Здебільшого вони зводяться до наступного. [5]

1. Хвилі нерегулярні по амплітуді, фазі та напрямку руху. Проектувати ж пристрої для ефективного вилучення енергії в широкому діапазоні величин, що варіюються, не просто.

2. Завжди є ймовірність виникнення екстремальних штормів і ураганів, під час яких утворюються хвилі дуже великої інтенсивності. Конструкції хвилеенергетичних пристроїв мають, зрозуміло, їм протистояти. Приблизно раз на 50 років виникають хвилі, амплітуда яких у 10 разів перевищує середню. Отже, в час штормів конструкції повинні витримувати навантаження, приблизно в 100 разів більші, ніж при нормальній роботі.

3. Подібні пікові величини потужності присушив головним саме хвиль на глибокій воді, що проходять з боку відкритого моря. Труднощі, пов'язані зі створенням енергетичних пристроїв для таких хвильових режимів, їх обслуговування, утримання у заданому положенні, передачею енергії на берег, викликають побоювання.

4. Зазвичай період хвиль  $T \approx 5 \div 10$  с (частота порядку 0,1 Гц). Досить важко пристосувати цей нерегулярний повільний рух до генерування електроенергії промислової частоти, яка становить 500 разів вище.

5. Вибрати відповідний тип пристрою для перетворення енергії зі всього їх різноманіття – складно, часто просто непосильне завдання.

6. Звичка мислити категоріями великомасштабної енергетики промислово розвинених районів веде до спокуси створювати лише великі хвильові електростанції у місцях з високими хвильовими потенціалами. У цьому існує тенденція ігнорувати зони помірних потенціалів, де найчастіше використання хвильової енергії виявляється економічно більш виправданим.

Переваги хвильової енергії полягають у тому, що вона достатньо сильно сконцентрована, доступна для перетворення та на будь-який момент часу може прогнозуватися в залежності від погодних умов. Створюючись під дією вітру, хвилі добре зберігають свій енергетичний потенціал, поширюючись на значні відстані. Наприклад, великі хвилі, що досягають узбережжя Європи, зароджуються під час штормів у центрі Атлантики і навіть у Карибському морі. [8]

Найбільше хвильових енергетичних пристроїв розробляється для отримання енергії з хвиль на глибокій воді. Це найбільш загальний тип хвиль, що існує за умови, що середня глибина моря  $D$  перевищує величину половини довжини хвилі  $\lambda/2$ . Наприклад, при характерній довжині хвилі  $\lambda \sim 100$  м і амплітуді  $A$  [м] хвиля поводить себе як на глибокій воді при глибині моря, що перевищує 30 м. Амплітуда кругового руху з глибиною зменшується експоненційно і стає дуже малою при  $D \geq \lambda/2$ . У хвиль на мілководді частинки рухаються по еліптичних орбітах, рух охоплює придонний шар, що призводить до дисипації енергії хвилі.

Поверхневі хвилі на глибокій воді мають характерні особливості.

1) Хвилі є синусоїдальними, що не руйнуються нерегулярною довжиною, фазою та напрямком приходу.

2) Рух кожної частинки рідини у хвилі є круговим. У той час як обриси хвилі, що змінюється, свідчать про поширення хвильового руху, самі по собі частки не пов'язані з цим рухом і не переміщуються у його напрямі.

3) Поверхневий шар рідини залишається на поверхні.

4) Амплітуда руху частинок рідини експоненційно зменшується із глибиною. На глибині  $\lambda/2\pi$  від середнього становища рівня поверхні амплітуда кругового руху частинок зменшується в  $e$  ( $e = 2,72$  - основа натуральних логарифмів). На глибині  $\lambda/2$  переміщення частинок рідини стає знехтувана малою, становлячи менше 5% поверхневого.

5) Істотно, що амплітуда хвилі  $A$  не залежить від її довжини, швидкості поширення  $c$ , періоду  $T$ , а залежить лише від характеру, що передував взаємодії вітру з морською поверхнею. В той же час рідко створюються умови, за яких амплітуда досягає значення  $\lambda/10$ .

6) Руйнування хвилі у вигляді білого буруна відбувається, коли нахил її поверхні становитиме приблизно 1:7. Енергетичний потенціал хвилі при цьому розсіюється. [10]

Теоретично аналіз хвильового руху в рідині достатньо важкий, проте він детально виконаний у низці спеціальних видань. Тут з теорії використані ті результати, які необхідні для розуміння роботи найпростіших хвилеенергетичних пристроїв.

Для хвиль на глибокій воді сили тертя, поверхневого натягу та інерції малі порівняно з двома домінуючими силами – гравітаційної та обертальної. Тому водна поверхня завжди приймає таку форму, щоб дотична до неї у будь-якій точці була перпендикулярна напрямку дії результуючої цих двох сил.

Дуже важливо розуміти, що у хвилях на глибокій воді немає поступального руху рідини.

У підповерхневому шарі рідини її частки здійснюють круговий рух із радіусом орбіти  $A$ , рівним амплітуді хвилі.

Висота хвилі  $H$  від вершини гребня вщент дорівнює її подвоєної амплітуді ( $H = 2A$ ). Кутова швидкість руху частинок  $\omega$  вимірюється в радіанах за секунду. Зміна форми хвильової поверхні така, що спостерігається поступальний рух, хоча сама вода, як уже зазначалося, не переміщається у напрямі поширення хвилі (зліва направо). Це здається переміщенням, якого є результат спостереження фаз зміщення послідовно розташованих частинок рідини;

Як тільки одна частка у гребні опускається, інша займає її місце, забезпечуючи збереження форми гребня та розповсюдження хвильового руху вперед. [8]

Результуюча сила  $F$  діє на поверхневу частинку масою  $m$ . Під дією суми подібних сил водяна поверхня приймає таку форму, при якій дотична у будь-якій точці її перпендикулярна  $F$ . При підйомі на гребінь частинка піддається дії відцентрової сили  $m\omega^2$ . Наступного моменту частка падає вниз, і її місце займає сусідня, що обертається із затримкою по фазі. У положенні частки на середньому рівні рідини, поверхня орієнтується перпендикулярно результуючій силі  $F$ . У западині, спрямована вниз сила має максимум (відцентрова та гравітаційні сили складаються).

Так що практично для неруйнованої хвилі  $g \gg A\omega^2$  (наприклад,  $A = 2$  м,  $T = 8$  с,  $A\omega = 1,2$  м/с та  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>). Нехай  $h$  - поточне значення підйому над середнім рівнем,  $k = 2\pi/\lambda$  - хвильове число. Очевидно, що рух поверхні описується так само, як і переміщення її в просторі за умови, що

$$\lambda = 2\pi g/\omega^2 \quad (6.1)$$

Це співвідношення встановлює залежність між частотою, і довжиною для поверхневої хвилі на глибокій воді.

Період руху хвилі  $T = 2\pi/\omega = 2\pi / (2\pi g/\lambda)^{1/2}$ . Отже,

$$T = (2\pi g/\lambda)^{1/2}. \quad (6.2)$$

Швидкість переміщення поверхні хвилі у напрямку  $x$ :

$$c = g \cdot \lambda/2\pi. \quad (6.3)$$

Швидкість називають фазовою швидкістю поширення хвиль, створюваних на поверхні рідини. Слід зазначити, що ця величина не залежить від амплітуди хвилі і неявно пов'язана зі швидкістю руху частинок рідини у хвилі.

Елементарна теорія хвиль на глибокій воді заснована на припущення про властивості одичної регулярної хвилі. Частинки рідини в такій хвилі рухаються круговими орбітами зі змінною фазою у напрямі поширення хвилі. Амплітуда цього руху у вертикальній площині дорівнює половині відстані від гребня до западини хвилі та експоненційно зменшується з глибиною. [7]

Рух частинок залишається круговим за глибини моря  $D > 0,5\lambda$ . На таких глибинах переміщення частинок поблизу дна дуже малі. Для цих умов (рис. 6.1. а) для частки, яка знаходиться на відстані  $z$  від середнього положення рівня поверхні, радіус кругової орбіти  $r$  визначається:

$$r = Ae^{kz}, \quad (6.4)$$

де  $A$  – амплітуда, м;

$k$  – хвильове число;

$z$  – положення частки щодо середнього рівня поверхні, м. Для положення нижче за середній рівень поверхні  $z$  – негативна величина.

Нехай  $E_k$  – повна кінетична енергія, тоді повна кінетична енергія на одиницю ширини хвильового фронту та одиницю довжини вздовж напрямки поширення хвилі дорівнює

$$E_k = \rho A^2 g / 4, \quad (6.5)$$

де  $\rho$  – щільність води,  $\text{кг/м}^3$ .

Нормована потенційна енергія хвилі дорівнює точності такою ж величиною. Ця рівність кінетичної та потенційної складових енергії – властивість гармонійного руху.

Наведений спосіб нормування є нічим іншим, як нормування на одиницю площі поверхні хвилі, т. б. повна енергія на одиницю площі поверхні хвилі дорівнює сумі кінетичної та потенційної енергії:

$$E = E_k + E_p = E_k = \rho A^2 g / 2. \quad (6.6)$$

Потужність, що переноситься у напрямі поширення хвилі на одиницю ширини хвильового фронту, визначається виразом:

$$P = \rho g A^2 \lambda / 4T. \quad (6.7)$$

Вище для безперервного хвильового руху на глибокій воді була визначена його повна (кінетична та потенційна) енергія. Ця енергія пов'язана з рідиною, яка в середньому у часі залишається у постійному положенні у просторі. Проте наведені розрахунки нічого не розповіли про перенесення енергії через вертикальний перетин.

У підручниках цю потужність прийнято розраховувати, виходячи з першого закону динаміки у припущенні про результуючі тиски та переміщення. Прикладна математика вимагає точності та розуміння, заснованих на фундаментальній теорії поширення хвиль у рідині. Аналіз значно спрощується для випадку хвиль на глибокій воді.

Потужність  $P$  дорівнює повній енергії (кінетична + потенційна)  $E$  в хвилі на одиницю площі поверхні, помноженої на групову швидкість хвиль на глибокій воді  $u = c/2$ , з якої хвилі переносять енергію. З урахуванням виразу для групової швидкості

$$P = \rho g A^2 c / 4 \quad (6.8)$$

і, отже, фазова швидкість

$$c = \omega/k; \quad c = \lambda/T. \quad (6.9)$$

Відмінність між груповою та хвильовою (фазовою) швидкостями є спільним для будь-яких хвильових процесів, для яких фазова швидкість залежить від довжини хвилі.

Отже, потужність, що переноситься хвилями, збільшується прямо пропорційною квадрату амплітуди та періоду. Саме тому для фахівців з океанської енергетики особливо привабливі довгоперіодні хвилі океанського хвилю, що володіють значною амплітудою.

В результаті хвильового руху рідини у хвилі одночасно зі зміною положення рівня та нахилу поверхні відбувається зміна кінетичної та потенційної енергії, зміна тиску під хвилею. На основі використання однієї характерної ознаки хвильового руху або їх комбінації вже створено велику

кількість різних пристроїв, що поглинають і перетворюють хвильову енергію. Сюди ж входять і пристрої, що вловлюють воду з гребнів хвиль та повертають її на середній рівень або до підніжжя хвиль після перетворення потенційної енергії. Крім того, можна використовувати найрізноманітніші споруди для збільшення інтенсивності хвильового руху в місцях розміщення перетворювачів за рахунок дифракційних та каналних ефектів.

Дати в цьому розділі повний огляд усіх створених будь-коли пристроїв для вилучення енергії з хвиль просто не представляється можливим, тому тут наведено опис лише деяких найважливіших. Це пристрої, що відстежують профіль хвилі, водяний стовпів, що коливається, підводні пристрої та системи, вловлюючи хвилі.

*Пристрої, що відстежують профіль хвилі.* Стефан Солтер із Единбурзького університету розробив пристрій, який назвав "качкою". Форма її забезпечувала максимальне вилучення потужності. Хвилі, що надходять ліворуч, змушують качку коливатися. Циліндрична форма протилежної поверхні забезпечує відсутність поширення хвилі направо при коливаннях качки навколо осі. Потужність може бути знята з осі коливальної системи з таким розрахунком, щоб забезпечити мінімум відображення енергії. Відбиваючи та пропускаючи лише незначну частину енергії хвиль (приблизно 5%), цей пристрій має дуже високу ефективність перетворення у широкому діапазоні частот збуджуючих коливань. [12]

Подальші розробки Солтера спрямовані на те, щоб забезпечити качці здатність протистояти ударам максимальних хвиль та створити заякорену гірлянду перетворювачів у вигляді достатньо гнучкої лінії. Передбачається, що розмір реальної качки дорівнюватиме приблизно 10 м для 100-метрових атлантичних хвиль. Нитка з качок протяжністю кілька кілометрів передбачається встановити в районі з найбільш інтенсивним хвилюванням на захід від Гебридських островів, потужність усієї станції буде приблизно 100 МВт. Проектуються та індивідуальні качки, що встановлюються в заякорених плотах та призначені для роботи на менших глибинах (приблизно 20 м).

Будь-які хвильові перетворювачі мають якісь недоліки, але для качок найбільш серйозними виявляються такі:

1) необхідність передачі повільного коливального руху на привід генератора (Солтер працює над застосуванням в якості генераторів вбудованих гіроскопів, які мають видавати у мережу потужність, пропорційну повільному обертанню корпусів качок на хвилюванні);

2) необхідність зняття потужності з плаваючого на значній глибині пристрою великої довжини.

Інший характерний тип пристрою даного класу - ланкастерський «молюск», який використовує той же «геометричний» принцип Солтера. Тут дзьобоподібний поплавець з'єднаний з декількома податливими повітряними оболонками, заповненими повітрям, що стискається під дією хвиль. Стиснене повітря переганяється з однієї оболонки до іншої у міру того, як хвиля повертає «дзьоб». Осцилюючий повітряний потік приводить у дію турбіну Уелса, що відрізняється тим, що напрямок її обертання не залежить від напрямку потоку повітря. Турбіна пов'язана з електрогенератором.

*Водяний стовп, що коливається.* При набігу хвилі на частково занурену порожнину, відкриту під водою, стовп рідини в порожнині коливається, викликаючи зміни тиску в газі над рідиною. Порожнина може бути пов'язана з атмосферою через турбіну. Потік може регулюватися так, щоб проходити через турбіну в одному напрямку, або може бути використана турбіна Уелса. Вже відомі принаймні два приклади комерційного використання пристроїв на цьому принципі – сигнальні буї, запроваджені в Японії Масудою та у Великій Британії співробітниками Королівського університету Белфаст. Більший і вперше включений в енергомережу пристрій побудовано у Тофтестоллені (Норвегія). У Тофтестоллені потужність установки складає 500 кВт, вона побудована на краю прямовисної скелі. Крім того, національна електрична лабораторія Великої Британії пропонує конструкцію, що встановлюється безпосередньо на морському дні.

Головна перевага пристроїв на принципі водяного коливального стовпа полягає в тому, що швидкість повітря перед турбіною може бути

значно збільшена за рахунок зменшення прохідного перерізу каналу. Це дозволяє поєднувати повільний хвильовий рух із високочастотним обертанням турбіни. Крім того, тут створюється можливість видалити генеруючий пристрій із зони безпосередньої дії солоної морської води.

*Підводні пристрої.* Переваги підводних пристроїв полягають у тому, що ці пристрої дозволяють уникнути штормового впливу на перетворювачі. Однак при їх використанні збільшуються труднощі, пов'язані з вилученням енергії та обслуговуванням. Наприклад можна запропонувати так званий «брістольський циліндр», що є наповнений повітрям плавучий корпус, закріплений під водою на опорах, встановлених на ґрунті. Циліндр перебуває під впливом поверхневого руху води та зміни гідростатичного тиску. Вмонтовані в опори гідравлічні насоси перетворюють енергію руху циліндра. Перекачувана ними рідина може подаватися на генераторну станцію, єдину для кількох циліндрів, трубопроводами.

*Системи, що вловлюють хвилі.* Схеми подібних пристроїв використовують явище, що часто спостерігається в природних лагунах. Хвиля розбивається на укосі греблі (варіант Природного рифу), і вода закидається на висоту, що перевищує середній рівень моря, заповнюючи басейн. Вода може бути повернена назад у море через низьконапірну турбіну. Дана схема була детально опрацьована для умов острова Маврикій та призначена для забезпечення генерування 20 МВт електричної потужності. При питомій величині потужності хвиль 22 кВт/м ефективність такого пристрою буде не нижче 30% (мається на увазі перетворення кінетичної енергії хвиль у потенційну енергію рідини в басейні). Необхідна довжина морської дамби дорівнює приблизно 5 км. Перша у світі комерційна станція на цьому принципі побудована в Норвегії у районі з природним фокусуванням хвиль. [12]

#### Контрольні запитання і завдання

6.1.1. Знайдіть потужність хвиль, якщо відомо, що період складає 6 с, амплітуда дорівнює 2 м.

6.1.2. Який буде радіус кругової орбіти, якщо відомо, що амплітуда

становить  $a$ , м, період  $T = 10$  с, положення частки  $z = -3; -2; -1; 0; 1; 2; 3$  м. Побудувати графік залежності радіусу круговий орбіти  $r$  від положення частки  $z$  та діаграму.

6.1.3. Визначити кінетичну енергію хвилі, якщо відомо, що частота дорівнює 0,1 Гц; радіус кругової орбіти частки у хвилі  $r$  становить 5 м, положення частки щодо середнього рівня поверхні  $z=2$  м.

6.1.4. За умовами задачі 6.1.1. при  $T = 8$ ;  $a = 3$  м.

6.1.5. За умовами задачі 6.1.1. при  $T = 10$ ;  $a = 4$  м-коду.

6.1.6. За умовами задачі 6.1.1. при  $T = 8$ ;  $a = 2$  м.

6.1.7. За умовами задачі 6.1.1. при  $T = 10$ ;  $a = 3$  м.

6.1.8. За умовами задачі 6.1.2. при  $T = 8$ ;  $a = 3$  м;  $z = -3; -2; -1; 0; 1; 2; 3$  м.

6.1.9. За умовами задачі 6.1.3. при  $T = 8$ ;  $a = 4$  м;  $z = -3; -2; -1; 0; 1; 2; 3$  м. Побудувати графік залежності кінетичної енергії 1). Від радіуса кругової орбіти  $r = 1; 2; 3; 4; 5$  м 2). від положення частки  $z$ , м.

## 6. 2. Енергія припливів. Посилення припливів

Приливні коливання рівня у величезних океанах планети цілком передбачуваний. Основні періоди цих коливань – добові, тривалістю близько 24 год та півдобові – близько 12 год 25 хв. Різниця рівнів між послідовними найвищим і найнищим рівнями води – висота припливу. Діапазон зміни цієї величини становить 0,5 – 10 м. Перша цифра найбільш характерна, друга досягається і навіть переважає лише в деякій особливих місцях поблизу узбережжя континентів. Під час припливів та відливів переміщення водних мас утворює приливні течії, швидкість котрих у прибережних протоках і між островами може досягати приблизно 5 м/с.

Підняту на максимальну висоту під час припливу воду можна відокремити від моря дамбою або греблею в басейні площею  $S$ . Якщо потім під час відливу пропустити цю масу води через турбіни можна отримати потужність

$$P = \rho g S R^2 / 2, \quad (6.10)$$

де  $\rho$  – густина води,  $\text{кг/м}^3$ ;

$R$  – перепад рівнів, м;

$S$  – площа приливної басейну,  $\text{м}^2$ .

Очевидно, що місця з великими висотами припливів мають і великі потенціали приливної енергії.

Перетворення енергії припливів використовувалося для приведення на дію порівняно малопотужних пристроїв ще в середньовічній Англії та у Китаї. З сучасних ПЕС найбільш добре відомі великомасштабна електростанція Ране потужністю 240 МВт, розташована в естуарії річки Ла Ране, що впадає в затоку Сен Мало (Бретань, Франція) і невелика, але принципово важлива досвідчена станція потужністю 400 кВт у Кислій губі на узбережжі Баренцевого моря у Росії. Поведінка припливів може бути передбачено достатньо точно, з похибкою не більше 4%. Таким чином, приливна енергія виявляється дуже надійною формою відновлюваної енергії.

До переваг приливної енергетики відносяться можливість використання стандартних пристроїв; її відносна сталість; висока надійність.

Технічні труднощі у використанні енергії припливів: дорожня будівництва приливних електростанцій (ПЕС); періодичність у виробленні енергії; екологічні порушення при будівництві ПЕС; важкодоступність перспективних районів будівництва; необхідність використання великої кількості турбін. [7]

Аналізом поведінки припливів займалося багато відомих математиків та фізиків минулого, включаючи Ньютона, Ері, Лапласа, Джордж Дарвіна, Кельвіна. Однак треба мати на увазі, що сучасний аналіз та передбачення припливів, заснований на математичних методах гармонійного аналізу, що базуються на основоположних роботах лорда Кельвіна, виконані в Глазго. Повне фізичне розуміння всіх деталей динаміки припливів все ще не досягнуто у зв'язку із складною топологією океанських басейнів.

Рідина в океанах утримується на поверхні, що обертається силами гравітації Землі. Гравітаційна ж взаємодія Землі з Місяцем та Сонцем обурює ці сили, утворюючи припливи. Приливна енергія, знята з турбін ПЕС, через

які протікає вода у процесі припливів, відбирає, таким чином, частину кінетичної енергії Землі. Якщо задіяти у всьому світі всі скільки-небудь значні місця з досить високими припливами, то згідно з розрахунками, це призведе до скорочення періоду обертання Землі на одну добу за 2000 років: це не так страшно для навколишнього середовища.

Відомо, що припливна хвиля рухається зі швидкістю

$$c = (gh)^{1/2}, \quad (6.11)$$

де  $g$  – прискорення сили тяжіння, що дорівнює  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$h$  – глибина затоки (моря), м.

Резонанс для приливної хвилі, що насувається збоку відкритого моря, настає за умов, коли

$$L = j\lambda / 4, \quad (6.12)$$

де  $j$  – непарне ціле;

$L$  – довжина затоки у бік материка, м;

$\lambda$  – довжина хвилі вимушених коливань у відкритому морі, м.м.

Відповідна резонансна частота  $f_r$ , Гц, та період  $T_r$ , с, пов'язані між собою наступним чином:

$$f_r = 1/T_r = c / \lambda. \quad (6.13)$$

Звідси

$$T_r = \lambda / c = 4L/j(gh)^{1/2}. \quad (6.14)$$

Резонанс виникає, коли період власних коливань відповідного басейну виявляється рівним (кратним) періоду вимушених коливань припливу у відкритому морі  $T_f$ , у цьому випадку

$$T_f = \frac{4L}{(gh)^{1/2}}; \quad \frac{L}{h^{1/2}} = \frac{j}{4}(g)^{1/2} T_f \quad (6.15)$$

Півдобовий період припливу дорівнює 12 год 25 хв (45000 с), таким чином, для випадку  $j=1$  (основна гармоніка) резонанс настає, коли

$$L / h^{1/2} = (45\ 000 \text{ с}) \cdot (9,8 \text{ м/с}^2)^{1/2} / 4 = 36\ 000 \text{ м}^{1/2} \quad (6.16)$$

У цьому прикладі видно близький збіг своєї частоти естуарія з характерною частотою припливу, внаслідок чого у зазначеному естуарії досягаються значні амплітуди припливного руху, висота припливу тут сягає

10 – 14 м.

Аналіз резонансних умов досить складний через постійно мінливої топології дна та берегової лінії заток та естуаріїв. Тому тут проводиться лише приблизний розрахунок. При підходящих умовах висота припливу може доходити до 10 м. Малопридатними для розміщення ПЕС вважаються затоки та естуарії, висота припливу яких не перевищує 2 м. Але незалежно від цього завжди потрібний ретельний аналіз місцевих умов.

На практиці естуарії та затоки, звичайно, не мають таких однозначно певних розмірів, які використані на прикладі. Тому аналіз резонансних умов дуже ускладнюється. Стало необхідним проводити моделювання природних умов у лабораторних хвильових басейнах з використанням відповідної техніки масштабування та шляхом теоретичного аналізу. Це дуже важливо у зв'язку з тим, що одним з основних питань при проектуванні приливних енерговузлів є з'ясування того, як дамба та гребля впливатимуть на резонансні умови у басейні. Деякі розрахунки, виконані для естуарію на р.Северн, показали можливість зменшення та збільшення висоти припливів залежно від розміщення ПЕС. Будівництво ПЕС надто дороге, щоб дозволити розробникам помилятися. [7]

#### Контрольні запитання і завдання

6.2.1. Визначити швидкість поширення приливної хвилі, якщо відомо, що глибина моря становить 100м.

6.2.2. Побудуйте залежність швидкості розповсюдження приливної хвилі  $c$ , м/с від глибини моря  $h = 100; 200; 300; 400; 500; 800; 1000$ м.

6.2.3. Встановіть, чи слід очікувати на резонанс у затоці, якщо його довжина становить  $L = 1,5$  км, довжина приливної хвилі  $\lambda = 2000$ м, глибина  $h = 200$  м

6.2.4. За умовами задачі 6.2.3. при протяжності затоки  $L = 3000$  км, глибиною моря  $h = 20$  м-коду.

6.2.5. Визначити середню потужність, яку можна зняти з потоку, якщо швидкість руху води становить 40 м/с.

6.2.6. Побудувати залежність резонансу від глибини затоки  $h = 10; 20;$

30; 40; 60; 100; 200 м за його довжини  $L = 200$  км.

6.2.7. Побудувати залежність резонансу від довжини затоки  $L = 20; 50; 100; 200; 500$  км. за його глибини  $h = 200$  м.

6.2.8. Визначити максимально можливу потужність, що знімається за один цикл ПЕС, якщо площа басейну  $S$  становить  $2000 \text{ м}^2$ , перепад рівнів води  $R$  становить 6 м.

6.2.9. За умовами задачі 6.2.8. Для Мезенського затоки.

### 6.3. Теплова енергія океану. ОТЕС

Світовий океан – найбільший природний колектор сонячного випромінювання. У ньому між теплими, що поглинають сонячне випромінювання поверхневими водами та більш холодними придонними досягається різниця температур  $20^\circ\text{C}$ . Це забезпечує безперервно доповнюваний запас теплової енергії, яка принципово може бути перетворена на інші види.

Сам термін перетворення теплової енергії океану ОТЕС – ocean terminal energy – означає перетворення певної частини цієї теплової енергії у роботу і далі в електроенергію.

Теплова машина використовує перепад температур між поверхневими та глибинними водами океану.

Нижче в деталях обговорюються лише системи, що працюють за замкненого циклу. Можна уявити й інші системи, наприклад, що використовують як робоче тіло саму морську воду і працюючі за відкритим циклом. Тим не менш, викладені тут фізичні та географічні відомості застосовні до будь-яких систем ОТЕС.

Почнемо з визначення  $P_0$  потужності, що віддається теплою водою ідеальної системи. Припустимо, що потік теплої води з об'ємним витратою  $Q$  надходить у систему при температурі  $T_r$  і залишає її при температурі  $T_x$  (температура холодних глибинних вод). При визначенні  $P_0$  ми, очевидно, робимо припущення про ідеальний теплообмінник. У такій ідеалізованій системі при  $\Delta T = T_r - T_x$

$$P_0 = \rho c L \Delta T. \quad (6.17)$$

На основі другого початку термодинаміки максимальна механічна потужність, яку можна отримати від перетворення теплового потоку,

$$P_1 = \eta_1 P_0 \quad (6.18)$$

де

$$\eta_1 = \Delta T / T_r \quad (6.19)$$

є ккд ідеальної теплової машини Карно, що працює під час перепаду температур між  $T_2$  і  $T_x = T_2 - \Delta T$ .

Безумовно, вихід у разі реальної системи буде суттєво нижче, ніж  $P_1$ . Реальні теплові машини працюють не за циклом Карно, швидше, їх цикл ближче до ідеального циклу парової турбіни Ренкіна. Тим не менш, ці вирази дозволяють проілюструвати можливості та обмеження ОТЕС. Відповідно до (6.17) – (6.19) ідеальна механічна вихідна потужність перетворювача теплової енергії дорівнює

$$P_1 = \rho L c (\Delta T)^2 / T_r \quad (6.20)$$

Таким чином, для отримання значних потужностей потрібні суттєві потоки води навіть для випадку максимального можливого в океані перепад температур. Це своє чергу вимагає застосування громіздких та відповідно дорогих технічних засобів.

Зважаючи на те, що  $P_1$  залежить від квадрата  $\Delta T$ , досвід підказує економічну привабливість ідеї ОТЕС лише у районах, де  $\Delta T > 15^\circ\text{C}$ . Такі райони лежать у тропіках. Активно ведуться дослідження з проблеми ОТЕС на острові Гаваї ( $20^\circ$  пн. широти,  $160^\circ$  зах. довготи), на острові Науру ( $0^\circ$  пн. широти,  $166^\circ$  сх. довготи), течії Гольфстрім поблизу півострова Флорида. У тропічних районах  $T_2$  і  $T_x$  мало змінюються від сезону до сезону, що має забезпечувати стабільне вироблення енергії протягом усього року.

Безумовно, стабільність та незалежність від примх погоди – основні переваги ОТЕС як поновлюваного джерела енергії. Нижче наведено інші важливі переваги ОТЕС.

1) У відповідних для розміщення перетворювачів районах обмеження на значення перетворюваних ресурсів накладають лише розміри установок.

2) Створення економічно виправданих установок потребує лише деякого доопрацювання таких широко апробованих пристроїв, як теплообмінники та турбіни. Ніяких абсолютно нових чи технічно неможливих пристроїв не потрібно.

Головні недоліки – вартість та масштаби установок. Якби вдалося досягти фактичної потужності  $P_I$ , то вартість стала б мінімальною, але важливі обмеження накладають необхідність враховувати в'язкість рідин та недосконалість теплообмінників. Наведені питомі витрати на створення однієї не так давно занедбаної експериментальної океанської термальній електростанції (ОТЕС, не плутати з латинською ОТЕС) склали 40000 дол/кВт встановленої потужності. Проте проведений аналіз, показує, що великомасштабні серійні ОТЕС будуть значно більш економічними, що робить саму концепцію ОТЕС гідною уваги. Відповідні роботи активно ведуться у США, Франції та Японії.

Один із факторів збільшення вартості систем ОТЕС – дорожнеча їх обслуговування у відкритому морі та передачі енергії на берег. Проте існують прибережні райони, де дно різко падає та обладнання ОТЕС може бути розміщено на суші. Одне з таких місць – острів Науру у південній частині моря. [7]

#### Контрольні запитання і завдання

6.3.1. Визначити витрату води  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  для різниці температур  $\Delta T$ , К, щоб отримати від ідеальної теплової машини потужність 1 МВт при  $T_2 = 300 \text{ К}$ .

6.3.2. Визначити механічну потужність перетворювача теплової енергії океану, якщо відомо, що температура поверхневих шарів води  $t_2 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ , глибинних шарів  $t_x = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ , витрата води склала  $G = 1 \text{ т/год}$ .

6.3.3. Визначити максимально можливу потужність, яку можна отримати в системі ОТЕС при  $t_2 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_x = 11 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $G = 5 \text{ т / год}$ .

6.3.4. Визначити потрібну витрату теплоносія, якщо відомо, що  $\Delta T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ , а потужність, що виробляється, склала 100 кВт,  $t_2 = 26 \text{ }^\circ\text{C}$ .

6.3.5. Визначити необхідний діаметр трубопроводу для досягнення потужності ОТЕС 150 кВт при різниці температур  $\Delta T = 15^\circ\text{C}$ , швидкості прокачування  $0,1 \text{ м/с}$ ,  $t_2 = 26^\circ\text{C}$ .

6.3.6. За умовами задачі 6.3.5. побудувати залежність діаметра трубопроводу 1) від швидкості  $w=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,8; 1 \text{ м/с}$ .

6.3.7. За умовами задачі 6.3.5. побудувати залежність діаметра трубопроводу 1) від різниці температур  $\Delta T = 5; 10; 15; 20^\circ\text{C}$ .

6.3.8. За умовами задачі 6.3.2. побудувати залежність вихідний потужності від витрати  $L = 1; 2; 3; 6; 8; 10 \text{ м}^3/\text{год}$ .

6.3.9. За умовами задачі 6.3.2. побудувати залежність вихідний потужності від перепаду температур  $T = 5; 10; 15; 20^\circ\text{C}$ .

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Баскаков А.П. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Введення в спеціальність: навч. допомога. - Єкатеринбург: УГТУ-УПІ, 2004.
2. Баскаков А.П. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Ч.1.: [в 2 ч.]: навч. допомога. Ч. 1. - Єкатеринбург: УГТУ-УПІ, 2004.
3. Баскаков А.П. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Ч.1.: [в 2 ч.]: навч. допомога. Ч. 1. - Єкатеринбург: УГТУ-УПІ, 2005.
4. Баскаков А.П. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Ч.2.: [в 2 ч.]: навч. допомога. Ч. 2. - Єкатеринбург: УГТУ-УПІ, 2005с.
5. Баскаков А.П. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Ч.2.: [в 2 ч.]: навч. допомога. Ч. 2. - Єкатеринбург: УГТУ-УПІ, 2006.
6. Твайделл Д., Уейр А. Відновлювані джерела енергії. М.: Вища школа, 1990.
7. Безруких, П.П. Відновлювана енергетика: сьогодні – реальність, завтра-необхідність/П.П. Безруких. - М.: Лісова країна, 2007. - 120 с.
8. Оцінки ресурсів відновлюваних джерел енергії в Росії: довідник-навчальний посібник/уклад. Ю.С. Васильєв, П.П. Безруких, В.В. Єлістратов, Г.І. Сидоренко. - СПб.: Вид-во Політехн. ун-ту, 2009. - 250 с.
9. Енергопостачання сільськогосподарських споживачів з використанням відновлюваних джерел: навчальний посібник Л.А. Саплін, С.К. Шер'язов, О.С. Пташкіна-Гіріна, Ю.П. Ільїн; за ред. Л.А. Сапліна. - Челябінськ.: ЧДАУ, 2000. - 194 с.
10. Сілвер, Дж. Глобальне потепління без тасмниць / Дж. Сілвер; [Пер. з англ. та ред. Є.Г.Петровий]. - М: Ексмо, 2009. -336 с.
11. Сонячна енергетика: навчальний посібник/В.І. Віссаріонов, Г.В. Дерюгіна, В.А. Кузнєцова, Н.К. Малінін; за ред. В.І. Віссаріонова. - М.: Видавничий будинок МЕІ, 2008. - 276 с.
12. Твайделл, Дж.. Відновлювані джерела енергії/Дж. Твайделл, А. Уейр; [Пер. з англ. за ред. В.А. Коробова]. - М: Енергоатоміздат, 1990. -391 с.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручник. К.: НТУУ «КПІ». 2012. 492 с.
2. Святненко А., Власов В. С. Отримати свою частину зеленого пирога. *Тижневик «Дзеркало тижня»* №47. 18.12.2010.
3. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20 лютого 2003 року. № 555IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (дата звернення: 10.05.2020).
4. Альтернативна енергетика країни. Проблеми і перспективи. *НТСЕУ*: веб-сайт. URL: <https://www.ntseu.net.ua/stories/473-top-5-02-5> (дата звернення: 10.05.2020).
5. Бондаренко В. И., Варламов Г. Б., Вольчин И. А. Энергетика: история, настоящее и будущее. От огня и воды к электричеству: монография. К., 2011. 264 с.
6. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Энергобереження в сільськогосподарській біоконверсії: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2006. 83с.

## ДОДАТОК А [2-6]

Таблиця П.1.1 Вихідні дані для розрахунку задачі 1.1

№ варіанта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Населений пункт Київської обл.	Біла Церква	Бровари	Фастів	Васильків	Боярка	Київ	Обухів	Бориспіль	Ірпінь	Вишневе
Об'єм гарячої води, л	5	10	7	8	12	15	9	6	10	9
Кінцева температура нагрівання, 0С	50	65	80	70	60	55	75	80	90	85
Вид скляний покриття СК	одинарне	подвійне	подвійне	силікатне	одинарне	силікатне	подвійне	одинарне	силікатне	подвійне

69

Таблиця П. 1.2 Значення коефіцієнтів a, b, S<sub>0</sub> за місяцями

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
a	0,15	0,14	0,2	0,17	0,12	0,10	0,18	0,11	0,14	0,19	0,16	0,13
b	0,18	0,41	0,4	0,45	0,54	0,54	0,4	0,48	0,44	0,44	0,42	0,32
S <sub>0</sub> , год	8	10	12	14	16	16	16	14	12	10	8	8

Таблиця П. 1.3 Середні значення величини S для різних районів Київської області

Населені пункти	Величина S, год, по місяцях											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Біла Церква Фастів	3,5	4,8	6,2	8,1	9,4	10,5	10,5	9,5	6,8	4,3	3,0	2,5
Бровари Бориспіль	3,1	4,5	5,8	7,8	9,2	10,3	10,3	8,9	6,4	3,8	2,9	2,5
Васильків	2,8	4,5	5,4	7,4	8,8	9,8	9,9	8,4	6,3	3,5	2,6	2,0
Боярка Вишневе	2,5	4,2	5,2	7,4	8,6	9,6	9,4	7,9	5,6	3,4	2,2	1,9
Київ Обухів Ірпінь	2,2	5,2	7,3	8,6	9,4	9,0	9,0	7,5	5,3	2,9	2,0	1,8

Таблиця П. 1.4 Вихідні дані для розрахунку задачі 1.2.

варіант	Місяць	Температура довкілля, 0С	Кут нахилу до горизонту, $\beta$	Кількість модулів, m
0	березень квітень	5	28	4
1	червень липень	20	0	2
2	травень червень	15	58	3
3	вересень жовтень	5	43	4
4	квітень травень	15	0	2
5	липень серпень	20	90	2
6	червень липень	20	28	1
7	серпень вересень	10	58	3
8	квітень травень	10	90	3
9	червень липень	20	43	2

Таблиця П.1.5 Валовий питомий прихід сонячної радіації на сонячну поверхню модуля в кВт год/(м<sup>2</sup> міс.) для різних кутів нахилу майданчика  $\beta$  до горизонту

Місяць	$E_{\text{вал}}$ , кВт год/(м <sup>2</sup> · міс)				
	$\beta = 0^\circ$	$\beta = 28^\circ$	$\beta = 43^\circ$	$\beta = 58^\circ$	$\beta = 90^\circ$
I	55,6	86,49	105,98	114,6	104,1
II	72,2	96,6	114,35	116,3	97,8
III	121,4	144,4	159,2	150,6	111,6
IV	138,8	145,5	149,69	129,1	76,8
V	172,0	171,7	163,35	128,2	66,7
VI	193,8	191,7	174,05	137,6	63,7
VII	201,7	191,7	181,32	145,2	65,2
VIII	171,5	174,8	178,03	147,5	80,3
IX	137,7	155,7	164,3	154,3	106,3
X	97,9	125,2	146,17	147,8	119,0
XI	53,0	75,3	92,8	97,9	85,8
XII	48,9	75,3	100,1	107,9	99,9

Рік	1464,6	1634,4	1729,3	1576,1	1077,2
-----	--------	--------	--------	--------	--------

Таблиця П.1.6 Характеристика фотоелектричного модуля PSM4-150 на основі монокристалічного кремнію

Характеристика	Значення
Загальна площа модуля у корпусі	1,28 м <sup>2</sup>
маса, кг	19
Лицьова поверхня	скло марки М1 (4мм)
Рама	фарбований алюміній
Сонячні елементи	ФЕП 125/150
Кількість елементів	72
Форма елемента	псевдоквадрат
Розміри елемента	125x125 мм.

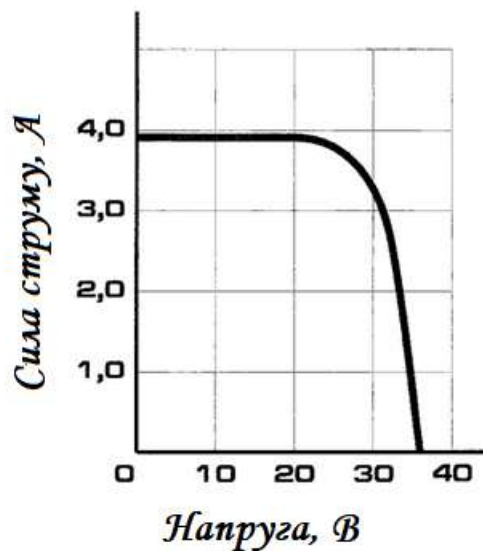


Рисунок П.1.1 Вольт-амперна характеристика (ВАХ) PSM4-150 при рівні освітленості 800 Вт/м<sup>2</sup>

## ДОДАТОК Б [2-6]

Таблиця П. 2.1 Вихідні дані для вирішення задачі 2.1.

№ варіанта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Район Київської області	Біла Церква	Бровари	Фастів	Васильків	Боярка	Київ	Обухів	Бориспіль	Ірпінь	Вишневе
Тип ВЕУ	УВЕ-40	ЛІМВ-250	ВЕУ-1	ЛІМВ-500	ВЕТЕН-0,16	Веселка-001	УВЕ-300/24-2,2	ВЕУ-02	УВЕ-500	ВЕС-1
Номинальна потужність, РН, кВт	0,07	0,25	1,0	0,5	0,16	1,0	0,55	0,2	0,5	1,0
Мінімальна швидкість обертання, v <sub>min</sub> м/с	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Робоча швидкість обертання, v <sub>p</sub> м/с	6,5	8,0	7,0	7,0	7,0	8,0	8,0	8,0	12,0	7,0
Максимальна швидкість обертання, v <sub>max</sub> м/с	25,0	30,0	40,0	30,0	25,0	25,0	25,0	40,0	25,0	40,0
Число лопатей	3	3	1	2	3	3	3	1	3	3
Діаметр вітроколеса, D, м	1,5	1,7	3,0	3,0	1,6	2,2	2,2	1,6	2,2	3,6
Висота щогли h, м	4	9	10	8	4,5	4,3	4,3	6	4,5	8

Таблиця П. 2.2 Емпірична повторюваність швидкостей вітру

Місяць	Градації швидкостей вітру, м/с								
	0 - 1	2 - 3	4 - 5	6 - 7	8 - 9	10 - 11	12 - 13	14 - 15	Більше 16
<b>Біла Церква</b>									
Січень	0,3	0,32	0,23	0,08	0,05	0,01	0,01	0	0
Лютий	0,3	0,33	0,22	0,09	0,04	0,01	0,01	0	0
Березень	0,27	0,29	0,25	0,1	0,05	0,01	0,01	0	0
Квітень	0,28	0,3	0,22	0,1	0,08	0,02	0,01	0	0
Травень	0,27	0,29	0,23	0,1	0,08	0,02	0,01	0	0
Червень	0,27	0,31	0,22	0,1	0,08	0,02	0	0	0
Липня	0,27	0,29	0,24	0,1	0,07	0,02	0,01	0	0
Серпень	0,28	0,29	0,22	0,1	0,08	0,02	0,01	0	0
Вересень	0,28	0,3	0,24	0,1	0,05	0,02	0,01	0	0
Жовтень	0,27	0,29	0,24	0,1	0,07	0,02	0,01	0	0
Листопад	0,28	0,3	0,23	0,09	0,06	0,02	0,01	0	0
грудень	0,29	0,31	0,23		0,06	0,01	0,01	0	0
<b>Рік</b>	<b>0,39</b>	<b>0,34</b>	<b>0,19</b>	<b>0,05</b>	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

<b>Бровари</b>									
Січень	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,16	0,13	0,01	0,27
Лютий	0,07	0,08	0,09	0,1	0,18	0,12	0,1	0,07	0,19
Березень	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,14	0,07	0,14
Квітень	0,06	0,09	0,1	0,13	0,12	0,17	0,12	0,06	0,15
Травень	0,08	0,13	0,17	0,18	0,15	0,14	0,07	0,04	0,04
Червень	0,08	0,1	0,18	0,17	0,14	0,17	0,09	0,04	0,03
Липня	0,11	0,16	0,19	0,19	0,15	0,13	0,05	0,02	0
Серпень	0,08	0,16	0,16	0,17	0,16	0,12	0,07	0,03	0,02
Вересень	0,06	0,11	0,11	0,18	0,17	0,15	0,1	0,04	0,05
Жовтень	0,06	0,1	0,1	0,16	0,14	0,16	0,12	0,06	0,08
Листопад	0,04	0,08	0,08	0,11	0,1	0,15	0,18	0,07	0,18
грудень	0,04	0,07	0,07	0,1	0,09	0,15	0,14	0,07	0,29
<b>Рік</b>	<b>0,07</b>	<b>0,09</b>	<b>0,13</b>	<b>0,14</b>	<b>0,13</b>	<b>0,15</b>	<b>0,11</b>	<b>0,06</b>	<b>0,12</b>
<b>Фастів</b>									
Січень	0,19	0,34	0,27	0,13	0,06	0,01	0	0	0
Лютий	0,19	0,39	0,25	0,11	0,05	0,01	0	0	0
Березень	0,19	0,47	0,22	0,08	0,03	0,01	0	0	0
Квітень	0,14	0,34	0,29	0,16	0,06	0,01	0	0	0
Травень	0,14	0,38	0,27	0,13	0,05	0,02	0,01	0	0
Червень	0,19	0,41	0,25	0,1	0,04	0,01	0	0	0
Липня	0,24	0,46	0,21	0,07	0,02	0	0	0	0
Серпень	0,23	0,47	0,2	0,07	0,02	0,01	0	0	0
Вересень	0,2	0,39	0,26	0,11	0,03	0,01	0	0	0
Жовтень	0,16	0,38	0,27	0,14	0,04	0,01	0	0	0
Листопад	0,15	0,37	0,28	0,12	0,05	0,03	0	0	0
Грудень	0,18	0,36	0,28	0,13	0,04	0,01	0	0	0
<b>Рік</b>	<b>0,18</b>	<b>0,4</b>	<b>0,25</b>	<b>0,11</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Васильків</b>									
Січень	0,46	0,25	0,15	0,08	0,04	0,01	0,005	0,005	0
Лютий	0,48	0,26	0,15	0,06	0,03	0,01	0,005	0,004	0,001
Березень	0,45	0,29	0,15	0,06	0,04	0,01	0	0	0
Квітень	0,35	0,29	0,19	0,08	0,06	0,02	0,01	0	0
Травень	0,31	0,32	0,19	0,1	0,05	0,02	0,01	0	0
Червень	0,35	0,34	0,19	0,08	0,04	0	0	0	0
Липня	0,42	0,34	0,16	0,05	0,03	0	0	0	0
Серпень	0,43	0,33	0,17	0,05	0,02	0	0	0	0
Вересень	0,41	0,29	0,17	0,07	0,04	0,02	0	0	0
Жовтень	0,35	0,3	0,18	0,09	0,05	0,02	0,01	0	0
Листопад	0,39	0,29	0,17	0,08	0,04	0,02	0,01	0	0
Грудень	0,51	0,25	0,13	0,06	0,03	0,01	0,01	0	0
<b>Рік</b>	<b>0,41</b>	<b>0,3</b>	<b>0,16</b>	<b>0,072</b>	<b>0,04</b>	<b>0,012</b>	<b>0,005</b>	<b>0,001</b>	<b>0</b>
<b>Боярка</b>									
Січень	0,53	0,24	0,17	0,04	0,01	0,01	0	0	0
Лютий	0,55	0,22	0,16	0,04	0,02	0,01	0	0	0
Березень	0,49	0,29	0,16	0,05	0,01	0	0	0	0
Квітень	0,39	0,28	0,21	0,09	0,02	0,01	0	0	0
Травень	0,4	0,3	0,2	0,07	0,02	0,01	0	0	0
Червень	0,41	0,3	0,2	0,07	0,02	0	0	0	0
Липня	0,44	0,32	0,19	0,04	0,01	0	0	0	0
Серпень	0,46	0,3	0,18	0,05	0,01	0	0	0	0
Вересень	0,48	0,27	0,2	0,04	0,01	0	0	0	0
Жовтень	0,42	0,28	0,2	0,07	0,02	0,01	0	0	0
Листопад	0,49	0,28	0,16	0,05	0,02	0	0	0	0
Грудень	0,62	0,22	0,11	0,04	0,01	0	0	0	0
<b>Рік</b>	<b>0,47</b>	<b>0,28</b>	<b>0,18</b>	<b>0,05</b>	<b>0,014</b>	<b>0,005</b>	<b>0,001</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

<b>Київ</b>									
Січень	0,24	0,28	0,21	0,13	0,07	0,04	0,02	0,01	0
Лютий	0,24	0,32	0,23	0,1	0,05	0,03	0,02	0,01	0
Березень	0,24	0,4	0,23	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Квітень	0,22	0,29	0,26	0,13	0,06	0,02	0,01	0,01	0
Травень	0,18	0,29	0,27	0,14	0,07	0,03	0,01	0,1	0
Червень	0,16	0,33	0,27	0,13	0,06	0,03	0,01	0,01	0
Липня	0,21	0,41	0,25	0,09	0,03	0,01	0	0	0
Серпень	0,21	0,37	0,26	0,1	0,05	0,01	0	0	0
Вересень	0,18	0,34	0,26	0,13	0,05	0,03	0,01	0	0
Жовтень	0,18	0,35	0,26	0,12	0,06	0,03	0	0	0
Листопад	0,15	0,34	0,3	0,12	0,04	0,03	0,01	0	0,01
грудень	0,18	0,32	0,26	0,12	0,06	0,04	0,01	0,01	0
<b>Рік</b>	<b>0,2</b>	<b>0,34</b>	<b>0,26</b>	<b>0,12</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Обухів</b>									
Січень	0,43	0,12	0,14	0,1	0,09	0,07	0,03	0,01	0,01
Лютий	0,4	0,15	0,14	0,1	0,08	0,08	0,03	0,01	0,01
Березень	0,32	0,16	0,19	0,13	0,07	0,08	0,03	0,02	0
Квітень	0,25	0,16	0,22	0,11	0,1	0,1	0,04	0,02	0
Травень	0,2	0,18	0,24	0,14	0,1	0,1	0,03	0,01	0
Червень	0,24	0,2	0,25	0,13	0,1	0,06	0,02	0	0
Липень	0,27	0,21	0,23	0,13	0,07	0,07	0,02	0	0
Серпень	0,29	0,22	0,24	0,11	0,06	0,05	0,02	0,01	0
Вересень	0,29	0,18	0,23	0,12	0,08	0,08	0,02	0	0
Жовтень	0,23	0,15	0,022	0,13	0,1	0,11	0,04	0,02	0
Листопад	0,25	0,16	0,19	0,11	0,1	0,11	0,06	0,01	0,01
Грудень	0,43	0,13	0,15	0,09	0,07	0,08	0,03	0,02	0
<b>Рік</b>	<b>0,3</b>	<b>0,17</b>	<b>0,2</b>	<b>0,12</b>	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0</b>
<b>Бориспіль</b>									
Січень	0,27	0,29	0,17	0,12	0,07	0,05	0,02	0,01	0
лютий	0,24	0,31	0,21	0,12	0,07	0,03	0,02	0	0
Березень	0,24	0,3	0,23	0,12	0,06	0,03	0,02	0	0
Квітень	0,18	0,29	0,24	0,15	0,08	0,03	0,02	0,01	0
Травень	0,18	0,3	0,24	0,15	0,08	0,04	0,01	0	0
Червень	0,23	0,33	0,23	0,12	0,06	0,02	0,01	0	0
Липень	0,25	0,36	0,23	0,1	0,04	0,02	0	0	0
Серпень	0,26	0,4	0,19	0,1	0,03	0,01	0,01	0	0
Вересень	0,23	0,34	0,23	0,11	0,07	0,02	0	0	0
Жовтень	0,17	0,3	0,22	0,15	0,1	0,04	0,02	0	0
Листопад	0,21	0,26	0,22	0,16	0,09	0,04	0,02	0	0
Грудень	0,29	0,28	0,22	0,11	0,05	0,03	0,01	0,07	0,03
<b>Рік</b>	<b>0,23</b>	<b>0,31</b>	<b>0,22</b>	<b>0,13</b>	<b>0,07</b>	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Ірпінь									
Січень	0,42	0,21	0,16	0,1	0,06	0,02	0,02	0,01	0
Лютий	0,38	0,23	0,14	0,1	0,08	0,05	0,02	0	0
Березень	0,44	0,25	0,15	0,1	0,03	0,02	0,01	0	0
Квітень	0,36	0,26	0,17	0,1	0,08	0,02	0,01	0	0
Травень	0,34	0,27	0,17	0,1	0,09	0,02	0,01	0	0
Червень	0,32	0,27	0,21	0,1	0,05	0,03	0,01	0,01	0
Липень	0,37	0,31	0,19	0,1	0,03	0	0	0	0
Серпень	0,38	0,31	0,18	0,08	0,04	0,01	0	0	0
Вересень	0,33	0,29	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0	0
Жовтень	0,36	0,28	0,2	0,1	0,03	0,02	0,01	0	0
Листопад	0,37	0,25	0,16	0,1	0,08	0,03	0,01	0	0
Грудень	0,35	0,25	0,18	0,1	0,09	0,02	0,01	0	0
<b>Рік</b>	<b>0,37</b>	<b>0,27</b>	<b>0,18</b>	<b>0,1</b>	<b>0,06</b>	<b>0,02</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Вишневе									
Січень	0,47	0,31	0,14	0,05	0,02	0,01	0	0	0
Лютий	0,43	0,29	0,17	0,07	0,03	0,01	0	0	0
Березень	0,47	0,33	0,13	0,04	0,03	0	0	0	0
Квітень	0,43	0,34	0,17	0,04	0,02	0	0	0	0
Травень	0,49	0,33	0,13	0,04	0,01	0	0	0	0
Червень	0,56	0,29	0,1	0,04	0,01	0	0	0	0
Липень	0,61	0,28	0,08	0,03	0	0	0	0	0
Серпень	0,62	0,31	0,06	0,01	0	0	0	0	0
Вересень	0,57	0,3	0,11	0,02	0	0	0	0	0
Жовтень	0,51	0,35	0,1	0,03	0,01	0	0	0	0
Листопад	0,44	0,34	0,15	0,05	0,02	0	0	0	0
Грудень	0,47	0,32	0,14	0,05	0,01	0,01	0	0	0
<b>Рік</b>	<b>0,66</b>	<b>0,18</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>0,04</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## ДОДАТОК В [2-6]

Таблиця П. 3.1 Вихідні дані для вирішення задачі 3.1.

№ варіанти	0		1		2		3		4	
Вид тварин	корови	бики	свині	корови	телята	свині	бики	телята	корови	телята
Кількість голів, п	30	10	30	20	40	25	10	20	20	15
№ варіанти	5		6		7		8		9	
Вид тварин	бики	свині	кури	свині	бики	корови	кури	бики	гуси	свині
Кількість голів, п	20	30	150	50	20	20	250	10	50	50

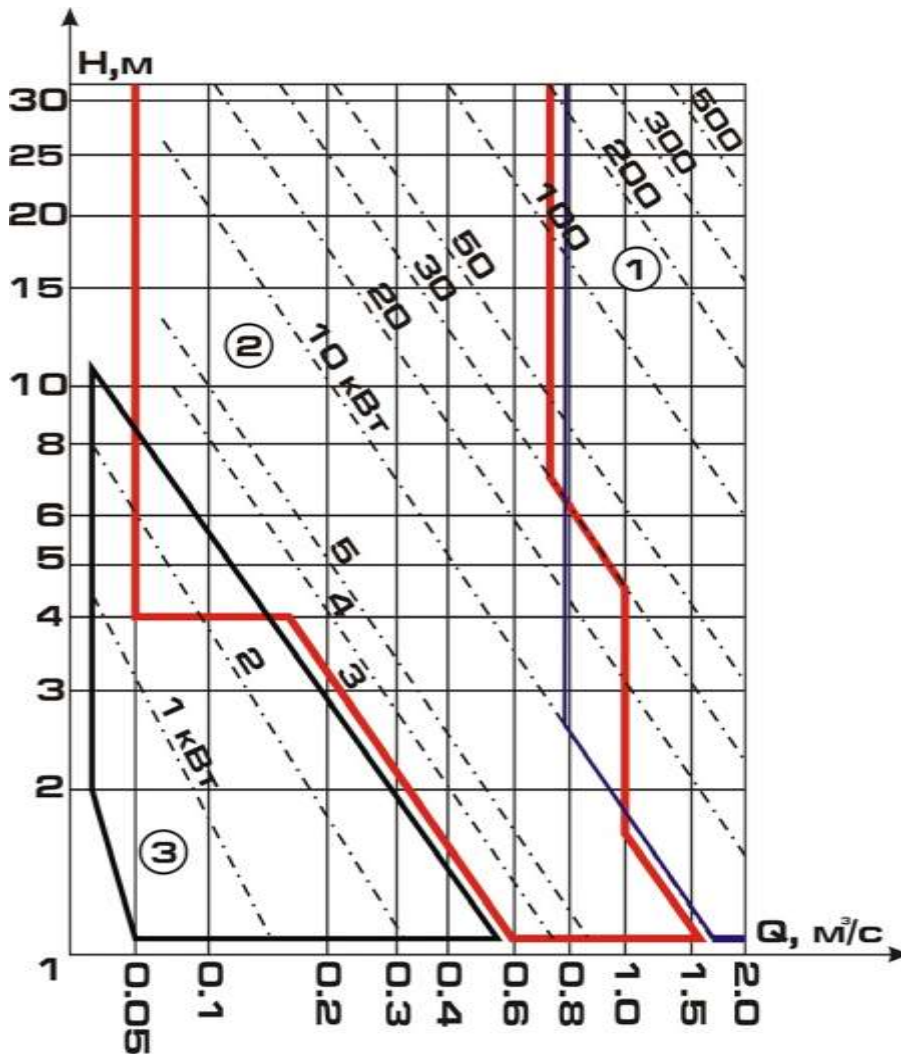
Таблиця П. 3.2 Вихідні дані для розрахунку біогазових установок

Вид тварин	Вологість гною, W, о.	Рекомендо ваний обсяг завантаже ння тр. кг/м <sup>3</sup>	Частка СОВ у сухій речовині гною, Р	Добовий вихід гною на добу на одну голову, Мсут, кг/сут	Тривалість бродиння, Т, добу	Частка виходу біогазу, мБ
Би́ки	0,85 – 0,9	4,5	0,77 - 0,85	40	18	0,4
Корови	0,85 – 0,9	6,0	0,77 - 0,85	40	17	0,4
Свині	0,88 – 0,92	3,0	0,77 - 0,84	2,0	12	0,5
Телята	0,86 – 0,9	5,0	0,77 – 0,80	10	16	0,48
Кури	0,73 – 0,76	1,5	0,76 - 0,77	0,2	30	0,55
Гуси	0,72 - 0,75	2,0	0,75 - 0,77	0,58	40	0,56
Качки	0,72 - 0,75	1,7	0,75 - 0,77	0,42	40	0,55

## ДОДАТОК Г [2-6]

Таблиця П. 4.1 Вихідні дані для розрахунку задачі 4.1

№ варіанта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Витрата води, Q, м <sup>3</sup> /с	0,2	0,4	0,7	0,6	1,0	0,2	0,8	0,4	0,3	0,8
Натиск води, h, м	4,0	5,0	5,0	8,0	3,0	10,0	4,0	8,0	4,0	3,0
Ухил річки і, м/км	00,5	0,1	0,08	0,06	0,09	0,06	0,07	0,1	0,05	0,08



4.1 Номограма для вибору турбін малих ГЕС:

- 1 – зона прямоточних турбін;
- 2 – зона поперечно-струминних турбін;
- 3 - зона похило-струминних турбін

Таблиця П. 4.2

Вихідні дані для розрахунку задачі 4.2

№ варіанта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Швидкість водного потоку $v$ , м/с	2,0	1,8	2,2	1,7	1,5	2,0	1,6	2,5	1,8	2,6
Діаметр турбіни $d$ , м	1,28	0,72	0,34	0,48	0,72	0,56	0,4	0,4	0,6	0,5
Довжина турбіни $l$ , м	1,9	1,33	0,7	1,2	1,14	0,8	1,05	0,9	1,22	0,4
Кількість турбін у гірлянді $n$	3	6	5	10	14	9	7	4	8	1

Таблиця П. 4.3 Типи генераторів, що застосовуються для гірляндних ГЕС

Тип генератора	Потужність, кВт	Число оборотів за хвилину
ДПМ 130	0,13	500
ГАУ-4101 ГАУ-4684	0,1	800/450
Г52А	0,96	625/850
АПН-68	1,8	750
ВС-18/8	3,5/2,7	1000/750
МП-542-1/2	3,6	500
МП-543-1/2	6	428
ВС-24/2	6,5	750
МП-543-2/2	9,5	428
НД-29, 5/21	10	375
ВС-34/18	10	300
МП-544-1/2	11,2	375
ВС-34/26	11,5	250
В-48/24-6	17,5	187

## ДОДАТОК Д [2-6]

Таблиця П. 5.1 Вихідні дані для розрахунку задачі 5.1

№ варіанта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температурний градієнт $q$ , $^{\circ}\text{C}/\text{км}$	55	30	70	45	35	50	75	40	60	65
Глибина залягання шару $H$ , $\text{км}$	3,5	3,0	4,0	2,5	3,0	2,5	4,0	3,5	2,5	3,0
Товщина шару $b$ , $\text{км}$	0,7	0,5	0,9	0,6	1,0	0,8	0,7	0,5	0,9	1,0
Число років від початку експлуатації свердловини $n$ , років	20	15	30	25	10	15	20	10	25	30

## ДОДАТОК Е [2-6]

Таблиця П. 6.1 Співвідношення деяких одиниць енергії (роботи, теплоти)

	<b>Дж</b>	<b>Кал</b>	<b>г.у.т.</b>	<b>г.н.е.</b>	<b>м3 газу</b>	<b>Вт·ч</b>
1 Дж	1	0,24	$3,41 \cdot 10^{-5}$	$2,39 \cdot 10^{-5}$	$25-27 \cdot 10^{-9}$	$2,78 \cdot 10^{-4}$
Кал	4,18	1	$1,43 \cdot 10^{-4}$	$9,98 \cdot 10^{-5}$	$1,12 \cdot 10^{-7}$	$1,16 \cdot 10^{-3}$
1 г.у.	$2,93 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^3$	1	$6,99 \cdot 10^{-1}$	$7,86 \cdot 10^{-4}$	8,16
1 р.н.е.	$4,19 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$	1,43	1	$1,12 \cdot 10^{-3}$	$1,17 \cdot 10^1$
1 м3 газу	$3,73 \cdot 10^7$	$8,92 \cdot 10^6$	$1,27 \cdot 10^3$	$8,9 \cdot 10^2$	1	$1,04 \cdot 10^4$
1 Вт·год	$3,59 \cdot 10^3$	$8,59 \cdot 10^3$	$1,23 \cdot 10^{-1}$	$8,59 \cdot 10^{-2}$	$9,62 \cdot 10^{-5}$	1

Примітки:

Дж - Джоуль

Кал - калорія;

г.у.т. - грам умовного палива;

г.н.е. – грам нафтового еквівалента

$\text{м}^3$  газу – кубічний метр природного газу. Вт·ч - Ватт-година електроенергії.