



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

6043 Методичні вказівки
до практичних занять,
розрахункових і самостійної роботи
із дисципліни **«Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії»**
для здобувачів спеціальності 144 «Теплоенергетика»
(освітня програма **«Енергетичний менеджмент»**)
усіх форм здобуття вищої освіти

Суми
Сумський державний університет
2025

Методичні вказівки до практичних занять, розрахункових та самостійної роботи із дисципліни «Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії» / укладачі С. С. Антоненко, Е. В. Колісніченко. – Суми : Сумський державний університет, 2025. – 56 с.

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки факультету ТеСЕТ



Цей твір ліцензовано на умовах
[Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)
(Із Зазначенням Авторства-Некомерційна-Поширення
на тих самих умовах 4.0 Міжнародна)

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	5
1 Практикум із розділу «Сонячна енергетика».....	6
1.1 Розрахунок кількості трубок для вакуумного сонячного колектора	6
1.2 Розрахунок площі поверхні приймача енергії сонячного випромінювання.....	8
1.3 Визначення сумарної кількості сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню.....	9
1.4 Визначення кількості сонячної енергії, що надходить на поверхню під кутом	12
2 Практикум із розділу «Геотермальна енергетика».....	15
2.1 Визначення кількості геотермальної енергії водоносного пласта	15
2.2 Розрахунок корисної теплоти сухої скальної породи.....	17
2.3 Розрахунок робочих та конструктивних параметрів теплового насосу типу «ґрунт-вода».....	20
3 Практикум із розділу «Вітрова енергетика».....	24
3.1 Розрахунок енергетичних та конструктивних параметрів вітроенергетичної установки	24
4 Практикум з розділу «Біоенергетичні ресурси».....	27
4.1 Розрахунок фізико-хімічних параметрів біогазу рослинного походження та з твердих побутових відходів	27
4.2 Розрахунок конструктивних та робочих параметрів газогенераторної установки на біомасі з рослин	32
4.3 Розрахунок робочих параметрів газогенераторної установки на біомасі тваринного походження.....	34

5 Практикум із розділу «Енергоресурси світового океану».....	38
5.1 Визначення енергетичного потенціалу хвиль та потоків світового океану.....	38
6 Практикум із розділу «Акумулювання енергії»	41
6.1 Визначення параметрів акумуляторної батареї для сонячної електростанції.....	41
6.2 Технологія акумулювання теплової енергії від сонячного випромінення.....	45
Список літератури	50

ВСТУП

Набуття знань та навичок у практичному використанні основних положень методологій розрахунку робочих та конструктивних параметрів різних видів технологічних систем поновлювальної енергетики, є базою для фахової діяльності у сфері енергетики.

Розроблені методичні вказівки практикуму з дисципліни «Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії» призначені для виконання практичних, розрахункових та самостійних робіт на основі вивчення теоретичного матеріалу, який викладають на лекційних заняттях із відповідного навчального курсу для підготовки здобувачів ступеня вищої освіти зі спеціальності 144 «Теплоенергетика». У зазначених методичних вказівках зібраний, систематизований методичний матеріал, що охоплює практичні питання методології розрахункового визначення характерних енергетичних та конструктивних параметрів різного типу технологічних елементів поновлювальної енергетики. Структура кожної розрахункової методики з прикладами виконання розрахунків, роблять навчальний матеріал зручним для його повноцінного опрацювання.

У наданих методичних вказівках весь теоретичний матеріал та розрахункові формули для методик узяті зі спеціалізованих літературних джерел, зазначених у списку використаної літератури.

Рівень матеріалу ґрунтується на знаннях і вміннях із фізики, загальної хімії, методів термодинамічного аналізу в енергетиці та управління проектами в енергетиці в обсязі навчальних програм названих дисциплін.

1 Практикум із розділу «Сонячна енергетика»

1.1 Розрахунок кількості трубок для вакуумного сонячного колектора

Сонячна енергетична установка (СЕУ) – це енергетична установка, що перетворює енергію сонячної радіації на інші види енергії.

До видів СЕУ, що ґрунтуються здебільшого на системі перетворення сонячного випромінювання на тепло, належать баштові сонячні електричні станції, сонячні ставки, сонячні колектори.

Методологія розрахунку

1 Об'єм води, л, який необхідно нагріти СЕУ

$$V_{\text{н}} = X \cdot V_{\text{х}} \quad (1.1)$$

де X – кількість людей, які потребують відповідний обсяг гарячої води, людина;

$V_{\text{х}}$ – середньодобовий обсяг гарячої води, який потрібен для однієї людини, л/людина.

2 Температурний перепад для нагрівання води СЕУ

$$\Delta t_{\text{н}} = t_{\text{к}} - t_{\text{н}} \quad (1.2)$$

де $t_{\text{к}}$ – необхідна кінцева температура нагрітої води, °С;

$t_{\text{н}}$ – початкова температура води на вході до сонячного колектора, °С.

3 Кількість енергії, кВт·год, необхідної для нагрівання потрібної кількості води СЕУ з урахуванням того, що для нагрівання 1 л води на один градус потрібно витратити енергію, рівну 1 ккал (1 кВт·год = 859,8 ккал):

$$E = \frac{H \cdot \Delta T}{859,8} \quad (1.3)$$

Кількість енергії, що необхідна для підтримки заданої температури води в басейні впродовж доби, кВт·год:

$$E_{\text{доби}} = 24 \cdot E \cdot F_{\text{поверхні}} \quad (1.4)$$

де E – кількість енергії, що витрачається за годину на підтримання температури 1 м^2 поверхні води басейну, кВт·год/м²;

$F_{\text{поверхні}}$ – площа поверхні води в басейні, м²

4 Кількість енергії, кВт·год, яка може поглинатися й перетворюватися на тепло 1 трубкою сонячного колектора

$$E_{\text{тр}} = G_x \cdot Y \cdot F_{\text{тр}} \quad (1.5)$$

де G_x – середньомісячне значення сонячної радіації для відповідного міста, кВт·год/м² (див. додаток А, Таблиця А1);

Y – здатність поглинання енергії сонця сонячним колектором (безрозмірна величина);

$F_{\text{тр}}$ – площа поглинання сонячної енергії 1 трубкою сонячного колектора, м².

5 Необхідна кількість трубок сонячного колектору, шт

$$N_{\text{тр}} = \frac{E_{\text{доби}}}{E_{\text{тр}}} \quad (1.6)$$

Завдання 1.1 (приклад виконання)

Необхідно забезпечити гарячою водою сім'ю з $X = 3$ чоловік, що проживають у місті Києві, із середньодобовою потребою кожного з них у $V_{Xi} = 33$ л/доба. Середня температура води, що входить, становить $t_{\text{п}} = 10$ °С, необхідна кінцева температура – $t_{\text{к}} = 5$ °С; здатність поглинання енергії сонця сонячним колектором становить $Y = 80$ %, площа поглинання – $F_{\text{тр}} = 0,09$ м².

Розв'язання

1 Об'єм води, що необхідно нагріти (1.1)

$$V_{\text{н}} = 3 \cdot 33 = 99 \text{ л.}$$

2 Температурний перепад для нагрівання води (1.2)

$$\Delta T_{\text{н}} = 50 - 10 = 40 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

3 Кількість енергії, необхідної для нагрівання потрібної кількості води (1.3)

$$Q_{\text{н}} = \frac{99 \cdot 40}{859,8} = 4,61 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

4 Кількість енергії, яка може поглинатися й перетворюватися на тепло 1 трубою сонячного колектора (1.5)

$$Q_{\text{тр}} = 3,1 \cdot 0,8 \cdot 0,09 = 0,22 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

5 Необхідна кількість трубок (1.6)

$$N_{\text{т}} = \frac{4,61}{0,22} = 21 \text{ шт.}$$

1.2 Розрахунок площі поверхні приймача енергії сонячного випромінювання

На сонячній електростанції баштового типу встановлено відповідну кількість геліостатів. Геліостати відбивають сонячні промені на баштовий приймач сонячної енергії, на поверхні якого зареєстрована максимальна енергетична освітленість. Визначити площу поверхні баштового приймача сонячної енергії.

Методологія розрахунку

1 Енергія, одержана приймачем від сонця через геліостати, Вт

$$P_{\text{пр}} = \rho_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot S_{\text{г}} \cdot P_{\text{г}} \cdot n \quad (1.7)$$

де $\rho_{\text{г}}$ – коефіцієнт віддзеркалення геліостата;
 $\eta_{\text{пр}}$ – коефіцієнт поглинання приймача сонячної енергії;
 $S_{\text{г}}$ – площа віддзеркалення сонячної енергії геліостата, м²;
 $P_{\text{г}}$ – максимальна опроміненість поверхні дзеркала геліостата сонячним випромінюванням, Вт/м²;
 n – кількість геліотатів, шт.

2 Площа поверхні баштового приймача енергії сонячного випромінювання, м²

$$S_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{г}}}, \quad (1.8)$$

де $P_{\text{г}}$ – максимальна енергетична освітленість геліостата від сонячного випромінювання, МВт/м².

1.3 Визначення сумарної кількості сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню

Сумарну кількість енергії i -го дня, що надходить на горизонтальну поверхню, розміщену на місцевості з північною широтою, можна визначити за методологією розрахунку, зазначеною нижче.

1 Кут схилення Сонця, δ^0 , для обраного дня року визначають із формули

$$\delta = \delta_0 \cdot \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right), \quad (1.9)$$

де n – порядковий номер доби календарного року (для 1-го січня $n = 1$);

$\delta_0 = 23,5^\circ$ – початковий кут схилення Сонця для періоду від весняного до літнього рівнодення.

2 Максимальний кут висоти Сонця для північної широти визначають за формулою

$$h^0 = 90 - |\varphi^0 - \delta_0|, \quad (1.10)$$

де φ^0 – кут північної широти.

3 Інтенсивність прямої сонячної енергії на плоскій горизонтальній поверхні визначають за формулою, Вт/м²

$$E_{\text{пр}} = 1360 \frac{\sin h^0}{|\sin h^0 + (\frac{1 - P_{\text{пр}}}{P_{\text{пр}}})|}, \quad (1.11)$$

де $P_{\text{пр}}$ – коефіцієнт прозорості атмосфери (0,7–0,8).

Величину розсіяної енергії для значень кута висоти Сонця визначають із таблиці 1.1. Для значень кута висоти Сонця, що знаходяться між діапазонами вказаних у таблиці показників, величину розсіяної енергії визначають методом інтерполяції.

Таблиця 1.1 – Величина розсіяної енергії для різних значень кута висоти Сонця

h^0	10	20	30	40	50	60	70
$E_{\text{р}}, \text{Вт/м}^2$	31,4	43,1	52,	60,5	65,2	67,5	68,6

4 Сумарна кількість енергії, Вт/м², що діє на горизонтальну поверхню

$$E_{\text{с}} = E_{\text{пр}} + E_{\text{р}} \quad (1.12)$$

Завдання 1.2 (приклад виконання)

Визначити сумарну кількість сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню у день року – $n = 135$; кут північної широти – $\varphi = 50^\circ$; коефіцієнт прозорості атмосфери – $P_{\text{пр}} = 0,7$.

1 Кут схилення Сонця, δ^0 , для обраного дня року визначають із формули (1.9)

$$h_{\text{сх}}^0 = 23,5 \cdot \sin\left(360 \frac{284+135}{365}\right) = 18,8^0.$$

2 Максимальний кут висоти Сонця для північної широти визначають із формули (1.10)

$$h_{\text{в}}^0 = 90 - |50^0 - 18,8^0| = 58,8^0 \approx 59^0.$$

3 Інтенсивність прямої сонячної енергії на плоскій горизонтальній поверхні визначають із формули (1.11)

$$q_{\text{пр}} = 1360 \frac{\sin 59}{|\sin 59 + (\frac{1-0,7}{0,7})|} = 906,7 \text{ Вт/м}^2.$$

Використовуючи таблицю 1.1, для кута висоти Сонця – $h_{\text{в}}^0 = 59^\circ$ величина розсіяної енергії із визначеного діапазону ($50^\circ - 60^\circ$) становить

$$q_{\text{р}} = 65,2 + (59 - 50) \cdot \left\{ \frac{67,5 - 65,2}{(60 - 50)} \right\} = 67,27 \text{ Вт/м}^2.$$

4 Сумарна кількість енергії, що діє на горизонтальну поверхню (1.12)

$$q_{\text{с}} = 906,7 + 67,27 = 974 \text{ Вт/м}^2.$$

1.4 Визначення кількості сонячної енергії, що надходить на поверхню під кутом

Методологію розрахунку наводять для встановлення сонячних колекторів для нагрівання води.

1 Сумарну кількість теплової енергії на поверхні сонячного колектора, розміщеного під кутом на південь, визначають за формулою, МДж/м²

$$\dot{Q}_c = 0,96 \cdot (\dot{Q}_{пр} \cdot \dot{Q}_{пр} \cdot \theta_p + \dot{Q}_{р} \cdot \dot{Q}_{р} \cdot \theta_p) \quad (1.13)$$

де θ_p – приведена оптична характеристика колектора розсіяної радіації: для колекторів з одним шаром скла $\theta_p = 0,64$, для двох шарів $\theta_p = 0,42$;

$E_{пр}$ – пряма сонячна енергія, що надходить на горизонтальну поверхню, МДж/м² (визначають із довідкової таблиці Б1, див. додаток Б);

E_p – розсіяна сонячна енергія, що надходить на горизонтальну поверхню, МДж/м² (визначають із довідкової таблиці Б1, див. додаток Б);

$K_{пр}$ – коефіцієнт, що враховує орієнтацію колектора відносно прямої сонячної радіації (визначають із довідкової таблиці Б2, див. додаток Б);

K_p – коефіцієнт, що враховує орієнтацію колектора відносно розсіяної сонячної радіації. Визначають за такою залежністю:

$$\frac{K_p}{2} = \frac{\cos \theta_p}{2} (\cos \theta_p / 2) = (\cos 2\theta_p + 1) / 2 \quad (1.14)$$

2 ККД установлення сонячного тепlopостачання визначають як

$$\eta = 0,8 \cdot \left[\frac{8 \cdot \theta_p \cdot (0,5 \cdot (\theta_1 + \theta_2) - \theta_p)}{c} \right], \quad (1.15)$$

де ζ – наведений коефіцієнт тепловтрат колектора (для колекторів з одним прошарком скла $\zeta = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; із двома прошарками скла $\zeta = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

t_1, t_2 – відповідно температура води на вході та виході колектора, $^{\circ}\text{C}$. Для двоконтурних колекторів $t_1 = t_x + 5^{\circ}\text{C}$, $t_2 = t_r$;
 t – середня температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$;

E_c – сумарна кількість теплової енергії від сонця, що потрапляє на поверхню, $\text{кВт}/\text{м}^2$.

3 Площа поверхні сонячного колектора, м^2

$$\text{평} = \frac{0,287 \cdot \Gamma \cdot \frac{\text{평}}{\text{с}} \cdot (\Gamma - x)}{\text{с}}, \quad (1.16)$$

де C_B – теплоємність води, $C_B = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

G_r – масова витрата гарячої води, $\text{кг}/\text{год}$.

4 Об'єм акумулятора теплоти, м^3 , визначають за емпіричною залежністю

$$\text{평} = (0,06 \dots 0,08) \cdot \text{평}. \quad (1.17)$$

5 Теплова потужність сонячного колектора, Вт

$$\text{평} = \text{평} \cdot \left[\frac{\text{평}}{\text{с}} \cdot \text{평}^3 \cdot 10 \frac{\text{평}}{\text{Вт} \cdot \text{평}} \left(1 \cdot \frac{\text{평}}{\text{с}} - \frac{\text{평}}{\text{с}} \right) \right], \quad (1.18)$$

де $K_{\text{втр}}$ – величина теплових втрат, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Для двоконтурних колекторів – $K_{\text{втр}} = 4,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

E_c – те саме, що у формулі (1.15).

Завдання 1.3 (приклад виконання)

Необхідно встановити сонячний двоконтурний колектор повернутий на південь під кутом $\beta = 35^{\circ}$ у точці місцевості північної широти $\varphi = 50^{\circ}$ з температурою холодної води на вході $t_x = 10^{\circ}\text{C}$, для забезпечення гарячою водою $G_r = 65 \text{ кг}/\text{годі}$ з температурою $t_r = 45^{\circ}\text{C}$. Визначити площу поверхні сонячного двоконтурного колектора; об'єм теплового акумулятора; теплову потужність сонячного колектора.

Розв'язання

Із таблиць Б1 та Б2 додатка Б визначаємо, що:

– для північної широти $\varphi = 50^\circ$ і кута нахилу $\beta = 35^\circ$:

$$K_{\text{пр}} = 1,11.$$

– для північної широти $\varphi = 50^\circ$ у травні місяці:

$$E_{\text{пр}} = 18,76 \text{ МДж/м}^2; E_p = 9,18 \text{ МДж/м}^2; t = 14,3 \text{ }^\circ\text{C}.$$

1 Коефіцієнт, що враховує орієнтацію колектора відносно розсіяної сонячної радіації (1.14)

$$\text{кoeff}_p = (\cos 2 \cdot 35 + 1)/2 = 0,671.$$

2 Сумарна кількість теплової енергії від сонця на визначеній поверхні становить (1.13)

$$\text{кoeff}_c = 0,96 \cdot (1,11 \cdot 18,76 \cdot 0,64 + 0,671 \cdot 9,18 \cdot 0,64) = 16,58 \text{ МДж/м}^2.$$

$$\text{Або, } \text{кoeff}_c = \frac{16,58}{3,6} = 4,6 \text{ кВт/м}^2.$$

3 ККД установки сонячного тепlopостачання (1.15)

$$\text{кoeff}_\eta = 0,8 \cdot \left| 0,64 \frac{8 \cdot 8 \cdot (0,5 \cdot ((10+5)+45) - 14,3)}{4,6 \cdot 10^3} \right| = 0,34.$$

4 Площа поверхні сонячного колектора (1.16)

$$\text{кoeff}_S = \frac{0,287 \cdot 65 \cdot 4,19 \cdot (45 - 10)}{0,34 \cdot 4,6 \cdot 10^3} = 1,21 \text{ м}^2.$$

5 Об'єм акумулятора теплоти (1.17)

$$\text{кoeff}_V = 0,07 \cdot 1,21 = 0,0847 \text{ м}^3.$$

6 Теплова потужність сонячного колектора (1.18)

$$\text{кoeff}_P = 1,21 \cdot [0,34 \cdot 4,6 \cdot 10^3 - 4,5 \cdot ((10 + 5) - 14,3)] = 1892,74 \text{ Вт}.$$

2 Практикум із розділу «Геотермальна енергетика»

2.1 Визначення кількості геотермальної енергії водоносного пласта

Тепловий потенціал геотермальної енергії зосереджено в природних водоносних горизонтах на певній глибині від земної поверхні. Зазвичай товщина водоносного шару менша від глибини його залягання. Шар має пористу структуру – скельні породи мають пори, заповнені водою. Зміна температури ґрунту в напрямку до земної поверхні характеризується температурним градієнтом (dT/dz).

Методологія розрахунку

1 За відомого температурного градієнта визначається температура водоносного пласта перед початком його експлуатації

$$T_{\text{пл}} = T_{\text{поверх}} + \left(\frac{dT}{dz} \right) \cdot z_1, \quad (2.1)$$

де $T_{\text{поверх}}$ – середня температура поверхні землі, $^{\circ}\text{C}$;

$\frac{dT}{dz}$ – температурний градієнт, $^{\circ}\text{C}/\text{км}$ або $\text{K}/\text{км}$;

z_1 – глибина залягання водоносного шару від поверхні землі, км .

2 Теплоємність усього водоносного пласта відносно до площі його залягання, $\text{ГДж}/\text{К}$:

$$C_{\text{пл}} = (C_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot V_{\text{п}} + (1 - C_{\text{п}}) \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot h \cdot S), \quad (2.2)$$

де $C_{\text{п}}$ – коефіцієнт пористості структури породи, у якій знаходиться водоносний шар;

$C_{\text{в}}$ – питома теплоємність води, $C_{\text{в}} = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

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

$C_{\text{ср}}$ – питома теплоємність породи, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

$\rho_{\text{ср}}$ – густина породи, $\text{кг}/\text{м}^3$;

h – товщина водоносного шару, м ;

S – площа залягання водоносного шару, км^2 .

3 За мінімально допустимої температури $t_{\min}^{\circ}\text{C}$, під час якої можна використовувати теплову енергію пласта, тепловий потенціал, ГДж, на початок експлуатації визначають, як

$$\frac{Q_{\text{пл}}}{\rho_{\text{пл}}} = \rho_{\text{пл}} \cdot \left(\frac{t_1}{\rho_{\text{пл}}} - \frac{t_{\min}}{\rho_{\text{пл}}} \right), \quad (2.3)$$

де $\rho_{\text{пл}}$ – теплоємність водоносного пласта, ГДж/К (2.2);
 $\frac{t_1}{\rho_{\text{пл}}}$ – початкова температура водоносного шару (2.1) $^{\circ}\text{C}$;
 $\frac{t_{\min}}{\rho_{\text{пл}}}$ – мінімально допустима температура $^{\circ}\text{C}$.
 пласта,

4 Постійна часу пласта (можливий час його використання, років) у разі відведення теплової енергії шляхом закачування в нього води з відповідною об’ємною витратою, років

$$\frac{t_{\text{пл}}}{\rho_{\text{пл}}} = \frac{Q_{\text{пл}}}{\rho_{\text{пл}} \cdot V} / (3600 \cdot 24 \cdot 365), \quad (2.4)$$

де $\rho_{\text{пл}}$ – теплоємність водоносного пласта, кДж/К (2.2);
 $\frac{Q_{\text{пл}}}{\rho_{\text{пл}}}$ – об’ємна витрата води, яка додактовно закачується у водоносний пласт, м³/с.

$\frac{Q_{\text{пл}}}{\rho_{\text{пл}}}$, $\frac{Q_{\text{пл}}}{\rho_{\text{пл}}}$ – те саме, що у формулі (2.2).

Завдання 2.1 (приклад виконання)

Визначити початкову температуру t_1 ($^{\circ}\text{C}$) і кількість геотермальної енергії E_0 (Дж) водоносного пласта завтовшки $h = 650$ м із глибиною залягання $z_1 = 2,5$ км. Задані характеристики породи пласта: щільність $\rho_{\text{ст}} = 2700$ кг/м³; пористість $p' = 5\%$; питома теплоємність породи $c_{\text{ст}} = 0,84$ кДж/(кг·К). Середню температуру поверхні t_0 прийняти рівною 10°C . Питома теплоємність води $c_{\text{в}} = 4,2$ кДж/(кг·К); густина води $\rho_{\text{в}} = 1103$ кг/м³. Розрахунок зробити стосовно площі залягання пласта $F = 1$ км². Мінімумально допустиму температуру пласта прийняти рівною $t_{\min} = 80^{\circ}\text{C}$. Визначити також постійну часу одержання теплової енергії t_0 (років) під час закачування води в пласт і витрати її $V = 0,1$ м³/с.

Розв'язання

1 Температура водоносного пласта перед початком його експлуатації (2.1)

$$T_{\text{пл}} = 10 + 40 \cdot 2,5 = 110 \text{ }.$$

2 Теплоємність усього водоносного пласта стосовно площі його залягання (2.2)

$$C_{\text{пл}} = (0,05 \cdot 1103 \cdot 4,2 + (1 - 0,05) \cdot 2700 \cdot 0,84) \cdot 650 \cdot 1 = 1,55 \cdot 10^6 \text{ ГДж/К}.$$

3 Тепловий потенціал водоносного пласта на початок експлуатації за мінімально допустимої температури (2.3)

$$Q_{\text{пл}} = 1,55 \cdot 10^6 \cdot (110 - 80) = 4,65 \cdot 10^8 \text{ ГДж}$$

4 Постійна часу пласта (2.4):

$$T_{\text{пл}} = \frac{1,55 \cdot 10^{12}}{0,1 \cdot 1103 \cdot 4,2} / (3600 \cdot 24 \cdot 365) = 106 \text{ років}.$$

2.2 Розрахунок корисної теплоти сухої скальної породи

У земній корі на різних глибинах залягають гарячі сухі скельні породи. Видобування тепла з них відбувається з використанням теплоносія – води. Швидкість видобування тепла залежить від енергетичного потенціалу гарячої скельної породи та від витрати води, що прокачують через неї.

Методологія розрахунку

1 Глибина, км, що відповідає мінімальній допустимій температурі, яка надає можливість використовувати енергію пласта

$$Z_{\text{пл}} = \frac{Q_{\text{пл}}}{C_{\text{пл}} \cdot \Delta T_{\text{пл}}}, \quad (2.5)$$

де $T_{\text{пл}}^{\text{мін}}$ – мінімально допустима температура пласта, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta T_{\text{пл}} / \Delta Z_{\text{пл}}$ – температурний градієнт, $^{\circ}\text{C/км}$ або K/км .

2 Теплоємність пласта сухої гірської породи, кДж/К стосовно визначеної площі поверхні пласта

$$c_{\text{пл}} = \frac{\rho \cdot \omega \cdot \rho_{\text{сг}}}{10} \cdot (\rho_{\text{п}2} - \rho_{\text{п}1}) \quad (2.6)$$

де $\rho_{\text{п}1}$ – те саме, що у формулі (2.1);
 $\rho_{\text{п}2}$ – те саме, що у формулі (2.5);
 $\rho, \omega, \rho_{\text{сг}}$ – те саме, що у формулі (2.2).

3 Енергетичний запас пласта сухої гірської породи, кДж, за визначеною площею її поверхні дорівнює

$$W_{\text{с.пл}} = c_{\text{пл}} \cdot \frac{V}{2} \quad (2.7)$$

де $c_{\text{пл}}$ – теплоємність пласта сухої гірської породи, кДж/К;
 $V, W_{\text{с.пл}}$ – те саме, що у формулі (2.3).

4 Потужність теплового потоку, кВт, який видобувається – на початковому етапі

$$P_0 = \left(\frac{W_{\text{с.пл}}}{\tau} \right)_{\tau=0} = \frac{c_{\text{пл}}}{\pi} \cdot 10^{-3}, \quad (2.8)$$

де τ – те саме, що у формулі (2.4), с;
 P_0 – те саме, що у формулі (2.7);

– через визначену кількість років

$$\left(\frac{W_{\text{с.пл}}}{\tau} \right)_{\tau} = P_0 \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_0} \right)^{-n}, \quad (2.9)$$

де τ, τ_0 – час використання гарячого пласта, років;
 n – визначена для аналізу кількість років, роки.

Завдання 2.2 (приклад виконання)

Розрахувати корисну теплоту, що припадає на 1 км^2 сухої скальної породи (граніт) до глибини $z_1 = 7 \text{ км}$, якщо температурний градієнт $(dT/dz) = 40 \text{ }^\circ\text{C/км}$, і мінімальна допустима температура для використання пласта, $t_{\min} = 140 \text{ }^\circ\text{C}$. Середня температура ґрунту поверхні землі $t_0 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Питома теплоємність породи – $c_{\text{ср}} = 840 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$; Питома густина породи – $\rho_{\text{ср}} = 2700 \text{ кг/м}^3$. Питома теплоємність води $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$; щільність води $\rho_{\text{в}} = 1103 \text{ кг/м}^3$. Чому дорівнює стала часу видобування тепла з використанням теплоносія – води з витратою $V = 1 \text{ м}^3/\text{с}$? Яка швидкість видобування тепла на початковому етапі й через 10 та 30 років? Розрахунок зробити відносно площі поверхні пласта $F = 1 \text{ км}^2$.

Розв'язання

1 На визначеній глибині температура становить (2.1)

$$T_1 = 5 + 7 \cdot 40 = 285 \text{ }^\circ\text{C}$$

2 Глибина, що відповідає мінімальній допустимій температурі, яка надає можливість використовувати енергію пласта (2.5)

$$z_2 = \frac{140 - 5}{40} = 3,5 \text{ км.}$$

3 Теплоємність пласта сухої гірської породи відносно визначеної площі поверхні пласта (2.6)

$$c_{\text{пл}} = 1 \cdot 2700 \cdot 0,84 \cdot (7 - 3,5) \cdot 10^9 = 7,94 \cdot 10^{12} \text{ кДж/К}$$

4 Енергетичний запас відносно визначеної площі поверхні пласта сухої гірської породи дорівнює (2.7)

$$W_{\text{с.пл}} = 7,94 \cdot 10^{12} \cdot \frac{285 - 140}{2} = 5,75 \cdot 10^{14} \text{ кДж}$$

5 Постійну часу пласта $\tau_{\text{п}}$ (можливий час його використання, років) у разі відведення теплової енергії шляхом прокачування через нього води з об'ємною витратою V , м³/с, можна визначити за рівнянням (2.4)

$$\tau_{\text{п}} = \frac{7,94 \cdot 10^{12}}{1 \cdot 1103 \cdot 4,2} = 1,714 \cdot 10^9 \text{ с} = 54 \text{ роки}$$

6 Потужність теплового потоку, що видобувається – на початковому етапі (2.8)

$$\dot{Q}_{\text{т}0} = \left(- \right)_{=0} = \frac{5,75 \cdot 10^{14}}{1,714 \cdot 10^9} \cdot 10^{-3} = 335,5 \text{ кВт}$$

– через 10 років (2.9)

$$\left(- \right)_{=10} = 335,5 \cdot \frac{\dot{Q}_{\text{т}0}}{\dot{Q}_{\text{т}0}} \left(\frac{10}{34} \right) = 279 \text{ кВт};$$

– через 30 років (2.9)

$$\left(- \right)_{=30} = 335,5 \cdot \frac{\dot{Q}_{\text{т}0}}{\dot{Q}_{\text{т}0}} \left(\frac{30}{34} \right) = 192,5 \text{ кВт}.$$

2.3 Розрахунок робочих та конструктивних параметрів теплового насосу типу «ґрунт-вода»

Альтернативою теплопостачання житлових і промислових об'єктів можуть бути теплові насосні установки (ТНУ). Характерним робочим параметром ТНУ є коефіцієнт перетворення COP , який визначають як співвідношення теплоти, що передається теплоспоживачу до витраченої роботи привода компресора. Зазначений коефіцієнт перетворення означає, що на одиницю витраченої електричної енергії теплоспоживачеві передається в декілька разів більше теплової енергії.

Геотермальні ТНУ використовують тепло верхніх шарів землі у вигляді поверхневих, ґрунтових та артезіанських вод, а також тепло гірських порід і термальних вод.

Методологія розрахунку

1 Потужність, яка буде зніматися контуром ґрунтового теплообмінника теплового насоса, кВт

$$\kappa = \dot{Q}_{\text{ТГ}} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{КПД}} \right), \quad (2.10)$$

де $\dot{Q}_{\text{ТГ}}$ – теплова потужність системи теплогенерації для опалення та ГВП будівлі, кВт;

– коефіцієнт трансформації енергії теплового насоса.

2 Електричну потужність теплового насоса, кВт, розраховують як

$$P_{\text{ел ТН}} = \frac{\dot{Q}_{\text{ТГ}}}{\text{КПД}}, \quad (2.11)$$

де $\dot{Q}_{\text{ТГ}}$, – те саме, що у формулі (2.10).

3 Максимальне електроспоживання тепловим насосом, кВт · год, за визначений період

$$W_{\text{ел}} = P_{\text{ел ТН}} \cdot \text{Т} \cdot 24, \quad (2.12)$$

де $P_{\text{ел ТН}}$ – електрична потужність теплового насоса, кВт (2.11);
 Т – визначений період роботи теплового насоса, днів.

4 Необхідну довжину, м, горизонтального теплообмінника теплового насоса визначають відносно необхідної потужності до питомого тепловідбирання одним метром труби (теплообмінника)

$$L = \frac{\kappa \cdot 10^3}{q}, \quad (2.13)$$

де q – питоме тепловідбирання (20 Вт/м – середнє значення для горизонтальних колекторів; сухий пісок – 10 Вт/м; суха глина – 20 Вт/м; волога глина – 25 Вт/м; глина з великим вмістом води – 35 Вт/м);

k – потужність контура ґрунтового теплообмінника теплового насоса, кВт (2.10).

5 Площу, м², яку буде займати колектор у товщині ґрунту, розраховують за формулою

$$\frac{L}{\text{пог}_k} = \frac{Q}{k} \cdot \text{пог}_k \quad (2.14)$$

де L – довжина труб ґрунтового горизонтального теплообмінника теплового насоса, м (2.13). Довжина однієї гілки колектора повинна становити до 150 м;

пог_k – величину кроку прокладання труб (для розрахунків приймають 0,7 м).

5. Необхідний об'єм, м³, бака-акумулятора

$$V_{\text{ак}} = \frac{Q_{\text{тг}}}{\rho \cdot \Delta t} \cdot 3600, \quad (2.15)$$

де $Q_{\text{тг}}$ – тепла потужність системи теплогенерації для опалення та ГВП будівлі, кВт;

Δt – різниця між температурою теплоносія на вході в систему опалення та температурою теплоносія на вході у випарник, °С;

c – питома теплоємність води, $c = 4,19$ кДж/(кг·К);

ρ – густина води, $\rho = 1000$ кг/м³.

Завдання 2.3 (приклад виконання)

Визначити робочі параметри теплового насосу типу ґрунт–вода для системи опалення та ГВП будівлі. Теплова потужність теплогенератора для опалення та ГВП будівлі – $N_{\text{тг}} = 5,3$ кВт; різниця між температурою теплоносія на вході в систему опалення та температурою теплоносія на вході у випарник –

$\Delta t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; коефіцієнт трансформації енергії теплового насоса – $COP = 4,45$; питома величина тепловідбирання від типу ґрунту – $q = 20 \text{ Вт/м}$; тривалість опалювального періоду – $n = 170$ діб; вид прокладання трубопроводу ґрунтового теплообмінника – горизонтальний. Довжина однієї гілки колектора $l = 10 \text{ м}$.

Розв'язання

1 Потужність, яка буде зніматися контуром ґрунтового теплообмінника теплового насоса (2.10)

$$k = 5,3 \cdot \left(1 - \frac{1}{4,45}\right) = 4,11 \text{ кВт.}$$

2 Електрична потужність теплового насосу (2.11)

$$P_{\text{ел ТН}} = \frac{5,3}{4,45} = 1,19 \text{ кВт.}$$

3 Максимальне електроспоживання тепловим насосом за визначений період становить (2.12)

$$W_{\text{електр}} = 1,19 \cdot 170 \cdot 24 = 4855,2 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

4 Необхідна довжина горизонтального теплообмінника теплового насоса (2.13)

$$L_{\text{гор}} = \frac{4,1 \cdot 10^3}{20} = 205,5 \text{ м.}$$

5 Площа, яку буде займати колектор у товщині ґрунту (2.14)

$$S_{\text{гор}} = 205,5 \cdot 0,7 = 143,85 \text{ м}^2$$

6 Необхідний об'єм бака-акумулятора (2.15)

$$V_{\text{ак}} = \frac{5,3}{4,19 \cdot 1000 \cdot 40} \cdot 3600 = 0,11 \text{ м}^3$$

3 Практикум із розділу «Вітрова енергетика»

3.1 Розрахунок енергетичних та конструктивних параметрів вітроенергетичної установки

Найвні системи вітроенергетичних установок (ВЕУ) за схемою влаштування вітроколеса та його положення в потоці вітру поділяють на такі класи:

– **перший клас ВЕУ** складається вітродвигунів, у яких вітрове колесо розміщене у вертикальній площині; при цьому площина обертання ортогональна до напрямку вітру, а отже, вісь вітроколеса паралельна потоку (горизонтальна). Такі вітродвигуни називають крильчастими;

– **другий клас ВЕУ** складається із системи вітродвигунів із вертикальною віссю обертання вітрового колеса (карусельних).

Методологія розрахунку

1 Потужність вітрового потоку через відповідну площу, ортогонально розташованої до напрямку вітру, Вт:

$$P_{\text{ВП}} = \frac{\rho \cdot v^3}{2}, \quad (3.1)$$

де $P_{\text{ВП}}$ – ортогонально розташована площа до напрямку вітрового потоку, м²;

$\rho_{\text{в}}$ – середня швидкість вітрового потоку, м/с;

$\rho_{\text{п}}$ – питома густина повітря, кг/м³

$$P_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{п}} \cdot 10^3}{2}, \quad (3.2)$$

де $P_{\text{п}}$ – величина тмосферного тиску, кПа;

R – питома газова постійна, $R = 287$ Дж/кг·К;

T – абсолютна температура, К.

2 Розрахункова потужність на валу ВЕУ, Вт

$$P_{\text{в}} = \frac{\pi \cdot \dot{V}^3 \cdot C_p}{2}, \quad (3.3)$$

де C_p , C_t , $C_{\text{т}}$ – те саме, що у формулі (3.1);
– коефіцієнт використання енергії вітру.

3 Потужність електрогенератора ВЕУ, Вт

$$P_{\text{г}} = C_{\text{г}} \cdot P_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{тр}}, \quad (3.4)$$

де $C_{\text{г}}$ – ККД електрогенератора;
 $\eta_{\text{тр}}$ – ККД механізму трансмісії ВЕУ.

4 Частота обертання ротора вітроколеса, с^{-1}

$$n = C_n \cdot \frac{V}{D \cdot C_{\text{т}}}, \quad (3.5)$$

де C_n – коефіцієнт швидкохідності вітроколеса;
– діаметр вітроколеса з горизонтальною віссю обертання, м.

5 Швидкість потоку вітру на визначеній висоті, м/с

$$V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{z}{z_1}\right)^{0,2}, \quad (3.6)$$

де V_1 – швидкість вітрового потоку на початковій висоті, м/с;
 z_1 – початкова висота, м;
 z_2 – висота, на якій визначається швидкість вітру, м;

Завдання 3.1 (приклад виконання)

Визначити діаметр вітроколеса й частоту його обертання для ВЕУ з горизонтальною віссю обертання за такими даними: потужність генератора ВЕУ $N_{\Gamma} = 8,5$ кВт; середня швидкість потоку повітря $W_c = 7$ м/с; коефіцієнт використання енергії вітру $\xi = 0,32$; коефіцієнт швидкохідності $Z = 6$; ККД генератора – $\eta_g = 0,98$; ККД передачі трансмісії – $\eta_{\text{тр}} = 0,85$. Густина повітря приймається $1,2$ кг/м³.

Розв'язання

- 1 Потужність на валу ВЕУ (визначається з формули (3.4))

$$P_{\text{вал}} = \frac{P_{\Gamma}}{\eta_{\text{тр}}} = \frac{8,5}{0,98 \cdot 0,85} = 10,204 \text{ кВт.}$$

- 2 Площа поверхні вітроколеса, через яку проходить потік (визначається з формули (3.3))

$$S_{\text{пл}} = \frac{P_{\text{вал}}}{\rho \cdot W_c^3 \cdot \xi} = \frac{2 \cdot 10204}{1,2 \cdot 7^3 \cdot 0,32} = 155 \text{ м}^2.$$

- 3 Діаметр вітроколеса

$$D_{\text{в}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{пл}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 155}{3,14}} = 14,05 \text{ м.}$$

- 4 Частота обертання ротора вітроколеса (3.5)

$$n_{\text{р}} = \frac{P_{\text{вал}}}{P_{\text{в}}} = 6 \cdot \frac{7}{3,14 \cdot 14,05} = 0,95 \text{ с}^{-1}.$$

4 Практикум з розділу «Біоенергетичні ресурси»

4.1 Розрахунок фізико-хімічних параметрів біогазу рослинного походження та з твердих побутових відходів

Під терміном «біомаса» розуміють органічні речовини, що містять вуглець.

Рослинна біомаса утворюється в результаті фотосинтезу. До рослинної біомаси також прийнято відносити тверді побутові відходи.

Рослинна біомаса потенційно є потужним джерелом енергії, четвертим за значенням паливом у світі.

За паливними характеристиками рослинна біомаса значно краща, ніж основні види викопного палива.

Завдяки більшому виходу летючих речовин спалення рослинної біомаси, порівняно з вугіллям, організувати простіше.

Методологія розрахунку

1 Суха маса відходів із деревини за годину, кг/год

$$\text{꺠}_{\text{ac}} = \text{꺠} \cdot \frac{|\text{꺠} - 1|}{100}, \quad (4.1)$$

де 꺠 – масова величина відходів біомаси, що подаються в газогенератор, кг/год;

꺠 – відсоток вологості біомаси, %.

2 Маса сухих газів, утворених у процесі газифікації за годину, кг/год

$$\text{꺠}_{\text{г}} = \text{꺠} \cdot \text{꺠}, \quad (4.2)$$

де 꺠_г – коефіцієнт виходу газу в процесі газифікації;

꺠_{ac} – те саме, що у формулі (4.1).

3 Густина сухих газів, утворених у процесі газифікації рослинної маси, кг/м³

$$\rho_{\text{г}} = \frac{44 \cdot \text{CO}_2 + 28 \cdot (\text{CO} + \text{H}_2) + 36 \cdot \text{H}_2\text{O} + 16 \cdot \text{H}_2}{2240}, \quad (4.3)$$

де CO_2 , CO , H_2O , H_2 , CO , H_2 – хімічні сполуки складових біогазу у величині відсотка⁴ %.

4 Об'єм сухих газів із рослинної маси на виході з газогенератора, м³/год

$$\text{CO}_{\text{г}} = \left| \frac{\text{CO}_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{г}}} \right| \frac{(273 + t)}{273}, \quad (4.4)$$

де $\text{CO}_{\text{с}}$, $\rho_{\text{п}}$ – те саме, що у формулі (4.2);

$\rho_{\text{п}}$ – густина повітря на газифікацію ($\rho_{\text{п}} = 1,16$ кг/м³);

t – температура генераторних газів на виході з газогенераторної установки, °С.

5 Витрата повітря на газифікацію з рослинної маси, м³/год

$$\text{CO}_{\text{пов}} = \frac{2}{79} \cdot \text{CO}_{\text{г}}, \quad (4.5)$$

де CO_2 – кількість азоту у складі біогазу, %;

$\text{CO}_{\text{г}}$ – об'єм сухих газів на виході з газогенератора, м³/год.

6 Теплотворна здатність сухих газів, кДж/м³

$$\text{CO}_{\text{п}} = 358 \cdot \text{CO}_1 + 640 \cdot \text{CO}_2 + 915 \cdot \text{CO}_3 + 1190 \cdot \text{CO}_4 + 1465 \cdot \text{CO}_5 + 126,5 \cdot \text{CO}_6 + 107,5 \cdot \text{CO}_7 + 234 \cdot \text{CO}_8 \quad (4.6)$$

де $\text{CO}_1, \text{CO}_2, \text{CO}_3, \text{CO}_4, \text{CO}_5, \text{CO}_6, \text{CO}_7, \text{CO}_8$ – хімічні сполуки складових газу у величині відсотка, %.

7 Калорійний еквівалент біогазового палива рослинного походження, кг ум. п

$$\text{꽃} = \frac{\text{꽃}}{29300} \cdot \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}, \quad (4.7)$$

де 꽃 – Теплотворна здатність сухих газів, кДж/м³ (4.6);
 $\rho_{\text{п}}$ – густина повітря на газифікацію ($\rho_{\text{п}} = 1,16 \text{ кг/м}^3$).

8 Нижча теплота згоряння, МДж/кг, окремого складника твердих побутових відходів (ТПВ)

$$\text{꽃}^{\text{п}} = \text{꽃}^{\text{г}} \cdot \frac{100 - \text{P} - \text{P}^{\text{п}}}{100}, \quad (4.8)$$

де $\text{꽃}^{\text{г}}$ – теплота згоряння горючого складу окремого складника ТПВ (див. табл. 4.1), МДж/кг;

$\text{P}^{\text{п}}$ – величина відсотка вологості окремого складника робочої маси ТПВ (див. табл. 4.1), %;

$\text{P}^{\text{г}}$ – величина відсотка зольності окремого складника робочої маси ТПВ (див. табл. 4.1), %.

Таблиця 4.1 – Фізико-хімічні параметри складників ТПВ

Параметри складників ТПВ	Папір	Деревина	Гума	Харчові відходи	Текстиль
Теплота згоряння горючого складу ТПВ, $Q^{\text{г}}$, МДж/кг	19	20	26,1	20,9	17,6
Зольність $A^{\text{п}}$, %	15	0,8	11,6	4,5	8
Вологість $W^{\text{п}}$, %	25	20	5	72	20

9 Сумарна теплота згоряння ТПВ, МДж/кг

$$\sum \text{꽃}_{\text{н}}^{\text{п}} = \frac{\text{꽃}_{\text{н}}^{\text{г}}}{\rho_{\text{п}}} \cdot \text{P}_{\text{н}1}^{\text{п}} + \frac{\text{꽃}_{\text{н}2}^{\text{г}}}{\rho_{\text{п}}} \cdot \text{P}_{\text{н}2}^{\text{п}} + \dots + \frac{\text{P}_{\text{н}}^{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}} \cdot \text{꽃}_{\text{н}}^{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}} \quad (4.9)$$

де $\text{꽃}_{\text{н}}^{\text{п}}$ – нижча теплота згоряння i -го компоненту, МДж/кг;
 n_i – частка i -го компоненту в загальній масі ТПВ.

10 Кількість теплоти від спалювання відповідної кількості ТПВ з міста за рік, ГДж/рік

$$\text{핀}_{\text{рік}} = \frac{\text{핀} \cdot \text{푹} \cdot \Sigma \text{핀}}{\text{헐}_{\text{уст}}} \cdot \quad (4.10)$$

де $\Sigma \text{핀}$ – сумарна теплота згоряння ТПВ, МДж/кг (4.9);
 푹 – кількість жителів відповідного міста, тис. чол.;
 핀 – масова величина ТПВ на одну особу за рік, кг/рік;
 $\text{헐}_{\text{уст}}$ – ККД утилізаційної установки.

Завдання 4.1 (приклад виконання)

У газогенератор подають $G = 180$ кг/год відходів деревини з вологістю $W = 30$ %. Температура генераторних газів на виході з установки – $t_r = 70$ °С. Визначити об'єм сухих генераторних газів, які утворюються в установці за одиницю часу, та витрату повітря на газифікацію, якщо коефіцієнт виходу газу $K_r = 1,7$.

Склад газів: $CO = 31$ %; $CH_4 = 2,0$ %; $H_2 = 12$ %;
 $C_nH_m = 0,35$ %; $O_2 = 0,2$ %; $N_2 = 48,9$ %; $CO_2 = 5,5$ %.

Розв'язання

1 Суха маса відходів із деревини за годину (4.1)

$$\text{핀}_{\text{ас}} = 180 \cdot \left[\frac{100-30}{100} \right] = 126 \text{ кг/год.}$$

2 Маса сухих газів, які утворюються в процесі газифікації за годину (4.2)

$$\text{핀}_{\text{ст}} = 126 \cdot 1,7 = 214 \text{ кг/год.}$$

3 Густина сухих газів, які утворюються в процесі газифікації (4.3)

$$\text{헐}_{\text{г}} = \frac{[44 \cdot 5,5 + 28 \cdot (31 + 0,35 + 48,9) + 36 \cdot 0,2 + 2 \cdot 12 + 16 \cdot 2]}{2240} = 1,14 \text{ кг/м}^3.$$

4 Об'єм сухих газів на виході з газогенератора (4.4)

$$V_{\text{ст}} = \left| 126 \frac{1,7}{1,16} \right| \cdot \frac{(273+70)}{273} = 232 \text{ м}^3/\text{год}$$

5 Витрата повітря на газифікацію (4.5)

$$V_{\text{пов}} = \frac{2}{79} \cdot V_{\text{ст}} = \frac{48,9}{79} \cdot 232 = 143,6 \text{ м}^3/\text{год}$$

Завдання 4.2 (приклад виконання)

Газогенератор виробляє біогаз рослинного походження орієнтовно такого складу: метан – $CH_4 = 3\%$; чадний газ – $CO = 31\%$; водень – $H_2 = 15\%$. Густина повітря, що подається на газифікацію – $\rho_{\text{п}} = 1,16 \text{ кг/м}^3$.

Визначити теплотворну здатність сухого біогазового палива $Q_{\text{п}}^{\text{д}}$ (кДж/м³) та калорійний еквівалент E (кг ум. п).

Розв'язання

1 Теплотворна здатність сухих газів (4.6)

$$Q_{\text{п}}^{\text{д}} = 358 \cdot 3 + 126,5 \cdot 31 + 107,5 \cdot 15 = 6608 \text{ кДж/м}^3$$

2 Калорійний еквівалент біогазового палива рослинного походження (4.7)

$$E = \frac{Q_{\text{п}}^{\text{д}}}{\rho_{\text{п}}} = \frac{6608}{1,16} = 5696,5 \text{ кДж/кг ум. п}$$

Завдання 4.3 (приклад виконання)

Визначити сумарну теплоту згоряння твердих побутових відходів (ТПВ) за відомими складовими: папір – $n_1 = 18\%$; деревина – $n_2 = 6,1\%$; гума – $n_3 = 3,5\%$; харчові відходи – $n_4 = 60\%$; текстиль – $n_5 = 5,1\%$; для міста з населенням $N = 50$ тис. чол.; кількість ТПВ на одну особу за рік $b = 290 \text{ кг/рік}$; ККД утилізаційної установки $\eta_{\text{уст}} = 70\%$.

Розв'язання

1 Нижча теплота згоряння кожного складника ТПВ (4.8).

$$\text{Папір} - \text{핀}_{R1} = 19 \cdot \left| \frac{100-25-1,5}{100} \right| = 11,4 \text{ МДж/кг.}$$

$$\text{Деревина} - \text{핀}_{R2} = 20 \cdot \left| \frac{100-20-0,8}{100} \right| = 15,84 \text{ МДж/кг.}$$

$$\text{Гума} - \text{핀}_{R3} = 26,1 \cdot \left| \frac{100-5-11,6}{100} \right| = 21,77 \text{ МДж/кг.}$$

$$\text{Харчові відходи} - \text{핀}_{R4} = 20,9 \cdot \left| \frac{100-72-4,5}{100} \right| = 4,91 \text{ МДж/кг.}$$

$$\text{Текстиль} - \text{핀}_{R5} = 17,6 \cdot \left| \frac{100-20-8}{100} \right| = 12,67 \text{ МДж/кг.}$$

2 Сумарна теплота згоряння ТПВ (4.9)

$$\Sigma \text{핀}_{R}^P = 11,4 \cdot 0,18 + 15,84 \cdot 0,061 + 21,77 \cdot 0,035 + 4,91 \cdot 0,6 + 12,67 \cdot 0,051 = 7,37 \text{ МДж/кг.}$$

3 Кількість теплоти від спалювання ТПВ в рік (4.10)

$$\text{핀}_{\text{н рік}}^P = 290 \cdot 50 \cdot 7,37 \cdot 0,7 = 74805,5 \text{ ГДж/рік.}$$

4.2 Розрахунок конструктивних та робочих параметрів газогенераторної установки на біомасі з рослин

Біомасу рослинного походження можна використовувати безпосередньо як паливо, а можна переробити на інші види палива: газоподібне, рідке та тверде. Біологічну масу переробляють для одержання тепла або палива високої якості.

Методологія розрахунку

1 Площа поперечного перерізу газогенератора, м²

$$\text{핀}_{\text{ген}} = \text{핀}_{\text{ас}} / \text{핀}, \quad (4.11)$$

де R – інтенсивність газифікації, кг/м² · год.

2 Об'єм газогенератора, м³

$$\rho_{\text{ген}} = \rho_{\text{сг}} \cdot \frac{\text{פּוּמ}}{\text{פּוּמ}} , \quad (4.12)$$

де $\rho_{\text{ген}}$ – густина насипного матеріалу, який подається в газогенератор, кг/м³;

$\rho_{\text{сг}}$, $\frac{\text{פּוּמ}}{\text{פּוּמ}}$ – те саме, що у формулі (4.2).

3 Висота газогенератора, м

$$h_{\text{ген}} = \frac{\text{פּוּמ}_{\text{ген}}}{\text{פּוּמ}_{\text{ген}}} , \quad (4.13)$$

де $\text{פּוּמ}_{\text{ген}}$ – об'єм газогенератора, м³ (4.12);

$\text{פּוּמ}_{\text{ген}}$ – площа поперечного перерізу газогенератора, м² (4.11).

Завдання 4.4 (приклад виконання)

Розрахувати геометричні розміри газогенератора для утилізації $G_{\text{ас}} = 200$ кг/год відходів деревини, які є абсолютно сухими. Інтенсивність газифікації – $R = 370$ кг/м² · год. Коефіцієнт виходу газу $K_{\text{г}} = 1,7$; густина насипного матеріалу, який подається в газогенератор – $\rho_{\text{н}} = 200$ кг/м³.

Розв'язання

1 Площа поперечного перерізу газогенератора (4.11)

$$\text{פּוּמ}_{\text{ген}} = 200/370 = 0,54 \text{ м}^2$$

2 Об'єм газогенератора (4.12)

$$\text{פּוּמ}_{\text{ген}} = 340 \cdot 1,7/200 = 2,89 \text{ м}^3$$

Висота газогенератора (4.13)

$$h_{\text{ген}} = 2,89/0,54 = 5,35 \text{ м.}$$

4.3 Розрахунок робочих параметрів газогенераторної установки на біомасі тваринного походження

Біомаса тваринного походження містить відходи життєдіяльності й перероблення домашніх тварин та птиці.

За допомогою технологій розкладання органічного матеріалу біомаси тваринного походження за анаеробних (без доступу повітря) умов утворюється біогаз.

Біогаз – це суміш, що складається з метану CH_4 та вуглекислого газу CO_2 з домішками сірководню H_2S .

Біогазова установка зазвичай являє собою герметично закриту ємність, у якій за певної температури відбувається зброджування (ферментація) органічної маси з утворенням біогазу.

Методологія розрахунку

1 Продуктивність біогазової установки на біомасі тваринного походження, $m^3/доба$

$$V_{\text{б}} = (\text{Векс1} \cdot V_1 + \text{Векс2} \cdot V_2 + \dots + \text{Вексн} \cdot V_n) \cdot \text{Х} \cdot \text{П} \quad (4.14)$$

де $V_{\text{екс}i}$ – кількість екскрементів за добу від певного виду худоби, $kg/доба$ (див. додаток В, табл. В1);

τ – тривалість бродіння, діб;

n_i – кількість певного виду худоби, шт;

Х – вихід біогазу на 1 kg органічної речовини від певного виду худоби, m^3/kg (див. додаток В, табл. В2);

a – кількість органічних речовин (3,63–4 %);

K – коефіцієнт бродіння (0,3–0,4).

2 Потужність біогенераторної установки, кВт

$$P = V_{\text{б}} \cdot \text{П} \cdot \text{Х} \cdot \text{П} \quad (4.15)$$

де $V_{\text{б}}$ – продуктивність біогазової установки, m^3/c (4.14);

Х – ККД біогазової установки (метантенка);

$\text{P}_{\text{CH}_4}^{\text{P}}$ – частка метану в біогазі;
 $\text{P}_{\text{H}_2}^{\text{P}}$ – нижча теплота згоряння біогазового палива тваринного походження, кДж/м³, визначається за співвідношенням

$$\text{P}_{\text{H}_2}^{\text{P}} = 358 \cdot \text{P}_{\text{CH}_4} + 107,5 \cdot \text{P}_{\text{C}_2\text{H}_6} + 234 \cdot \text{P}_{\text{C}_2\text{H}_2} \quad (4.16)$$

де P_{CH_4} , $\text{P}_{\text{C}_2\text{H}_6}$, $\text{P}_{\text{C}_2\text{H}_2}$ – хімічні сполуки складових біогазу у відсотках.

3 Кількість матеріалу, кг/добу, що подається в метантенк

$$G_0 = \text{P}_{\text{ек}} \cdot \text{P}_{\text{с}} \quad (4.17)$$

де $\text{P}_{\text{ек}}$ – загальної кількості сировини (екскрементів) тваринного походження, кг/добу;

$\text{P}_{\text{с}}$ – частка сухих органічних речовин (приймається 4 % від загальної кількості сировини тваринного походження).

4 Об'єм рідкої маси екскрементів, м³/добу, що подається в метантенк

$$\text{P}_{\text{р}} = G_0 / \text{P}_{\text{ек}} \quad (4.18)$$

де $\text{P}_{\text{ек}}$ – густина рідкої маси екскрементів, кг/м³;

G_0 – те саме, що у формулі (4.17).

5 Об'єм метантенка, м³

$$\text{P}_{\text{т}} = \text{P}_{\text{р}} \cdot \text{P}_{\text{ф}} \cdot K_3 \quad (4.19)$$

де $\text{P}_{\text{р}}$ – об'єм рідкої маси екскрементів, м³/добу (4.15);

$\text{P}_{\text{ф}}$ – період ферментації рідкої маси екскрементів, діб;

K_3 – коефіцієнт, який ураховує поправку на об'єм біогазу 0,85–1,0.

6 Площа метантенка, м², (на основі правила золотого перерізу)

$$F_{\text{мет}} = 0,454 \cdot F_{\text{пл}} . \quad (4.20)$$

7 Висота метантенка, м

$$h = F_{\text{пл}} / F_{\text{мет}} . \quad (4.21)$$

Завдання 4.5 (приклад виконання)

У господарстві є $n_1 = 5$ корів і $n_2 = 10$ свиней. Тривалість бродіння (ферментації) $\tau_{\text{бр}} = 10$ діб; температура ферментації $t^\circ = 50^\circ\text{C}$; частка метану в біогазі – $K_{\text{CH}_4} = 75\%$. Коефіцієнт бродіння $K = 0,35$; кількість органічних речовин – $a = 3,8\%$; ККД біогенератора $\eta = 60\%$. Кількість екскрементів, що завантажуються в метантенк $B_{\text{ек}} = 100$ кг/добу. Густина рідкої маси екскрементів – $\rho_{\text{ек}} = 50$ кг/м³; коефіцієнт, який ураховує поправку на об'єм біогазу в метантенку – $K_3 = 1,0$. Склад біогазу: $\text{CH}_4 = 75\%$; $\text{H}_2 = 2\%$; $\text{H}_2\text{S} = 3\%$.

Розрахувати продуктивність біогазової установки на сировині тваринного походження V_6 (м³/доба); нижчу теплоту згоряння біогазового палива $Q_{\text{пл}}^{\text{п}}$ (кДж/м³); потужність біогенератора N (кВт); та розміри метантенка (об'єм, діаметр і висоту) для анаеробного процесу перероблення.

Довідкові дані взяти з таблиць В1 та В2 додатка В.

Розв'язання

1 Продуктивність біогазової установки (4.14)

$$F_{\text{пл}} = (55 \cdot 5 + 15 \cdot 10) \cdot 0,28513 \cdot 10 \cdot 0,35 \cdot 3,8 = 1611,7 \text{ м}^3 / \text{доба}$$

2 Калорійність газів або нижча теплота згоряння біогазового палива (4.16)

$$Q_{\text{пл}}^{\text{п}} = 358 \cdot 75 + 107,5 \cdot 2 + 234 \cdot 3 = 27767 \text{ кДж/м}^3.$$

3 Потужність біогенераторної установки (4.15)

$$P_{\text{біо}} = \left(\frac{1611,7}{24 \cdot 3600} \right) \cdot 27767 \cdot 0,6 \cdot 0,75 = 233,1 \text{ кВт.}$$

4 Кількість матеріалу, що подається в метантенк (4.17)

$$G_0 = 100 \cdot 0,04 = 4 \text{ кг/добу.}$$

5 Об'єм рідкої маси екскрементів, що подається в метантенк (4.18)

$$V_{\text{рідк}} = 4/50 = 0,08 \text{ м}^3 \text{ /добу}$$

6 Об'єм метантенка (4.19)

$$V_{\text{м}} = 0,08 \cdot 10 \cdot 1 = 0,8 \text{ м}^3$$

7 Площа метантенка (4.20)

$$S_{\text{м}} = 0,454 \cdot 0,8 = 0,3632 \text{ м}^2$$

8 Діаметр циліндричної конструкції метантенка

$$D = \sqrt{4 \cdot S_{\text{м}} / 3,14} = \sqrt{4 \cdot 0,3632 / 3,14} = 0,68 \text{ м.}$$

9 Висота метантенка (4.21)

$$h = 0,8 / 0,3632 = 2,2 \text{ м.}$$

5 Практикум із розділу «Енергоресурси світового океану»

5.1 Визначення енергетичного потенціалу хвиль та потоків світового океану

Світовий океан є величезним акумулятором сонячної енергії, енергії Місяця, а також енергії обертання Землі.

У потенційному запасі енергії світового океану міститься енергія таких видів: енергія припливів та відпливів; енергія хвиль та течій.

Розроблені принципові технічні рішення океанських теплових електростанцій (ОТЕС) в освоєнні теплової енергії, що використовують перепади температур води у світовому океані для безпосереднього перетворення теплової енергії на електричну.

Методологія розрахунку

1 Фазова швидкість хвилі, c^{-1} , за її довжиною (за умови, що глибина моря більша за половину довжини хвилі $\lambda / 2$)

$$c = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}} \quad (5.1)$$

де λ – довжина хвилі, м;

g – величина прискорення вільного падіння $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

2 Період між хвилями, с

$$T = 2\pi \cdot \frac{\lambda}{c} \quad (5.2)$$

3 Швидкість розповсюдження хвилі, м/с

$$c_{\text{г}} = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}} \quad (5.3)$$

де $c_{\text{г}}$, c – те саме, що у формулі (5.1).

4 Швидкість припливної хвилі, м/с

$$v_{\text{пр}} = \sqrt{v_{\text{шт}} \cdot v_{\text{хв}}}/2, \quad (5.4)$$

де $v_{\text{шт}}$, $v_{\text{хв}}$ – те саме, що у формулі (5.1).

5 Максимальна механічна енергія від перетворення теплового потоку океанської води на ОТЕС, ГДж

$$\frac{P_{\text{шт}}}{v_{\text{шт}} \cdot 10} = v_{\text{шт}} \cdot v_{\text{хв}} = v_{\text{шт}} \cdot v_{\text{пр}} \cdot v_{\text{пр}} \cdot \left(\frac{v_{\text{шт}}}{v_{\text{хв}}}\right)^6, \quad (5.5)$$

де V – об'ємна витрата океанської води через теплообмінник, м³/с;

ρ – теплоємність морської води, $c = 3,9$ кДж/кг·°С;

ρ – густина морської води, $\rho = 1025$ кг/м³;

η_k – ККД ідеальної теплової машини Карно, яка працює з перепадом температур теплоносія

$$\eta_k = \left(\frac{T_2}{T_1} - \frac{T_1}{T_2}\right) / \frac{T_2}{T_1}, \quad (5.6)$$

де T_2 – температура океанської води на виході із системи теплообміну, °С;

T_1 – температура холодної глибинної океанської води на вході до системи теплообміну, °С.

Завдання 5.1 (приклад виконання)

Визначити період T (с), швидкість розповсюдження $W_{\text{рх}}$ (м/с) і припливну швидкість берегової хвилі $W_{\text{пр}}$ (м/с) довжиною $\lambda = 100$ м за умови, що глибина моря більша за половину довжини хвилі $\lambda/2$.

Розв'язання

1 Фазова швидкість хвилі за її довжиною (5.1)

$$v_{\text{шт}} = \sqrt{2 \cdot 3,14 \cdot 9,81 / 100} = 0,78 \text{ с}^{-1}.$$

2 Період між хвилями (5.2)

$$T = 2 \cdot 3,14 / 0,8 = 8,1 \text{ с.}$$

3 Швидкість розповсюдження хвилі (5.3)

$$v_{\text{рх}} = \sqrt{9,81 \cdot 100 / (2 \cdot 3,14)} = 12,5 \text{ м/с.}$$

4 Швидкість припливної хвилі (5.4)

$$v_{\text{пр}} = \sqrt{9,81 \cdot 100 / 2} = 22,15 \text{ м/с.}$$

Завдання 5.2 (приклад виконання)

Визначити максимальну механічну енергію від перетворення теплового потоку океанської води з різницею температур води на виході із системи теплообміну $t_1 = 24,5 \text{ }^\circ\text{C}$ і глибинної води $t_x = 4,5 \text{ }^\circ\text{C}$ з об'ємною витратою води $V = 90 \text{ м}^3/\text{с}$.

Розв'язання

Максимальна механічна енергія від перетворення теплового потоку океанської води на ОТЕС (5.5) і (5.6)

$$E_{\text{мех}} = (1025 \cdot 90 \cdot 3,9) \cdot (24,5 - 4,5)^2 / 24,5 \cdot 10^{-6} = 5,874 \text{ ГДж}$$

6 Практикум із розділу «Акумулявання енергії»

6.1 Визначення параметрів акумуляторної батареї для сонячної електростанції

Окремий вид сонячних електроустановок (СЕУ) ґрунтується на прямому перетворенні сонячного випромінювання на електроенергію за допомогою сонячних фотоелектричних установок.

Методологія розрахунку

1 Для заряджання акумуляторної батареї до визначеної напруги, В з урахуванням коефіцієнта трансформації сонячні елементи повинні давати напругу, В:

$$\frac{U_c}{U_b} = k_{tr} \cdot \quad (6.1)$$

де k_{tr} – коефіцієнт трансформації енергії в акумуляторі;
 U_b – установлена напруга акумуляторної батареї, В.

2 Загальна кількість послідовно з'єднаних сонячних елементів становить, шт

$$n = U_c / U_k, \quad (6.2)$$

де U_k – напруга кожного сонячного елемента, В;
 U_c – сумарна напруга сонячних батарей (6.1), В.

3 Кількість електроенергії, яка витрачається (споживається) за визначений період часу, А·год

$$W_p = I_p \cdot \quad (6.3)$$

де I_p – величина споживаного струму, А;
 W_p – визначений період часу електроспоживання, годин.

4 Кількість електроенергії, яку необхідно отримувати від сонячних елементів за визначений період часу, $A \cdot \text{год}$

$$= \cdot \left(\frac{\text{кВт}}{\text{кВт}} \right), \quad (6.4)$$

де – кількість електроенергії, яка споживається за визначений період часу, $A \cdot \text{год}$;

$\frac{\text{кВт}}{\text{кВт}}, \frac{\text{кВт}}{\text{кВт}}$ – те саме, що у формулі (6.1), В.

5 Необхідний струм, А впродовж трьох годин максимального освітлення сонцем

$$\frac{\text{кВт}}{\text{кВт}} = \frac{\text{кВт}}{\text{кВт}} \quad (6.5)$$

6. Загальна площа розташування сонячних елементів послідовного з'єднання, м^2 , із якої можна одержати визначену величину струму

$$\frac{\text{кВт}}{\text{заг}} = \frac{\text{кВт}}{\Delta} \cdot 10^{-4}, \quad (6.6)$$

де Δ – густина струму сонячного елемента, $\text{А} / \text{см}^2$.

7. Величина необхідної ємності акумуляторної батареї, $A \cdot \text{год}$, зі встановленою напругою для визначеного періоду часу

$$\text{акб} = \frac{\text{кВт}}{\text{заг}} \sum \frac{\text{кВт}}{\text{акб}}, \quad (6.7)$$

де P_i – встановлена потужність кожного окремого типу електрообладнання, Вт;

n – кількість однотипного електрообладнання, шт;

$U_{\text{акб}}$ – установлена напруга акумуляторної батареї, В;

τ – час резервування (період часу відсутності електропостачання), годин;

k – коефіцієнт використання ємності акумуляторів (кількості електричної енергії, допустимої споживанню);
 $k_{\text{зап}}$ – величина запасу від повного розрядження акумуляторної батареї.

Завдання 6.1 (приклад виконання)

Домашня освітлювальна система живиться від акумуляторної батареї напругою $U_0 = 8$ В, та ємністю $C_A = 30$ А·год. Світло вмикається кожен вечір на час $\tau_p = 4$ год, споживаний струм складає $I = 3$ А. Коефіцієнт трансформації енергії $k_{\text{тр}} = 1,25$. Напруга кожного кремнієвого сонячного елемента на піковому навантаженні протягом $\tau_c = 3$ год становить $U_k = 0,5$ В. Густина струму сонячного елемента $\Delta I = 0,02$ А/см².

Визначити робочі параметри акумуляторної фотоелектричної енергетичної системи на кремнієвих сонячних елементах, з'єднаних за послідовною схемою.

Розв'язання

1 Для заряджання акумуляторної батареї до визначеної напруги з урахуванням коефіцієнта трансформації, сонячні елементи повинні давати напругу (6.1)

$$\Phi_{\text{лс}} = 1,25 \cdot 8 = 10 \text{ В.}$$

2 Загальна кількість послідовно з'єднаних сонячних елементів становить (6.2)

$$\text{Пік} = 10/0,5 = 20 \text{ шт.}$$

3 Кількість електроенергії, спожитої за визначений період часу (6.3)

$$= 3 \cdot 4 = 12 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

4 Кількість електроенергії, яку необхідно одержувати від сонячних елементів за визначений період часу (6.4)

$$= 12 \cdot (10/8) = 15 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

5 Необхідний струм упродовж трьох годин максимального освітлення сонцем (6.5)

$$\text{фл}_3 = 15/3 = 5 \text{ А.}$$

6 Загальна площа розміщення сонячних елементів послідовного з'єднання з якої можна одержати визначену величину струму (6.6)

$$\text{фл}_{\text{заг}} = \frac{5}{0,02} \cdot 10^{-4} = 0,025 \text{ м}^2.$$

Завдання 6.2 (приклад виконання)

У будинку періодично буває відключення електрики не більше, ніж на $\tau = 5$ годин. У цей час у будинку необхідно, щоб працювали: холодильник середньою потужністю $P_1 = 90$ Вт; світлодіодні лампочки в кількості $n = 10$ штук потужністю $P_2 = 5$ Вт кожна; телевізор потужністю $P_3 = 100$ Вт. Коефіцієнт використання ємності акумуляторів – $k = 0,8$. Величина запасу від повного розрядження акумуляторної батареї – $k_{\text{зап}} = 20$ %.

Визначити величину необхідної ємності $C_{\text{акб}}$ стандартної акумуляторної батареї $U_{\text{акб}} = 12$ В з урахуванням величини запасу від повного її розрядження.

Розв'язання

1 Величина необхідної ємності батареї для зазначених умов дорівнює (6.7)

$$\text{акб} = \text{фл}_{\text{заг}} \frac{\sum P_i \cdot \tau}{C_{\text{акб}} \cdot U_{\text{акб}}} = 1,2 \cdot \frac{(90+10 \cdot 5+100) \cdot 5}{12 \cdot 0,8} = 150 \text{ фл} \cdot \text{год.}$$

6.2 Технологія акумулювання теплової енергії від сонячного випромінення

Акумулювання тепла в різних енергосистемах проводять для забезпечення потреб опалення та гарячого водопостачання.

Застосування різних засобів для накопичення енергії з використанням сонячних енергетичних установок дозволяє подолати проблему, пов'язану з нерівномірною інтенсивністю сонячної енергії впродовж доби.

Оскільки в подібних системах періоди споживання та одержання енергії не співпадають, то очевидно, що накопичувати її необхідно в один період доби, а використовувати в інший.

Методологія розрахунку

1 Рівняння визначення теплового потоку від сонячного випромінення, Вт, на одиницю площі з урахуванням тепловтрат у системі нагрівання води

$$\frac{\dot{Q}}{F} = \eta_{\text{тп}} \cdot \left[\eta_{\text{пог}} \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot \frac{P_{\text{с}}}{T} \right] \cdot F_{\text{п}} \quad (6.8)$$

де $\eta_{\text{тп}}$ – коефіцієнт теплових втрат у системі нагрівання води;
 $\frac{\dot{Q}}{F}$ – потік сонячної енергії на приймальну площу, Вт/м²;
 $F_{\text{п}}$ – площа поверхні, яка приймає на себе потік сонячної енергії, м²;

$\eta_{\text{пог}}$ – коефіцієнт поглинання потоку сонячної енергії приймальною площею;

$\eta_{\text{пр}}$ – коефіцієнт пропускання сонячної енергії скляною поверхнею;

$\frac{P_{\text{с}}}{T}$ – опір тепловтратам скляної поверхні в системі нагрівання води, м²·К/Вт;

$t_{\text{ср}}^0$ – температура навколишнього повітря, °С;

$t_{\text{р}}$ – температура рідини (води), що нагрівається, °С:

$$\frac{P_{\text{с}}}{T_{\text{ср}}} = \frac{(1 + (1 + \Delta))}{2} \quad (6.9)$$

де t_1 – температура на вході до нагрівача, °C;
 t_2 – температура на виході з нагрівача, °C;
 Δt – необхідна різниця температур води ($\Delta t = t_2 - t_1$), °C.

2 Тепловий потік на нагрівання маси води, Дж

$$Q = (\rho \cdot c \cdot V) \cdot (t_2 - t_1) \quad (6.10)$$

де ρ – густина води, кг/м³;
 c – теплоємність води (4190 Дж/(кг·K));
 t_1, t_2 – те саме, що у формулі (6.8);
 V – об'ємна витрата води в системі нагрівання, м³/с.

3 Так як за умови, що $Q_{\text{вх}} = Q_{\text{вих}}$ можна одержати рівняння визначення V , м³/с

$$V = \frac{Q_{\text{вх}}}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)} = \frac{Q_{\text{вх}}}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)} \quad (6.11)$$

де $Q_{\text{вх}}, Q_{\text{вих}}, \rho, c, t_1, t_2$ – те саме, що у формулі (6.8);
 ρ, c, t_1, t_2 – те саме, що у формулі (6.10).

4 Швидкість руху повітря, м/с, в умовах ламінарного режиму вздовж вертикально встановленої нагрітої приймальної поверхні (стінки) від сонячного випромінювання

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (q_{\text{вх}} - q_{\text{вих}})}{\rho_{\text{ср}} \cdot c_p}} \quad (6.12)$$

де h – висота вертикально встановленої нагрітої приймальної поверхні (стінки), м;
 g – величина прискрення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;
 $\rho_{\text{вх}}, \rho_{\text{вих}}, \rho_{\text{ср}}$ – густина повітря відповідно на вході, виході та середня (див. додаток Г, табл. Г1), кг/м³;

$\Sigma \zeta$ – сума місцевих опорів рухові повітря (приймається з діапазону 0,8–0,9).

5 Масова витрата повітря, кг/с, з 1 метра ширини нагрітої поверхні

$$= \rho_{cp} \cdot \delta_{cp} \cdot 4 \delta_{cp}, \quad (6.13)$$

де ρ_{cp} , δ_{cp} – те саме, що у формулі (6.12);

δ_{cp} – товщина прошарку між прозорим екраном та прийнятною поверхнею сонячного випромінення, м, яку для ламінарного руху повітря визначають за співвідношенням

$$\delta_{cp} = \frac{2 \cdot h_{ст}}{Nu} \quad (6.14)$$

де $h_{ст}$ – висота вертикально встановленої нагрітої приймальної поверхні (стінки), м;

Nu – критерій Нусельта

$$Nu = 0,378 \cdot \left(\Delta t_{ст} \cdot \delta_{cp} \cdot \frac{3}{\nu_{пов} + 273} \right) / \delta_{cp}^{0,25}, \quad (6.15)$$

де Δt – різниця температур стінки $t_{ст}$, °С, і повітря $t_{пов}$, °С;

$\nu_{пов}$ – величина прискорення вільного падіння, $\nu_{пов} = 9,81$ м/с²;

ν – кінематична в'язкість (див. додаток Г, табл. Г1), м²/с.

Завдання 6.3 (приклад виконання)

Площа плоского пластинкового нагрівача $F = 0,8$ м²; опір тепловим втратам $R_T = 0,13$ м²·К/Вт; коефіцієнт теплових втрат $\eta_{тп} = 0,85$. Коефіцієнт пропускання скляної поверхні $\tau_{тп} = 0,9$, коефіцієнт поглинання пластини $\alpha_{пог} = 0,9$. Температура води на вході приймача $t_1 = 40$ °С; температура навколишнього повітря $t_H = 20$ °С. Потік сонячної енергії на приймальній площі $E = 750$ Вт/м².

Визначити швидкість прокачування V , л/год, необхідну для підвищення температури води в приймачі на $\Delta t = 4$ °С.

Розв'язання

1 Ураховуючи залежності у формулах (6.8), (6.9) та (6.10), об'ємна витрата води в системі нагрівання буде становити (6.11)

$$\dot{V}_w = 0,85 \cdot |0,9 \cdot 0,9 \cdot 750 \cdot \frac{42-20}{0,13}| \cdot \frac{0,8}{(1000 \cdot 4190 \cdot (44-40))} = 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$$

Або – $V = 64$ л/год.

Завдання 6.4 (приклад виконання)

Для пасивної системи опалення будинку визначити відстань між екраном та поверхнею (стілкою), котра сприймає тепло, та питому масову витрату повітря в прошарку. Висота поверхні $H = 2$ м, середні значення температури стінки й повітря відповідно дорівнюють $t_{ст} = 40$ °С і $t_{пов} = 20$ °С. Рух повітря – ламінарний. Для прикладу розрахунку приймається $\Sigma \zeta = 0,8$.

Із таблиці Г1 див. додаток Г:

для $t_{ст} = 40$ °С $\rho_{вих} = 1,128$ кг/м³;

для $t_{пов} = 20$ °С $\rho_{вх} = 1,205$ кг/м³ $v = 15,06 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Розв'язання

1 Критерій Нусельта (6.15)

$$\text{Nu} = 0,378 \cdot \left[(40 - 20) \cdot 9,81 \cdot 2^3 \cdot \frac{\left(\frac{1}{20+273} \right)}{(15,06 \cdot 10^{-6})^2} \right]^{0,25} = 143,5$$

2 Товщина прошарку між прозорим екраном та приймальною поверхнею сонячного випромінення (6.14)

$$\delta_{ст} = \frac{2 \cdot 2}{143,5} = 0,03 \text{ м.}$$

3 Швидкість руху повітря в умовах ламінарного режиму вздовж вертикально встановленої нагрітої приймальної поверхні (стінки) від сонячного випромінення (6.12)

$$v_{\text{п}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot (1,205 - 1,128)}{0,8 \cdot \frac{(1,205 + 1,128)}{2}}} = 1,79 \text{ м/с.}$$

4 Масова витрата повітря з 1 метра ширини нагрітої поверхні (6.13)


$$= 1,79 \cdot \frac{(1,205 + 1,128)}{2} \cdot 4 \cdot 0,03 = 0,25 \text{ кг/с.}$$

Список літератури

1. Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювальні джерела електроенергії : навч. посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 204 с.
2. Ковальов О. В., Ратушний О. В. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії України : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2016. 201 с.
3. Кудря С. О., Будько В. І. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : курс лекцій. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 387 с.
4. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі : навч. посіб. Львів : «Магнолія 2006», 2008. 188 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Середньомісячне значення сонячної радіації
для обласних міст

 Місто	Величина сонячної радіації, G_x , кВт·год/м ²
Вінниця	3,11
Дніпро	3,36
Донецьк	3,34
Житомир	3,04
Запоріжжя	3,44
Івано- Франківськ	2,94
Київ	3,10
Кропивницький	3,30
Луганськ	3,34
Луцьк	2,99
Львів	2,92
Миколаїв	3,55
Одеса	3,55
Полтава	3,25
Рівно	3,01
Сімферополь	3,58
Суми	3,16
Тернопіль	2,99
Ужгород	3,16
Харків	3,26
Херсон	3,55
Хмельницький	3,06
Черкаси	3,24
Чернівці	2,94
Чернігів	3,03

ДОДАТОК Б

(лист 1)

Таблиця Б1 – Щоденне надходження сумарної E , розсіяної E_p сонячної енергії (МДж/м²) та температури повітря (°C) у відповідному місяці року для місцевості північної широти (φ^0)

Показник	Місяці року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Північна широта 47°												
$E_{пр}$, МДж/м ²	4,05	6,26	10,8	15,84	20,25	23,07	23,62	20,11	14,73	9,18	4,03	2,7
E_p , МДж/м ²	2,56	3,87	5,8	8,48	9,18	10	9,04	7,83	5,98	4,32	2,36	1,8
t , °C	-4,5	-2,6	2,5	9,3	15,6	19,2	21,4	20,5	15,7	10	3,9	-1
Північна широта 48°												
$E_{пр}$, МДж/м ²	3,75	5,92	10,49	15,21	19,73	22,54	22,83	19,21	14,06	8,43	3,68	2,5
E_p , МДж/м ²	2,48	3,75	5,7	8,18	9,18	10,0	9,32	7,8	5,94	4,28	2,27	1,75
t , °C	-4,5	-2,4	2,3	9,0	15,5	19,0	21,0	20,0	15,6	9,9	3,8	-1,0
Північна широта 49°												
$E_{пр}$, МДж/м ²	3,45	5,87	10,12	14,52	19,21	22,22	21,41	18,24	13,29	7,81	3,31	2,33
E_p , МДж/м ²	2,38	3,61	5,61	7,82	9,18	10,0	9,35	7,74	5,9	4,15	2,18	1,7
t , °C	-5,5	-3,69	2,25	9,2	15,3	18,9	20,9	19,8	15,5	9,9	3,7	-0,8
Північна широта 50°												
$E_{пр}$, МДж/м ²	3,1	5,36	9,72	13,9	18,76	21,82	2,52	17,28	12,65	7,29	2,92	2,16
E_p , МДж/м ²	2,29	3,43	5,53	7,51	9,18	10	9,45	7,69	5,84	3,91	2,08	1,62
t , °C	-6,1	-5,6	-0,7	7,2	14,3	17,6	18,8	17,7	13,7	7,2	1,0	-3,7

ДОДАТОК Б

(лист 2)

Таблиця Б2 – Середньомісячні значення коефіцієнта $K_{пр}$, який ураховує орієнтацію сонячного колектора відносно прямої сонячної радіації для південної орієнтації з різними кутами їх нахилу до горизонту у відповідному місяці року для місцевості північної широти (φ^0)

<input checked="" type="checkbox"/> Кут нахилу колектора, $\beta, ^\circ$	Місяці року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Північна широта 47°												
30	2,14	1,71	1,42	1,19	1,07	1,02	1,04	1,13	1,30	1,56	1,86	2,31
45	2,86	1,99	1,49	1,17	1,00	0,92	0,95	1,08	1,33	1,74	2,27	3,27
60	3,13	2,07	1,45	1,09	0,89	0,80	0,84	0,99	1,26	1,76	2,66	3,64
Північна широта 48°												
30	2,21	1,72	1,49	1,21	1,08	1,05	1,06	1,15	1,32	1,59	1,86	2,34
45	2,95	2,05	1,53	1,19	1,07	0,95	0,99	1,11	1,38	1,78	2,27	3,29
60	3,19	2,11	1,49	1,12	0,93	0,86	0,88	1,05	1,31	1,8	2,71	3,67
Північна широта 49°												
30	2,25	1,76	1,52	1,26	1,09	1,07	1,08	1,17	1,35	1,61	1,88	2,35
45	3,00	2,09	1,57	1,22	1,11	0,99	1,03	1,14	1,4	1,72	2,28	3,32
60	3,2	2,13	1,51	1,15	0,95	0,88	0,91	1,07	1,34	1,83	2,73	3,69
Північна широта 50°												
35	2,29	1,81	1,55	1,29	1,11	1,09	1,11	1,2	1,38	1,65	1,9	2,38

ДОДАТОК В

Таблиця В1 – Середньодобовий вихід екскрементів великої рогатої худоби (ВРХ)


✖	Тварини	Вихід екскрементів, кг/добу		
		Усього	кал	сеча
	Бици	40	30	10
	Корови	55	35	20
	Молодняк на відкормленні віком: до 4 міс.	7,5	5	2,5
	4–6 міс.	14,0	10	4
	6–12 міс.	26,0	14	12
	старші 12 міс.	35,0	23	12
	Свині	15,0	11	4

Таблиця В2 – Питома величина виходу біогазу із сухої органічної речовини (СОР) залежно від температури та тривалості ферментації

✖	Температ. процесу, °С	Тривалість бродіння, τ, доба	Вихід CH_4 , $\times 10^3$, м ³ /кг	Температ. процесу, °С	Тривалість бродіння, τ, доба	Вихід CH_4 , $\times 10^3$, м ³ /кг
	1	2	3	4	5	6
		5	22,44		5	118,59
	25	10	54,40	44	10	269,95
		20	116,26		20	428,93
		5	21,68		5	203,18
	28	10	91,73	48	10	308,12
		20	174,80		20	478,44
		5	63,23		5	179,17
	32	10	161,12	50	10	285,13
		20	329,98		20	357,95

ДОДАТОК Г

Таблиця Г1 – фізичні параметри сухого повітря для тиску
760 мм рт. ст.

 T, K	$t, ^\circ C$	$\rho,$ кг/м ³	$C_p,$ кДж/ кг·К	$\lambda \cdot 10^2,$ Вт/м·К	$\alpha \cdot 10^5,$ м ² /с	$\mu \cdot 10^{-6}$	$\nu \cdot 10^{-6},$ м ² /с	Pr
253	-20	1,395	1,009	2,28	1,620	16,19	12,79	0,716
263	-10	1,342	1,009	2,36	1,745	16,68	12,43	0,712
273	0	1,293	1,005	2,44	1,881	17,17	13,28	0,707
283	10	1,247	1,005	2,51	2,006	17,66	14,16	0,705
293	20	1,205	1,005	2,59	2,142	18,15	15,06	0,703
303	30	1,165	1,005	2,67	2,286	18,64	16,00	0,701
313	40	1,128	1,005	2,76	2,431	19,13	16,96	0,699
323	50	1,093	1,005	2,83	2,572	19,62	17,95	0,698
333	60	1,060	1,005	2,90	2,720	20,11	18,97	0,696
343	70	1,029	1,009	2,97	2,856	20,60	20,02	0,694
353	80	1,000	1,009	3,05	2,020	21,09	21,09	0,692
363	90	0,972	1,009	3,13	2,189	21,48	22,10	0,690
373	100	0,946	1,009	3,21	3,364	21,88	23,13	0,688

Електронне навчальне видання

Методичні вказівки
до практичних занять,
розрахункових і самостійної робіт
із дисципліни «**Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії**»
для здобувачів спеціальності **144 «Теплоенергетика»**
(освітня програма «*Енергетичний менеджмент*»)
усіх форм здобуття вищої освіти

Відповідальний за випуск О. Г. Гусак
Редакторка О. Ф. Дубровіна
Комп'ютерне верстання С. С. Антоненка

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 3,25. Обл.-вид. арк. 2,77.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Харківська, 116, м. Суми, 40007
Свідоцтво про внесення суб'єкта господарювання до Державного реєстру видавців,
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 8193 від 15.10.2024.

