

**Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет**

СТЬОПН Ю.О., ГУЛЕВСЬКИЙ В.Б., ПЄРОВА Н.П.

**ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ
ПОНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

Мелітополь

УДК [621.311;378.11](072)

Е72

*Гриф надано методичною комісією енергетичного факультету
Таврійського державного агротехнологічного університету
(протокол № 5 від 23 січня 2019 р.)*

Рецензенти:

Квітка С. О., к.т.н., доцент, завідувач кафедри «Електротехніка і електромеханіка ім. професора В. В. Овчарова», Таврійський державний агротехнологічний університет

Лобода О. І., к.т.н., ст. викладач кафедри «Електроенергетика і автоматизація», Таврійський державний агротехнологічний університет

Енергозбереження і використання поновлювальних джерел енергії: Методичні вказівки до практичних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” / Ю. О. Стьопін, В. Б. Гулевський, Н. П. Перова – Мелітополь: ТДАТУ, 2019. – 60 с.

ISBN 978-966-2470-03-1

У методичних вказівках розглянуто питання використання поновлювальних джерел енергії. Всі практичні роботи містять теоретичні відомості, методику розрахунку окремих пристроїв поновлювальних джерел енергії, вихідні дані для виконання індивідуального завдання, контрольні питання для самоаналізу.

Методичні вказівки призначені для студентів вищих навчальних закладів при підготовці здобувачів вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”.

© Стьопін Ю.О.

© Гулевський В.Б.

© Перова Н.П.

© «Таврійський державний агротехнологічний університет», 2019 р.

ЗМІСТ

Передмова.....	4
Практична робота 1. Розрахунок плоского сонячного колектора.....	5
Практична робота 2. Розрахунок сонячної електростанції баштового типу.....	16
Практична робота 3. Розрахунок системи сонячного теплопостачання будівлі.....	24
Практична робота 4. Розрахунок вітроенергетичної установки.....	30
Практична робота 5. Розрахунок теплового потенціалу зернових відходів підприємства.....	36
Практична робота 6. Розрахунок потенціалу переробки рослинних відходів на біогаз.....	43
Практична робота 7. Розрахунок теплової схеми геотермальної електростанції бінарного типу.....	49

ПЕРЕДМОВА

Метою вивчення дисципліни «Енергозбереження і використання поновлювальних джерел енергії» являється формування у студентів знань в області перспектив розвитку світового і вітчизняного досвіду освоєння джерел енергії, альтернативних по відношенню до традиційних, вживаних в тепловій і атомній енергетиці, що мається. Обмежені запаси рідкого і газового палива в найближчі десятиліття виснажуватимуться, паливна складова собівартості електричної і теплової енергії зростатиме. Собівартість енергії, що отримується на поновлювальних нетрадиційних енергоджерелах, навпаки, знижується з накопиченням досвіду і вдосконаленням нових установок і вже нині наближається до собівартості енергії традиційних ТЕС і АЕС.

Завдання дисципліни – вивчення основних поновлювальних енергоресурсів, основних принципів їх використання, конструкцій і режимів роботи відповідних енергоустановок, світового і вітчизняного досвіду їх експлуатації, перспектив розвитку енергетики на нетрадиційних поновлювальних енергоджерелах.

Навчальна дисципліна «Енергозбереження і використання поновлювальних джерел енергії» є профільною навчальною дисципліною спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» у вищих аграрних закладах освіти III – IV рівнів акредитації при підготовці фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр».

Практичні роботи є одним з основних видів навчальних занять студентів при вивченні курсу «Енергозбереження і використання поновлювальних джерел енергії». Роботи проводяться у спеціалізованій лабораторії кафедри ЕТ ТП в ауд.2.117.

Мета методичних вказівок – на практиці ознайомитися з різними видами поновлювальних джерел енергії, їх основними характеристиками.

На першому занятті кожен студент повинен ознайомитися з особливостями обладнання та апаратури, правилом та порядком виконання робіт, підготовки звітів до них.

До кожної роботи студент повинен готуватися завчасно по методичним вказівкам і літературі, яка зазначена в них.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1

РОЗРАХУНОК ПЛОСКОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА

Мета роботи: засвоєння студентами будови та методики розрахунку плоского сонячного колектора (СК).

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі “Використання енергії сонця” [1, 2, 3, 4, 5, 6].
2. Відповісти на тестові завдання (тема 3, навчально-інформаційний портал ТДАТУ).
3. Відповісти на контрольні запитання до практичної роботи 1.

Програма роботи

1. Ознайомитися з будовою СК і зарисувати рис 1.1.
2. Визначити кут встановлення плоского СК.
3. Визначити величину коефіцієнту відбиття сонячної радіації.
4. Визначити середньодобове значення сонячної інсоляції.
5. Визначити позаатмосферне середньодобове значення сонячної інсоляції.
6. Визначити показник чистоти небесної півсфери.
7. Визначити дифузну інсоляцію.
8. Визначити геометричний параметр R_B – коефіцієнт нахилу СК.
9. Знайти повне середньомісячне добове випромінювання на поверхню СК.

Загальні теоретичні відомості

При проектуванні геліоенергетичних систем необхідно враховувати геліотехнічні можливості місцевості. Під цим розуміють кількісні характеристики потоків прямої та розсіяної сонячної інсоляції та можливість їхнього використання для роботи різних типів сонячних установок. Радіаційний режим території України, особливо південних регіонів, сприятливий для практичного використання сонячної енергії.

Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження геліосистем як теплоенергетичного, так і фотоелектроенергетичного обладнання практично на всій території.

Кількість годин сонячного сяння для 4 – х зон України коливається у межах 1740 – 2400 [3, с. 500]. Найбільшій показник має узбережжя Чорного і Азовського морів.

Відомо, що використання сонячної енергії доцільне при сумарній радіації за добу, більшій $15 \text{ МДж/м}^2 = 4 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$, або $120 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$ у місяць [3, с. 500]. Максимальні значення добової сумарної радіації характерне для Південного берега Криму і Півдня Причорноморської низини.

Енергії сонця використовується у таких теплових технологіях, як теплопостачання, отримання прісної води, сушіння матеріалів та ін. На сьогодні-

няшній день найбільш прийнятний перетворювач сонячної енергії для сільсько-господарського виробництва – сонячний колектор.

В цілому територія України відноситься до зон з середньої інтенсивності сонячної радіації. У реальних умовах величина густини прямої та дифузійної, сонячної радіації залежить від широти місцевості, прозорості атмосфери, характеристик земної поверхні, а також від часу доби та пори року. З цієї причини величина річного потрапляння сонячної радіації на 1 м² з поверхні землі суттєво варіюється для різних регіонів України та має статичний характер розподілу.

Існують плоскі колектори, колектори із вигнутою поверхнею концентратора сонячної енергії та об'ємні. Основним елементом більшості установок сонячного гарячого водопостачання є плоский сонячний колектор (СК) Теплоенергетична ефективність СК визначається наступними факторами:

- високою пропускнуою здатністю світлопроникного елемента для короткохвильового потоку сонячної радіації і низькою здатністю власного інфрачервоного випромінювання абсорбера;
- високою поглинальною здатністю абсорбера для короткохвильового сонячного випромінювання.

Більшість плоских СК складаються з чотирьох основних елементів:

- поглинальної панелі з каналами для теплоносія, на поверхню якої нанесено покриття, що забезпечує поглинання не менше 90% падаючого сонячного випромінювання;
- прозорої ізоляції, яка складається, як правило, з одного або двох шарів застелення;
- теплової ізоляції, яка зменшує втрати теплоти в навколишнє середовище через днище колектора і його бокові грані;
- корпусу, де розташовані поглинальна панель і тепла ізоляція, і який закритий зверху прозорою ізоляцією.

У колекторі сонячне випромінювання перетворюється в теплоту, яка відводиться теплоносієм (вода, повітря, антифриз та ін.), що протікає в каналах поглинальної панелі. Прозора ізоляція зменшує конвекційні та променеві втрати теплоти від поглинальної панелі в атмосферу, внаслідок чого зростає теплопродуктивність колектора. Звичайне віконне скло пропускає до 87% сонячного випромінювання, але практично не прозоре до власного теплового випромінювання панелі. Перехід від одинарного до подвійного застелення приводить до зменшення теплових втрат через прозору ізоляцію, але одночасно зменшується і щільність потоку випромінювання, яке падає на поглинальну панель.

К.к.д. колектора визначається як відношення теплопродуктивності до падаючого потоку сонячної радіації. Більшість існуючих установок мають середній експлуатаційний к.к.д. 40 – 50%, а сучасні – 60 – 70%.

Як теплоносій системах сонячного теплопостачання використовується вода. Однак її суттєвим недоліком є відносно висока температура замерзання. Тому при експлуатації установок сонячного теплопостачання взимку рекомендується використовувати тосол, розчин етиленгліколю або водно-

сольові розчини. Дані колектори призначені для виробництва низькопотенційної теплоти, однак повітря в них можуть нагріватись до 120 °С.

Економія від впровадження СК на 1 м² складає: електроенергії 1050 – 1450 кВт.год на рік, природного газу – 110 – 145 м³ на рік [3, с. 50].

Переваги і недоліки сонячного випромінювання як джерела енергії.

Переваги:

- доступне на всій земній кулі;
- безкоштовна енергія;
- користування з цього джерела енергії не має негативного впливу на клімат Землі;
- енергетичні запаси сонця невичерпні;
- користування ними не впливає на енергетичний баланс Землі.

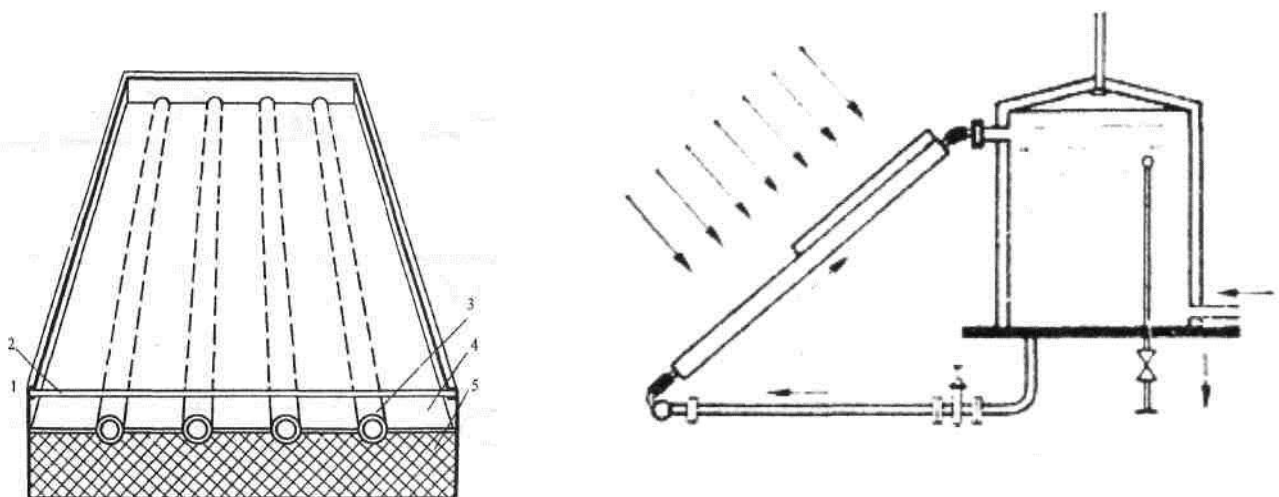
Недоліки:

- цей вид енергії може використовуватися циклічно і лише сонячні дні;
- необхідність накопичення енергії (наприклад електричні та теплові акумулятори);
- випадкова інтенсивність освітлення та інтенсивність випромінювання;
- кількість енергії, що отримується впродовж дня, є різна (від 0 до 5 кВт.год/м²);
- енергія розсіяна рівномірно на великих площах;
- значна вартість геліоустановок.

Можливість використання сонячної енергії на землі залежить від географічної широти φ , пори року та сонячного сіння [3, с. 501].

Річне надходження сумарної сонячної радіації в реальних умовах хмарності становить 1050...1400 кВт.год/м² при загальному збільшенні від $\varphi = 43^\circ$ до $\varphi = 52^\circ$ північних широт, в яких розташована Україна [3, с. 501].

Основним елементом більшості установок сонячного гарячого водопостачання є плоский СК (рис. 1.1).



1 – корпус; 2 – прозора ізоляція; 3 – канали для теплоносія; 4 – поглинальна панель; 5 – теплова ізоляція

Рисунок 1.1 – Плоский сонячний колектор (СК)

СК являє собою плоску коробчату конструкцію, теплоізольовану з тильної сторони і засклену з лицьової. Робота СК заснована на парниковому ефекті: сонячні промені видимої частини спектру (короткі хвилі) вільно проходять скрізь скло і нагрівають теплоносії в середині СК, а інфрачервоне випромінювання нагрітого тіла (довгі хвилі) скло назад уже не випускає, тобто СК створює “пастку” для сонячних “зайчиків”.

Оптимальні кути нахилу СК визначаються періодом роботи. Звичайно при цілорічному використанні плоского СК його розташовують під кутом β до горизонту, рівним географічній широті даної місцевості φ ($\beta = \varphi$).

Якщо СК використовують тільки влітку, то кут його установки до горизонту зменшують на 15° ($\beta = \varphi - 15^\circ$), якщо СК використовують тільки зимою, то кут установки збільшують на 15° ($\beta = \varphi + 15^\circ$) [1, с. 22].

При проектуванні систем перетворення сонячної енергії необхідно знати не тільки *повну радіацію* H_h , але і її складові: *пряму* B_h і *дифузну* (розсіяну) радіацію D_h

$$H_h = B_h + D_h, \quad (1.1)$$

де H_h , B_h і D_h – середньомісячна добова радіація на горизонтальну поверхню Землі: повна, пряма і дифузна відповідно, кДж/м².

Середньомісячне добове значення повної радіації на похилу поверхню СК для кожного місяця знаходять за виразом

$$I_c = B_h \cdot R_B + D_h \cdot R_d + H_h \cdot R_r, \quad (1.2)$$

де B_h , D_h і H_h – пряма, дифузна і повна радіація на горизонтальну поверхню, (кДж/м²·добу);

R_B – коефіцієнт нахилу СК, значення якого залежить від географічної широти φ і кута нахилу β поверхні СК до горизонту, значення якого розраховується або береться із таблиці [1, с. 32];

R_d – кутовий коефіцієнти дифузної радіації, який визначають за формулою

$$R_d = \frac{1 + \cos \beta}{2}, \quad (1.3)$$

де R_r – кутовий коефіцієнт прямої і дифузної радіації, який визначають за формулою

$$R_r = \frac{\rho_s (1 - \cos \beta)}{2}, \quad (1.4)$$

де ρ_s – коефіцієнт відбиття поверхні Землі, який залежить від виду покриття і називається *альbedo* [1, с. 28].

Коефіцієнт нахилу R_B залежить від географічної широти φ , кута нахилу β , нахилу Сонця і кутового сонячного часу для середини місяця. Його значення можна визначати за формулою або взяти із таблиці 1.2.

Підставивши (1.3) і (1.4) в (1.2) з урахуванням (1.1) отримуємо вираз для середньомісячного добового значення повної радіації на похилу поверхню СК

$$I_c = (H_h - D_h) \cdot R_B + D_h \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + H_h \cdot \frac{\rho_s (1 - \cos \beta)}{2}, \quad (1.5)$$

де R_B – значення коефіцієнту нахилу СК із табл. 1.2.

Для знаходження складових D_h , і B_h повної радіації H_h необхідно знайти коефіцієнт чистоти небесної півсфери за формулою [1, с. 33]

$$K_T = \frac{H_h}{H_0}, \quad (1.6)$$

де H_h – повна радіація на горизонтальну поверхню Землі, кДж/м²;

H_0 – позаатмосферна добова інсоляція, кДж/м², для середніх чисел кожного місяця, визначається із рисунка 1.2 [1, с. 33].

Потім із рисунка 1.3 [1, с. 34] знаходять частку

$$\frac{D_h}{H_h} = f(K_T). \quad (1.7)$$

далі знаходять дифузну радіацію D_h , а потім і пряму радіацію

$$B_h = H_h - D_h. \quad (1.8)$$

Повну середньомісячну добову радіацію на похилу поверхню СК для кожного місяця знаходять, підставивши знайдені значення величин у вираз (5).

Таблиця 1.1- Коефіцієнти відбиття поверхні Землі ρ_s [1, с. 14].

Характер покриття поверхні	ρ_s
лід та сніг	0,7
пісок	0,4
трава	0,3
бетон	0,2
асфальт, темна поверхня Землі і води	0,1

Таблиця 1.2- Коефіцієнти нахилу R_B сонячного колектора [1, с. 14].

Місяць року	Широта $\varphi=40^\circ$		Широта $\varphi=50^\circ$	
	$\beta = 40^\circ$	$\beta = 60^\circ$	$\beta = 50^\circ$	$\beta = 70^\circ$
Січень	2,28	2,56	3,56	3,94
Лютий	1,80	1,90	2,49	2,62
Березень	1,36	1,32	1,65	1,62
Квітень	1,05	0,90	1,16	1,00
Травень	0,88	0,66	0,90	0,64
Червень	0,79	0,60	0,80	0,56
Липень	0,82	0,64	0,84	0,62
Серпень	0,96	0,78	1,02	0,83
Вересень	1,24	1,12	1,44	1,32
Жовтень	1,62	1,64	2,10	2,14
Листопад	2,08	2,24	3,16	3,32
Грудень	2,48	2,80	4,04	4,52

Завдання до практичної роботи

Розрахувати повну середньодобову радіацію, що падає на поверхню зорієнтованого на південь СК, розташованого на 40° північної широти. СК використовується цілорічно. Північна півкуля Землі в лютому покрита снігом, а в червні травою.

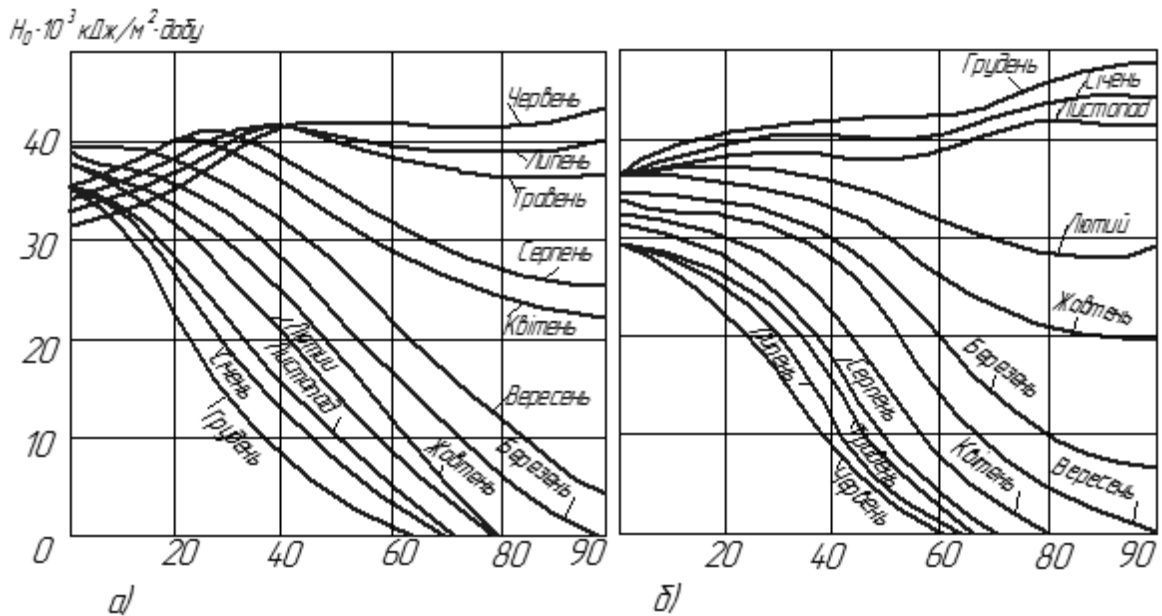


Рисунок 1.2 – Позаатмосферна добова інсоляція поверхні для середніх чисел кожного місяця: а) північна широта, б) південна широта.

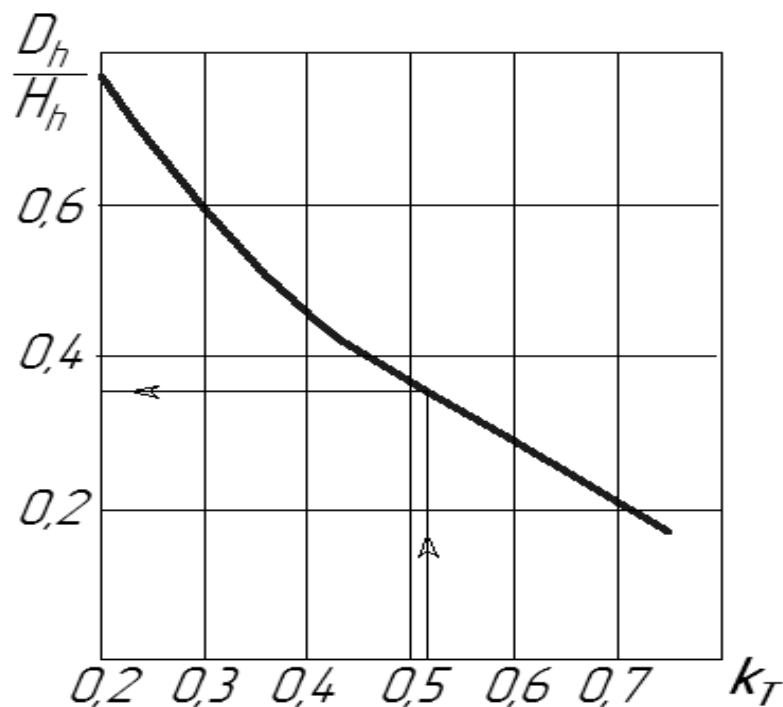


Рисунок 1.3 – Залежність $D_h / H_h = f(K_T)$

Приклад розрахунку

Приймаємо кут установки СК $\beta = \varphi = 40^\circ$.

Із табл. 1.1 вибираємо значення коефіцієнту відбиття поверхні сонячної радіації. Північна півкуля Землі в лютому покрита снігом ($\rho_s=0,7$), а в червні травною ($\rho_s=0,3$).

Середньодобову радіацію знаходимо із сонячних карт [4, с. 22]

в лютому $H_h = 11298$ кДж/(м²·добу);

в червні $H_h = 21977$ кДж/(м²·добу).

Довготадня: 15 лютого (нахил Сонця $\delta_s = 14^\circ$) 10,5 год., 15 червня ($\delta_s = 22^\circ$) 14,5 год.

Із рисунка 1.2 для географічної широти $\varphi = 40^\circ_{\text{п.ш.}}$ знаходимо позаатмосферну добову інсоляцію H_o для середніх чисел місяця [4, с. 23]

для лютого $H_o = 20930$ кДж/(м²·добу);

для червня $H_o = 41860$ кДж/(м²·добу).

Розраховуємо коефіцієнт чистоти небесної півсфери за формулою (1.6)

$$\text{для лютого } K_T = \frac{11298}{20930} = 0,536;$$

$$\text{для червня } K_T = \frac{21977}{41860} = 0,525.$$

Із рисунка 1.3 знаходимо частку

$$\text{для лютого } \frac{D_h}{H_h} = 0,36;$$

$$\text{для червня } \frac{D_h}{H_h} = 0,35.$$

звідки знаходимо дифузну радіацію

$$\text{для лютого } D_h = 0,36 \cdot 11218 = 4038 \text{ кДж/м}^2;$$

$$\text{для червня } D_h = 0,352 \cdot 1977 = 7692 \text{ кДж/м}^2.$$

Знаходимо середньомісячну добову радіацію Сонця I_c (кДж/(м²·добу), що падає на поверхню СК за формулою (1.5)

для лютого

$$I_c = (11218 - 4038) \cdot 1,8 + 4038 \cdot \frac{1 + \cos 40^\circ}{2} + 11218 \cdot 0,7 \cdot \frac{1 - \cos 40^\circ}{2} = 17408;$$

для червня

$$I_c = (21977 - 7692) \cdot 0,79 + 7692 \cdot \frac{1 + \cos 40^\circ}{2} + 21077 \cdot 0,3 \cdot \frac{1 - \cos 40^\circ}{2} = 18850.$$

Знайдені величини можна виразити в кіловат·годинах

для лютого

$$I_c = \frac{17408}{3600} = 4,83 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

для червня

$$I_c = \frac{18850}{3600} = 5,24 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

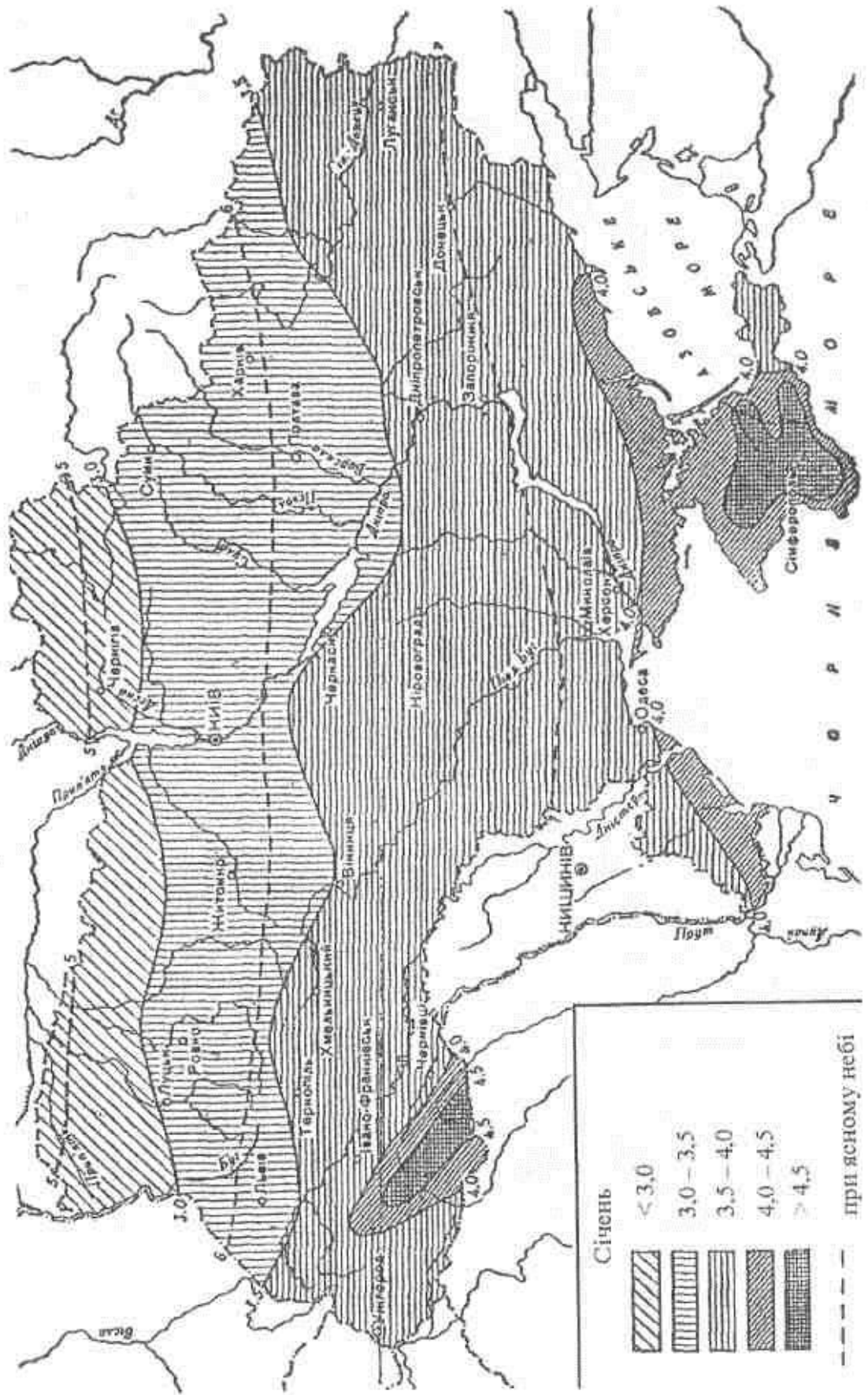


Рисунок 1.4 – Сонячна карта України для січня місяця [1, с.14].

Таблиця 1.3 – Варіанти для виконання самостійної роботи

Варіант	β	ρ_{s1}	ρ_{s2}
1	40	0,10	0,40
2	42	0,12	0,42
3	44	0,14	0,44
4	46	0,16	0,46
5	48	0,18	0,48
6	50	0,20	0,50
7	52	0,22	0,52
8	54	0,24	0,54
9	56	0,26	0,56
10	58	0,28	0,58
11	60	0,30	0,60
12	62	0,32	0,62
13	64	0,34	0,64
14	66	0,36	0,66
15	68	0,38	0,68
16	70	0,40	0,70
17	50	0,21	0,41
18	52	0,23	0,43
19	54	0,25	0,45
20	56	0,27	0,47
21	58	0,29	0,49
22	60	0,31	0,51
23	62	0,33	0,53
24	64	0,35	0,55
25	66	0,37	0,57

Зміст звіту

1. Тема, мета роботи.
2. Результати розрахунків.
3. Висновки.

Контрольні питання

1. Що собою являє плоский сонячний колектор?
2. Які енергоносії використовуються в СК?
3. Які матеріали використовуються для акумулювання теплової енергії?
4. Назвіть переваги використання води в якості енергоносія в СК?
5. Назвіть недоліки використання води в якості енергоносія в СК?
6. Як вибирається кут нахилу СК?
7. Від чого залежить величина кутового коефіцієнта?
8. Що таке інсоляція?
9. Від чого залежить величина коефіцієнту відбиття сонячної радіації?

10. Що називають прямою і дифузною (розсіяною) радіацію?
11. Як визначити кутовий коефіцієнт прямої і дифузної радіації?
12. Чому дорівнює середньомісячне добове значення повної радіації?
13. Як знайти коефіцієнт чистоти небесної півсфери?
14. Якими факторами визначається теплоенергетична ефективність СК?

Список літератури

1. Волеваха М. М. Енергетичні ресурси клімату України / М. М. Волеваха, М. І. Гайса. – К.: Наукова думка, 1967. – 132 с.
2. Кирюшатов А. И. Использование нетрадиционных возобновляющихся источников энергии в сельскохозяйственном производстве / А. И. Кирюшатов. – М: Агропромиздат, 1991. – 94 с.
3. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
4. Степанова В. Э. Возобновляемые источники энергии на сельскохозяйственных предприятиях / В. Э. Степанова. – М: Агропромиздат, 1988. – 82 с.
5. Титко Р. Відновлювальні джерела енергії / Р. Титко, В. Калініченко – Варшава – Краків – Полтава, 2010. – 656 с.
6. Навчально-інформаційний портал ТДАТУ.
<http://nip.tsatu.edu.ua><http://nip.tsatu.edu.ua/>

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2

РОЗРАХУНОК СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ БАШТОВОГО ТИПУ

Мета роботи: засвоєння студентами методики розрахунку основних параметрів сонячної електростанції.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі “Використання енергії сонця” [1, 2, 3, 4, 5, 6].
2. Відповісти на тестові завдання (тема 3, навчально-інформаційний портал ТДАТУ).
3. Відповісти на контрольні запитання до практичної роботи 2.

Програма роботи

1. Визначити витрати пари на турбіну.
2. Визначити площу поверхні приймача сонячної енергії та теплові втрати в ньому.
3. Визначити енергію, отриману приймачем від сонця через геліостати.
4. Визначити кількість геліостатів.

Загальні теоретичні відомості

Геліотермічний метод полягає в перетворенні сонячного світла на тепло, яке потім підводиться до нагнітаючої турбіни електричного генератора. Основними елементами в такій системі є: геліостати – дзеркала, що обігріваються енергією сонця і скеровують його віддзеркалені промені на розміщений у центрі установки на високій башті абсорбер. Абсорбер складається з труб, що фокусують на собі відбите від геліостатів сонячне випромінювання. В середині труб абсорбера циркулює робоча рідина (натрій, літій, нітрат калію), пара якої обертає турбіну. У даний час проектується електростанція потужністю 80 МВт, де башта абсорбера має висоту 225 м, геліостати розміщені на площі 450 м², температура робочої рідини досягає 530°C. Інший американський проект сонячної електростанції потужністю 250 МВт передбачається побудувати у пустелі, де інтенсивність сонячного випромінювання доходить до 1200 Вт/м². При цьому тиск робочої рідини досягає 15 МПа, а температура 500°C [3, с. 494]. Швейцарський проект подібної електростанції потужністю до 50 МВт передбачає розміщення геліостатів на південних гірських схилах.

Іншим видом сонячної електростанції є лінійні сонячні колектори у вигляді параболоїдів, у центрі яких розміщені трубчасті абсорбери з циркулюючою робочою рідиною. Перегрітий теплоносієм використовується для підігрівання пари в турбіні, що обертає генератор, виробляючий електричну енергію. Система керування регулює положення сонячних колекторів перпендикулярно до падаючих сонячних променів. Це "слідкуючий" сонячний колектор.

Параболічні колектори є найбільш ефективним і якнайширше застосовуваним методом отримання сонячної енергії у великих масштабах.

Сонячна енергія використовується також для підігріву води у системах гарячого водопостачання та для попереднього часткового підігріву системи опалення.

Колектори із вигнутою поверхнею концентратора сонячної енергії дозволяють отримати високу температуру (до 500 °С і вище). Концентратор фокусує сонячну енергію на трубчатому або плоскому теплоприймачі і звичайно має селективне або дзеркальне покриття. Працюють вони у сонячні дні, так як сприймають тільки пряме сонячне випромінювання.

Об'ємним сонячним колектором може бути будь-який будинок або наземна споруда закритого типу. Сонячні промені повинні потрапляти у приміщення тільки тоді, коли потрібно їх опалення. Для цього використовують правильну орієнтацію будівлі, вибір кольору забарвлення, форми вікон та ін. Вони працюють як від прямого, так і від розсіяного сонячного опромінення.

Високу (більше 150 °С) температуру теплоносія можна отримати тільки в установках із концентратором сонячної енергії. Геліотехнічні концентратори представляють собою відбивачі, дзеркала різноманітної форми.

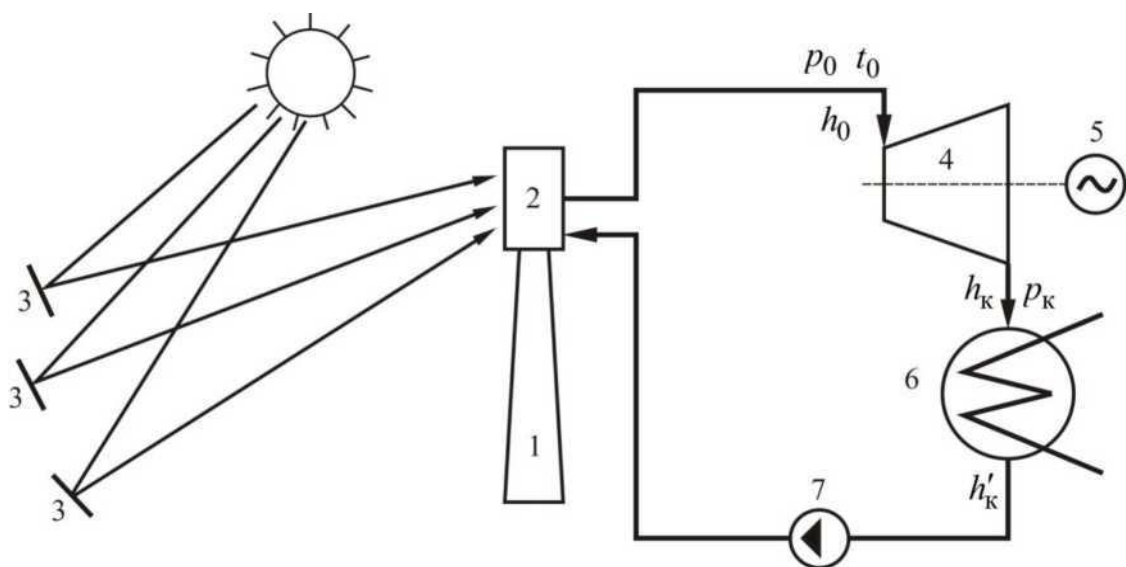
Енергія, що потрапляє на відбивач, концентрується в певній точці. Так як розміри Сонця великі, ми бачимо його не як точку, а як диск кінцевого діаметра. Відповідно, промені, що йдуть від нього, не паралельні між собою. В кожному точці геліотехнічного концентратора падають промені із різних зон поверхні Сонця. Оскільки кут падіння дорівнює куту відбиття, промені б розходилися під тим же кутом. Однак поверхня концентратора не ідеальна правильна, тому при відбитті промені відхиляються. В результаті у фокальній площині створюється фокальна пляма певним діаметром.

Завдання до практичної роботи

На сонячній електростанції баштового типу встановлено n геліостатів, кожен з яких має поверхню $F_r = 46 \text{ м}^2$. Коефіцієнт відображення геліостату $R_{\text{від}} = 0,81$. Максимальна опроміненість дзеркала геліостата $E_r = 610 \text{ Вт/м}^2$.

Геліостати відображають сонячні промені на приймач, на поверхні якого зареєстрована максимальна енергетична освітленість $E_{\text{пр}} = 2,0 \text{ МВт/м}^2$. Коефіцієнт поглинання приймача $A_{\text{погл}} = 0,96$. Ступінь чорноти приймача $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,94$.

У приймачі нагрівається та випарюється робоче тіло (вода) до температури $t_0 = 555^\circ\text{C}$. Тиск робочого тіла складає $p_0 = 13,7 \text{ МПа}$. Отримана перегріта пара направляється до турбіни потужністю $N_e = 4,0 \text{ МВт}$, що працює за циклом Ренкіна. Тиск пари за турбіною складає $p_k = 3,5 \text{ кПа}$. Відносний внутрішній к.к.д. турбіни $\eta_{oi} = 0,87$, механічний к.к.д. $\eta_m = 0,975$, к.к.д. електрогенератора $\eta_e = 0,985$. Роботу насоса, втрати тепла при його транспортуванні, власні потреби – не враховувати.



1 – сонячна башта; 2 – приймач; 3 – геліостати; 4 – парова турбіна;
5 – електрогенератор; 6 – конденсатор; 7 – насос

Рисунок 2.1 – Схема сонячної електростанції баштового типу

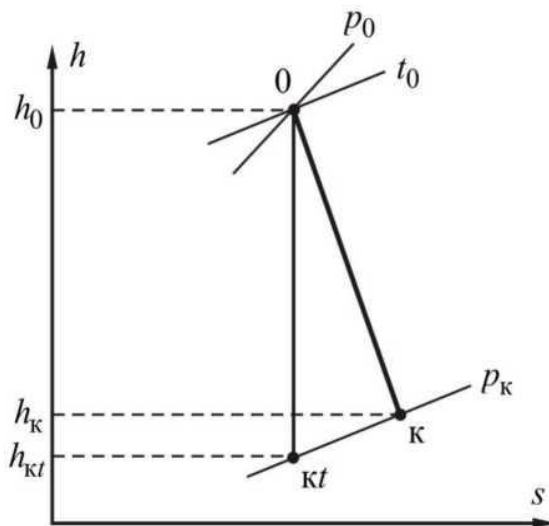


Рисунок 2.2 – Процес розширення пари в турбіні в h-s діаграмі:

Визначити:

- витрату пару на турбіну D_0 , кг/с;
- площу поверхні приймача $F_{пр}$ та теплові втрати в ньому $Q_{втр}$, викликані випромінюванням та конвекцією. Прийняти, що конвективні втрати вдвічі менше втрат від випромінювання;
- енергію, отриману приймачем від сонця через геліостати (кВт);
- кількість геліостатів - n , шт;
- як зміниться потужність СЕС, якщо замість паротурбінної установки застосувати кремнієві перетворювачі з ККД $\eta_{фс} = 0,141$, які займають ту ж саму площу, що й дзеркало геліостатів?

Приклад розрахунку

Визначаємо теоретичний теплоперепад турбіни

$$H_0 = h_0 - h_{kt}, \quad (2.1)$$

де h_0 - ентальпія пари на вході до турбіни - точка 0 (рис. 2.2) (Визначаємо з таблиць властивостей води та водяної пари за p_0 та t_0), кДж/кг;

h_{kt} - ентальпія пари на виході з турбіни в теоретичному процесі - точка kt (визначаємо з таблиць властивостей води та водяної пари за p_k та s_0 , оскільки процес 0 - kt проходить при $s = \text{const}$), кДж/кг.

$$H_0 = 2593,7 - 2557,5 = 36,2 \text{ кДж/кг.}$$

Дійсний теплоперепад турбіни складає

$$H_i = H_0 \cdot \eta_{oi}, \quad (2.2)$$

де η_{oi} - відносний внутрішній ККД турбіни.

$$H_i = 36,2 \cdot 0,87 = 31,49 \text{ кДж/кг.}$$

Визначаємо ентальпію пари на виході з турбіни у дійсному процесі

$$h_k = h_0 - H_i, \quad (2.3)$$

$$h_k = 2593,7 - 31,49 = 2562,21 \text{ кДж/кг.}$$

За тиском p_k з таблиць властивостей води та водяної пари знаходимо значення ентальпії конденсату h'_k

$$h'_k = 129,98 \text{ кДж/кг}. \quad (2.4)$$

Витрата пари на турбіну визначається з основного енергетичного рівняння турбіни

$$D_0 = \frac{1000 \cdot N_e}{H_i \cdot \eta_m \cdot \eta_e}, \quad (2.5)$$

$$D_0 = \frac{1000 \cdot 4,0 \cdot 10^6}{31,49 \cdot 10^3 \cdot 0,975 \cdot 0,985} = 132,26 \cdot 10^3 \text{ кг/с}.$$

Визначаємо витрату тепла на турбоустановку

$$Q_{\text{ТУ}} = D_0 (h_0 - h'_k), \quad (2.6)$$

$$Q_{\text{ТУ}} = 132,26 \cdot 10^3 \cdot (2593,7 - 129,98) = 325,85 \cdot 10^6 \text{ кВт}.$$

Визначаємо питомі втрати тепла з поверхні приймача сонячної енергії за рахунок випромінювання

$$q_{\text{вип}} = c_0 \cdot \varepsilon_{\text{пр}} \cdot \left(\frac{T_0}{100} \right)^4, \quad (2.7)$$

де $c_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ – ступінь випромінювання абсолютно чорного тіла (постійна Стефана - Больцмана) [1, с. 24].

$$q_{\text{вип}} = 5,67 \cdot 0,94 \cdot \left(\frac{718}{100} \right)^4 = 14,16 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2.$$

З завдання відомо, що

$$q_{\text{конв}} = 0,5 \cdot q_{\text{вип}}, \quad (2.8)$$

$$q_{\text{конв}} = 0,5 \cdot 14,16 \cdot 10^3 = 7,08 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2.$$

Тоді

$$\Delta q_{\text{втр}} = q_{\text{вип}} + q_{\text{конв}} = 1,5 \cdot q_{\text{вип}}, \quad (2.9)$$

$$\Delta q_{\text{втр}} = 14,16 \cdot 10^3 + 7,08 \cdot 10^3 = 21,24 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2.$$

Повна величина теплових втрат приймача визначається за формулою

$$\Delta Q_{\text{втр}} = \Delta q_{\text{втр}} \cdot F_{\text{пр}}, \quad (2.10)$$

де $F_{\text{пр}}$ - площа поверхні приймача, м².

$$\Delta Q_{\text{втр}} = 21,24 \cdot 10^3 \cdot 1,6 = 33,98 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2.$$

Кількість тепла, отримане приймач визначається за формулою

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{ГВ}} + \Delta Q_{\text{втр}}, \quad (2.11)$$

$$Q_{\text{пр}} = 325,85 \cdot 10^6 + 33,98 = 325,88 \cdot 10^6 \text{ кВт}.$$

Визначаємо площу поверхні приймача

$$F'_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{E_{\text{пр}}}, \quad (2.12)$$

де $E_{\text{пр}}$ - максимальна енергетична освітленість приймача, МВт/м².

$$F'_{\text{пр}} = \frac{325,88 \cdot 10^6}{2,0 \cdot 10^3} = 162,94 \cdot 10^3 \text{ м}^2.$$

Похибка розрахунків складає

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{F'_{\text{пр}} - F_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}}} \right| \cdot 100 \leq 1\%, \quad (2.13)$$

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{162,94 \cdot 10^3 - 1,6}{162,94 \cdot 10^3} \right| \cdot 100 = 0,98\%.$$

Оскільки $\varepsilon = 0,98\% \leq 1\%$, то умова виконується.

Кількість тепла, що отримує приймач від сонця через геліостати, можна розрахувати за формулою

$$Q_{np} = E_2 \cdot n \cdot F_2 \cdot R_{від} \cdot A_{ногл}, \quad (2.14)$$

$$Q_{np} = 610 \cdot 14,93 \cdot 10^3 \cdot 46 \cdot 0,81 \cdot 0,96 = 325,88 \cdot 10^6 \text{ кВт.}$$

Тоді, кількість геліостатів

$$n = \frac{Q_{np}}{E_2 \cdot F_2 \cdot R_{від} \cdot A_{ногл}}, \quad (2.15)$$

$$n = \frac{325,88 \cdot 10^6}{610 \cdot 46 \cdot 0,81 \cdot 0,96} = 14,93 \cdot 10^3.$$

Потужність сонячної електростанції в тому випадку, якщо замість паротурбінної установки застосувати кремнієві фотоелементи, які займають ту саму площу, що й дзеркала геліостатів, визначаємо за формулою

$$P_e^\phi = E_2 \cdot n \cdot F_2 \cdot \eta_{\phi e}, \quad (2.16)$$

$$P_e^\phi = 610 \cdot 14,93 \cdot 10^3 \cdot 46 \cdot 0,141 = 59,06 \text{ МВт.}$$

Таблиця 2 – Варіанти для виконання самостійної роботи

Варіант	F _Г	R _{від}	E _Г	E _{np}	A _{ногл}	ε _{np}	t _о	p _о	N _е	p _к	η _{oi}	η _м	η _е
1	52	0,82	600	1,7	0,95	0,96	500	12,3	3,1	3,2	0,89	0,98	0,97
2	50	0,83	605	1,8	0,96	0,97	510	12,5	3,2	3,3	0,88	0,99	0,98
3	47	0,84	610	1,9	0,97	0,95	550	12,7	3,3	3,4	0,87	0,97	0,96
4	46	0,85	615	2,0	0,98	0,94	540	12,9	3,4	3,5	0,90	0,98	0,95
5	42	0,86	620	2,1	0,98	0,96	530	13,3	3,5	3,6	0,86	0,99	0,97
6	60	0,87	625	2,2	0,96	0,93	520	13,8	3,6	3,7	0,87	0,97	0,94
7	53	0,88	630	2,3	0,95	0,97	510	13,5	3,7	3,8	0,88	0,98	0,95
8	43	0,89	635	2,4	0,99	0,95	500	13,7	3,9	3,4	0,89	0,99	0,98
9	51	0,81	640	2,5	0,97	0,96	505	13,9	3,8	3,9	0,90	0,97	0,97
10	50	0,82	645	2,0	0,96	0,96	515	14,1	3,6	3,7	0,81	0,98	0,96
11	45	0,83	650	1,9	0,97	0,98	525	14,3	3,4	3,5	0,82	0,96	0,95
12	46	0,84	640	1,8	0,95	0,97	535	14,5	3,2	3,3	0,83	0,97	0,98
13	48	0,85	630	1,7	0,99	0,96	545	14,4	3,0	3,1	0,84	0,98	0,97
14	49	0,86	620	1,6	0,96	0,94	555	14,2	3,1	3,3	0,83	0,96	0,98
15	47	0,88	610	1,5	0,97	0,95	505	14,0	3,2	3,4	0,82	0,95	0,98
16	45	0,87	600	1,6	0,98	0,97	510	13,9	3,3	3,6	0,81	0,98	0,97
17	53	0,85	605	1,7	0,96	0,97	515	13,8	3,4	3,7	0,90	0,97	0,98

Продовження таблиці 2

Варіант	F_r	$R_{\text{від}}$	E_r	$E_{\text{пр}}$	$A_{\text{погл}}$	$\varepsilon_{\text{пр}}$	t_o	p_o	N_e	p_k	η_{oi}	η_m	η_e
18	55	0,84	610	1,8	0,95	0,96	520	13,7	3,5	3,6	0,81	0,96	0,96
19	49	0,83	615	2,0	0,97	0,98	525	13,6	3,6	3,7	0,82	0,97	0,98
20	46	0,82	620	1,9	0,95	0,97	530	13,5	3,7	3,8	0,83	0,94	0,98
21	42	0,81	625	1,8	0,97	0,99	535	13,4	3,8	3,9	0,84	0,98	0,97
22	44	0,83	630	1,7	0,98	0,96	540	13,3	3,9	3,2	0,85	0,97	0,96
23	50	0,85	630	2,1	0,96	0,98	545	13,2	3,8	3,3	0,86	0,95	0,97
24	49	0,86	635	2,3	0,97	0,97	550	13,1	3,6	3,5	0,87	0,98	0,96
25	46	0,87	640	2,5	0,98	0,94	555	13,0	3,4	3,7	0,88	0,96	0,97

Зміст звіту

1. Тема, мета роботи.
2. Результати розрахунків.
3. Висновки.

Контрольні питання

1. Яку функцію виконує геліоприймач?
2. Яку функцію виконують геліостати?
3. Яку функцію виконує парова турбіна?
4. Яку функцію виконує електрогенератор?
5. Яку функцію виконує конденсатор?
6. Яку функцію виконує насос?
7. Які переваги та недоліки мають електростанції баштового типу?

Список літератури

1. Воронин С. М. Возобновляемые источники энергии в энергосбережении / С. М. Воронин, С. В. Оськин, А. Н. Головкин. – Краснодар: 2006. – 98 с .
2. Кирюшатов А. И. Использование нетрадиционных возобновляющихся источников энергии в сельскохозяйственном производстве / А. И. Кирюшатов. – М: Агропромиздат, 1991. – 94 с.
3. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний М., В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
4. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл. А. Уэйр. Пер. с англ. – М: Энергоатомиздат, 1990. – 112 с.
5. Навчально-інформаційний портал ТДАТУ.
<http://nip.tsatu.edu.ua>
<http://nip.tsatu.edu.ua/>

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3

РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ СОНЯЧНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДІВЛІ

Мета роботи: засвоєння студентами методики розрахунку кількості теплової енергії, отриманої при використанні сонячного теплопостачання.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі “Використання енергії сонця” [1, 2, 3, 4, 5, 6].
2. Відповісти на тестові завдання (тема 3, навчально-інформаційний портал ТДАТУ).
3. Відповісти на контрольні запитання до практичної роботи 3.

Програма роботи

1. Визначити витрати води через приймач сонячної енергії.
2. Визначити витрати води у систему теплопостачання будівлі.
3. Визначити витрати води в акумулятор теплової енергії.
4. Визначити площу поверхні приймача сонячної енергії.
5. Визначити ємність акумулятора теплової енергії.

Загальні теоретичні відомості

В Україні реалізовано значна кількість пілотних проектів з використання сонячної енергії для гарячого водопостачання та опалення приміщень. Високу енергетичну ефективність мають сонячні системи гарячого водопостачання, які залежно від регіону можуть на 40 – 70% забезпечити потребу в гарячій воді.

Технологія системи опалення з використанням сонячної енергії досягла значних успіхів в останнє десятиріччя. Поліпшено продуктивність сонячних колекторів; термін роботи і загальна якість систем, включаючи надійність, стали вищі; значно зменшилась вартість. Розроблені методи використання низькотемпературної теплоти. Нові дані про динаміку роботи систем сонячного теплопостачання привели до розробки простих, дешевих і ефективних систем керування.

Розроблено нагромаджувачі теплоти фазового переходу, які разом із сонячними колекторами забезпечують теплою розподільчі системи повітряного опалення в будинках. Ці нагромаджувачі є засобом підвищення ефективності систем, підтримуючи їх робочу температуру. Однак такі нагромаджувачі важко об'єднати із системами гарячого водопостачання, високою залишається також їх вартість.

Проведені наукові дослідження дали можливість вирішити для України цілий комплекс проблем з використання сонячної енергії для потреб теплопостачання, виявлений цілий ряд факторів, які впливають на ефективність таких систем.

Сьогодні створений достовірний банк даних про радіацію і енергоспоживання, які лежать в основі проектування сонячних систем теплопостачання. Сонячна радіація в Україні має високу складову частку розсіяної радіації. Сонячні колектори, які здатні використовувати розсіяну радіацію, відповідно, найбільш підходять для масового використання.

Існуючий на сьогодні рівень продуктивності обладнання, що використовують сонячну енергію, дозволяють забезпечити влітку на 40 – 50% теплову потребу будинків (на півдні України 50 – 70%) [2, с. 505].

Повинні продовжуватися роботи з дослідження взаємної роботи системи сонячного теплопостачання з традиційними системами для визначення економічно оптимальних співвідношень їх потужностей залежно від кліматичних умов; економічної ефективності нагрівачів, які працюють за принципом акумулювання теплоти в пасивних елементах будівель.

Необхідно продовжувати роботи з удосконалення обладнання і режимів роботи цих систем за допомогою автоматизованих систем керування, які є основним резервом покращення ефективності систем сонячного теплопостачання.

Системи теплопостачання житлових будинків поширені в сусідніх країнах, розташованих на широті України. Причому це відпрацьовані проекти, за якими випускається серійне обладнання.

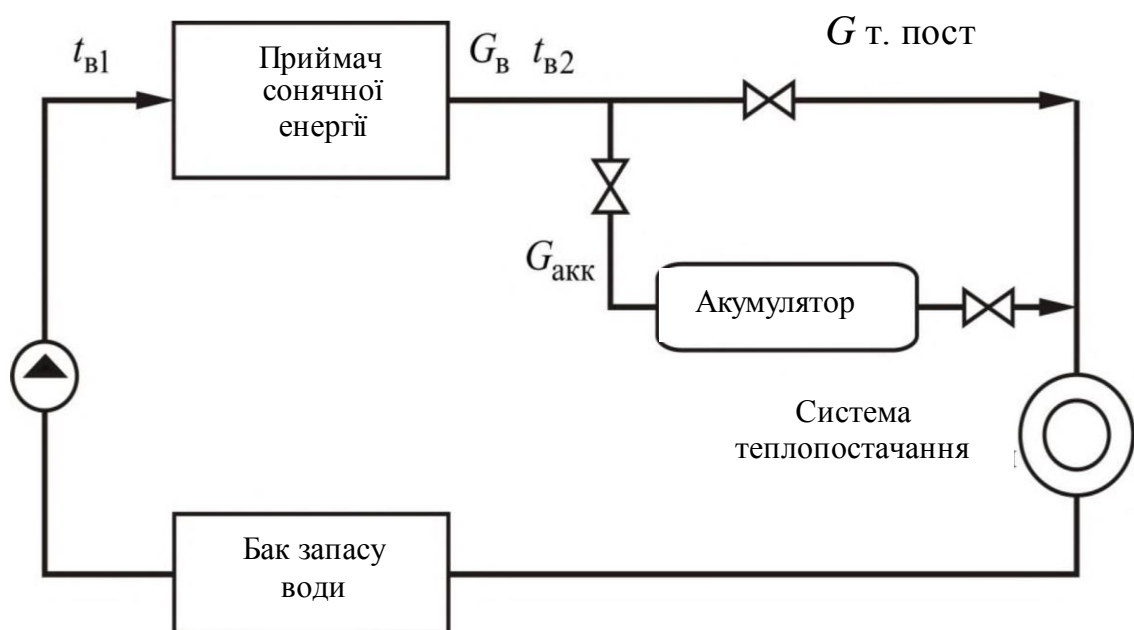


Рисунок 3 – Принципова схема системи сонячного теплопостачання будівлі

Завдання до практичної роботи

На даху будівлі встановлений пластинчатий приймач сонячної енергії проточного типу, який має поверхню F , м^2 . Коефіцієнт використання сонячної енергії $\eta_{\text{пр}} = 0,81$. Опроміненість приймача $E = 610 \text{ Вт/м}^2$. Приймач освітлюється сонцем на протязі доби $\tau_{\text{осв}} = 6 \text{ год}$.

У приймачі нагрівається робоче тіло (вода) від температури $t_{\text{в1}} = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ до температури $t_{\text{в2}} = 49 \text{ }^\circ\text{C}$. Вода направляєтся в систему теплопостачання будівлі, тепловою потужністю $Q_{\text{т.пост}} = 4,0 \text{ кВт}$ та до акумулятору теплової енергії.

Визначити:

- витрату води через приймач $G_{\text{в}}$, кг/с ;
- витрати води у систему теплопостачання $G_{\text{т.пост}}$ та в акумулятор $G_{\text{ак}}$, кг/с ;
- площу поверхні приймача F , м^2 ;
- ємність акумулятора V , м^3 .

Приклад розрахунку

Добове споживання тепла системою теплопостачання визначається з формули

$$Q_{\text{доб.}} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_{\text{т.пост}}, \quad (3.1)$$

де 24 – кількість годин на добу;

$Q_{\text{т.пост}}$ – потужність системи теплопостачання будівлі, кВт .

$$Q_{\text{доб.}} = 24 \cdot 3600 \cdot 4,0 \cdot 10^3 = 345,6 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Тепло, що сприймається приймачем сонячної енергії на протязі періоду освітленості, розраховується за формулою

$$Q_{\text{пр}} = E \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot F \cdot \tau_{\text{осв}} \cdot 3600, \quad (3.2)$$

де E – опроміненість приймача, Вт/м^2 ;

$\eta_{\text{пр}}$ – коефіцієнт використання сонячної енергії приймачем;

F – площа поверхні приймача, м^2 ;

$\tau_{\text{осв}}$ – період освітлення приймача сонцем на протязі доби, год .

$$Q_{\text{пр}} = 610 \cdot 0,81 \cdot 32,38 \cdot 6 \cdot 3600 = 345,6 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Тоді рівняння теплового балансу приймача сонячної енергії можна записати у вигляді

$$Q_{\text{доб.}} = Q_{\text{пр}}, \quad (3.3)$$

або

$$24 \cdot Q_{m.ном} = E \cdot \eta_{np} \cdot F \cdot \tau_{ocв}. \quad (3.4)$$

З цього рівняння можна визначити площу поверхні пластинчастого приймача сонячної енергії проточного типу

$$F = \frac{24 \cdot Q_{m.ном}}{E \cdot \eta_{np} \cdot \tau_{ocв}}, \quad (3.5)$$

$$F = \frac{24 \cdot 4,0 \cdot 10^3}{610 \cdot 0,81 \cdot 6} = 32,38 \text{ м}^2.$$

Витрата води через приймач сонячної енергії визначається за формулою

$$G_g = \frac{Q}{c_p (t_{г2} - t_{г1}) \cdot \tau_{ocв} \cdot 3600} = \frac{24 \cdot Q}{c_p (t_{г2} - t_{г1}) \cdot \tau_{ocв}}, \quad (3.6)$$

де c_p – теплоємність води, 4,19 кДж/кг·К;

$t_{г1}, t_{г2}$ – початкова та кінцева температура робочого тіла (води) відповідно, °С.

$$G_g = \frac{345,6 \cdot 10^6}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (49 - 37) \cdot 6 \cdot 3600} = \frac{24 \cdot 4,0 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (49 - 37) \cdot 6} = 0,318 \text{ кг/с.}$$

Витрата води в систему тепlopостачання будівлі розраховується за формулою

$$G_{m.ном} = \frac{Q_{m.ном}}{c_p (t_{г2} - t_{г1})}, \quad (3.7)$$

$$G_{m.ном} = \frac{4,0 \cdot 10^3}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (49 - 37)} = 0,0795 \text{ кг/с.}$$

Витрата води в акумулятор теплової енергії накопичувального типу розраховується за формулою

$$G_{ак} = G_{в} - G_{т.пост}, \quad (3.8)$$

$$G_{ак} = 0,318 - 0,0795 = 0,238 \text{ кг/с.}$$

Ємність акумулятора можна визначити за формулою

$$V = G_{ак} \cdot \tau_{осв} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot 3600, \quad (3.9)$$

де ρ – щільність води, 1000 кг/м³.

$$V = 0,238 \cdot 6 \cdot \frac{1}{1000} \cdot 3600 = 5,14 \text{ м}^3.$$

Таблиця 3 – Варіанти для виконання самостійної роботи

Варіант	$\eta_{пр}$	E	$\tau_{осв}$	$t_{в1}$	$t_{в2}$	$Q_{т.пост}$
1	0,80	590	5,8	36	48	4,0
2	0,79	600	6,0	35	49	4,1
3	0,78	610	5,6	34	50	4,2
4	0,77	620	5,4	33	51	4,3
5	0,76	630	5,2	32	52	4,4
6	0,75	640	5,0	31	53	4,5
7	0,83	650	4,9	30	54	4,6
8	0,82	570	4,8	39	55	4,7
9	0,81	580	4,7	38	54	4,8
10	0,80	590	4,6	37	53	4,9
11	0,75	600	4,5	36	52	4,0
12	0,76	610	4,7	35	51	4,1
13	0,77	620	4,9	34	50	4,2
14	0,78	630	5,1	33	49	4,3
15	0,79	640	5,3	32	48	4,4
16	0,80	650	5,5	31	47	4,5
17	0,75	595	5,7	39	46	4,6
18	0,76	585	5,9	38	45	4,7
19	0,77	575	6,1	37	44	4,8
20	0,78	605	6,2	36	43	4,9
21	0,79	615	6,3	35	49	4,0
22	0,80	625	6,4	34	48	4,1

Продовження таблиці 3

Варіант	$\eta_{пр}$	E	$\tau_{осв}$	$t_{в1}$	$t_{в2}$	$Q_{т.пост}$
23	0,81	635	6,5	33	47	4,2
24	0,82	645	6,6	32	46	4,3
25	0,83	655	6,0	31	45	4,4

Зміст звіту

1. Тема, мета роботи.
2. Результати розрахунків.
3. Висновки.

Контрольні питання

1. Яку частку тепла можуть забезпечувати системи сонячного теплопостачання?
2. В чому полягають позитивні досягнення в проектуванні систем теплопостачання?
3. Яке призначення нагромаджувачів в системах теплопостачання?
4. Яка конструкція сонячного колектора найбільш підходить для масового використання для сонячного теплопостачання?
5. Як визначити витрату води через приймач сонячної енергії?
6. Як визначити витрати води у систему теплопостачання будівлі?
7. Як визначити витрати води в акумулятор теплової енергії?
8. Як визначити площу поверхні приймача сонячної енергії?
9. Як визначити ємність акумулятора теплової енергії?

Список літератури

1. Кирюшатов А. И. Использование нетрадиционных возобновляющихся источников энергии в сельскохозяйственном производстве / А. И. Кирюшатов. – М: Агропромиздат, 1991. – 94 с.
2. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний М., В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
3. Кравчук В. І. Технології та обладнання для використання поновлювальних джерел в сільськогосподарському виробництві/ В. І. Кравчук, В. О. Дубровіна. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Погорілого. – 2010. – 184с.
4. Мхитарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников / Н. М. Мхитарян. – К: Наукова думка, 1999. – 216 с.
5. Титко Р. Відновлювальні джерела енергії / Р. Титко, В. Калініченко – Варшава – Краків – Полтава, 2010. – 656 с.
6. Навчально-інформаційний портал ТДАТУ.
<http://nip.tsatu.edu.ua>
<http://nip.tsatu.edu.ua>

ПРАКТИЧНА РОБОТА 4

РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІТРОЕНЕРГОУСТАНОВОК

Мета роботи: засвоєння студентами методики розрахунку основних параметрів вітроенергоустановок.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі “Використання енергії вітру” [1, 2, 3, 4, 5].
2. Відповісти на тестові завдання (тема 2, навчально-інформаційний портал ТДАТУ).
3. Відповісти на контрольні запитання до практичної роботи 4.

Програма роботи

1. Визначити максимальну потужність вітроколеса (ВК).
2. Розрахувати оптимальну швидкохідність для n-лопатевого вітроколеса.
3. Визначити оптимальну частоту обертання вітроколеса.
4. Для заданої швидкості вітру розрахувати основні параметри вітроенергоустановки (ВЕУ) різної потужності: діаметр ВК, оптимальну швидкохідність, частоту обертання і лінійну швидкість кінців лопатей.
5. Отримавши параметри добового споживання електроенергії підприємством, визначити, яку частину споживання може замінити вітроустановка.

Загальні теоретичні відомості

Україна має потужні ресурси вітрової енергії: річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 млрд. кВт·год. В умовах країни за допомогою вітроустановок можна використовувати 15 – 19% річного об’єму енергії вітру, що проходить крізь перетин поверхні вітроколеса. Очікувані обсяги виробництва електроенергії з 1 м² перетину площі вітроколеса в перспективних регіонах складають 800 – 1000 кВт·год /м² на рік [1, с. 14]. Загальна площа, на якій отримання електричної енергії від вітроустановок доцільне, складає 20% всієї площі України. Найсприятливіші регіони для промислового виробництва електроенергії характеризуються середньорічною швидкістю вітру 5 – 5,5 м/с на висоті 10 м над землею поверхнею [1, с. 44]. Така швидкість вітру спостерігається в Одеської, Херсонської, Запорізької, Миколаївської, Луганської областях, у Криму, в районі Карпат. Найбільша швидкість вітру спостерігається на відкритих високогірних станціях в Карпатах і у Криму, на косах і мисах Чорного та Азовського морів.

Основою роботи ротора вітрової електростанції є створення різниці тисків між нижньою і верхньою поверхнею лопатей. Виникає вона завдяки відповідній формі лопаті. Потік повітря, що протікає над верхньою поверхнею лопаті, має довший шлях, ніж потік, що обтікає нижню частину лопаті. Завдяки цьому над верхньою поверхнею виникає область з пониженим тиском, а під нижньою поверхнею лопаті виникає область з підвищеним тиском. Внаслідок

різниці тисків на лопать починає діяти аеродинамічна сила, спрямована у бік меншого тиску (лопать всмоктується в область меншого тиску). Так само виникає «підіймальна сила» крила літака, що дозволяє йому відірватися від землі.

Підключення станції відбувається при швидкості вітру 2 – 6,5 м/с, номінальному режиму роботи відповідає швидкість вітру – 9 – 16 м/с, вітер зі швидкістю 25 м/с спричиняє спрацьовування систем вимикання вітроелектростанції. Поки вітер не досягне номінальної швидкості для даного типу електростанції, стратегія керування полягає у досягненні максимально можливого рівня потужності за наявних умов. Після входу в режим нормальної роботи стратегія направлена на утримання досягнутої потужності на номінальному рівні. Вироблена потужність зростає з підвищенням швидкості вітру (двохразове зростання швидкості вітру дозволяє отримати у 8 разів більшу потужність).

Основні параметри ВЕУ це: потужність установки, діаметр вітроколеса та мінімальна швидкість, при якій ВЕУ починає працювати. Більшість існуючих установок починають працювати при швидкості вітру більше за 5,5 м/с, але сучасні зразки мають цей показник 3,5 та навіть 2,5.

Найбільш розповсюджені вітрогенератори із горизонтальною віссю. У швидкохідних вітрогенераторах із горизонтальною віссю використовують дво- і трилопатеві вітроколеса. Дволопатеві найбільш економічні, але з метою зниження динамічних навантажень більшість ВЕУ мають 3 лопаті. Тихохідні, багатолопатеві колеса (до 20), які розвивають великий крутний момент при невеликому вітрі, використовують для перекачки води та інших цілей, які не потребують високої частоти обертання колеса.

Максимальна потужність вітроколеса (ВК) визначається за формулою

$$P = \frac{C_p A \rho v_0^3}{2}, \quad (4.1)$$

де C_p – коефіцієнт потужності, максимальне теоретичне значення $\approx 0,59$.

ρ – густина повітря кг/м^3 ($\rho \approx 1,2 \text{ кг/м}^3$);

v_0 – швидкість вітру, м/с;

A – площа охоплення вітроколеса, м^2 .

$$A = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (4.2)$$

де D – діаметр вітроколеса, м.

Практично в швидкохідних добре спроектованих ВЕУ C_p досягає 0,4.

Ефективність роботи ВК залежить від коефіцієнта швидкохідності Z , тобто відношення швидкості v_d кінців лопатей ВК до швидкості вітру v_0 .

$$Z = \frac{v_n}{v_0} = \frac{R\omega}{v_0}, \quad (4.3)$$

де R – радіус вітроколеса (ВК), м;
 ω – кутова швидкість ВК, рад/с.

Оптимальна швидкохідність для n – лопатевого ВК наближено визначається як

$$Z_0 \approx \frac{4\pi}{n}, \quad (4.4)$$

де n – кількість лопатей ВК. Чим менше лопатей, тим більше швидкість.

Наприклад, для двохлопатевого вітроколеса $Z_0 = 4\pi/2 \approx 6$; для 4-х лопатевого ВК – C_p максимальний при $Z_0 = 4\pi/4 \approx 3$; для 3-х лопатевого ВК – C_p максимальний при $Z_0 = 4\pi/3 \approx 4$.

Найбільш економічні ВЕУ мають по 2 лопаті, але з метою зниження динамічних навантажень виготовляють швидкохідні ВЕУ з 3 лопатями. Багатолопатеві ВК (тихохідні) містять до 20 лопатей.

Для підтримки оптимальної швидкохідності (Z_0 – оптимальний) ВЕУ виготовляють на певний діапазон швидкостей вітру (v_0 розрахункову і максимальну).

Завдання 1 до практичної роботи

Розрахувати потужність трилопатевої ВЕУ з вітроколесом площею обхвату 1 м^2 при швидкості вітру $v_0 = 12 \text{ м/с}$ та вдвічі меншій, при $C_p = 0,3$; $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Приклад розрахунку 1

За формулою (4.1) знаходимо потужність трилопатевої ВЕУ

$$P = \frac{0,3 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 12^3}{2} = 311 \text{ Вт.}$$

При швидкості вдвічі меншій ($v_0 = 6 \text{ м/с}$) потужність ВЕУ за формулою (4.1) зменшиться у 8 разів

$$P = \frac{0,3 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 6^3}{2} = 39 \text{ Вт.}$$

Завдання 2 до практичної роботи

Розрахувати параметри вітроколеса для ВЕУ потужністю 1 кВт . Умови попередні.

Приклад розрахунку 2

Із формули (4.2) знаходимо діаметр ВК

$$D^2 = \frac{8P}{C_p \pi \rho v_0^3}. \quad (4.5)$$

Для ВЕУ потужністю 1 кВт

$$D^2 = \frac{8 \cdot 1000}{0,3 \cdot 3,14 \cdot 1,2 \cdot 12^3} = 4,09 \text{ м}^2.$$

Тоді

$$D = \sqrt{4,09} = 2,02 \text{ м.}$$

Для ВЕУ будь-якої потужності P (кВт) при заданих умовах ($v_0 = 12$ м/с) можна визначити діаметр D в метрах за формулою

$$D = 2,02\sqrt{P}. \quad (4.6)$$

Визначаємо оптимальну швидкохідність ВК за формулою (4.3)

$$Z_0 = \frac{4 \cdot 3,14}{3} \approx 4.$$

Із формули (4.3) визначаємо оптимальну кутову швидкість ВК

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot Z v_0}{D}, \quad (4.7)$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 4 \cdot 12}{2,02} = 36 \text{ рад/с.}$$

Оптимальна частота обертання ВК дорівнює

$$n_0 = \frac{\omega}{2\pi}, \quad (4.8)$$

$$n_0 = \frac{36}{2 \cdot 3,14} = 6 \text{ с}^{-1}.$$

Визначаємо період обертання вітроколеса

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}, \quad (4.9)$$

$$T = \frac{2 \cdot 3,14}{36} = 0,17 \text{ с.}$$

Лінійна швидкість кінця лопаті визначається за формулою

$$v_n = R\omega_0. \quad (4.10)$$

$$v_n = 1,01 \cdot 36 \approx 36,4 \text{ м/с.}$$

Частина споживання електроенергії за рахунок вітроенергоустановки оцінюється коефіцієнтом заміни

$$K_\epsilon = \frac{W_\epsilon}{W_n}, \quad (4.11)$$

де W_ϵ – добова кількість електроенергії, яку виробляє вітроенергоустановка, кВт·год;

W_n – добове споживання електроенергії підприємством, кВт·год.

Таблиця 4 – Варіанти для виконання самостійної роботи

Варіант	C_p	D_1	D_2	v_{01}	v_{02}	W_n	n
1	0,30	1,0	5,0	5,0	10,0	200	2
2	0,31	1,5	5,5	5,1	10,1	250	3
3	0,32	2,0	6,0	5,2	10,2	300	4
4	0,33	2,5	6,5	5,3	10,3	350	6
5	0,34	3,0	7,0	5,4	10,4	400	2
6	0,35	3,5	7,5	5,5	10,5	450	3
7	0,36	4,0	8,0	5,6	10,6	500	4
8	0,37	4,5	8,5	5,7	10,7	550	6
9	0,38	5,0	9,0	5,8	10,8	600	2
10	0,39	5,5	9,5	5,9	10,9	650	3
11	0,40	6,0	10,0	6,0	11,0	700	4
12	0,30	6,5	10,5	6,1	11,1	750	6
13	0,31	7,0	11,0	6,2	11,2	800	2
14	0,32	7,5	11,5	6,3	11,3	850	3
15	0,33	8,0	12,0	6,4	11,4	900	4
16	0,34	8,5	12,5	6,5	11,5	950	6
17	0,35	9,0	13,0	6,6	11,6	1000	2
18	0,36	9,5	13,5	6,7	11,7	1100	3

Продовження таблиці 4

Варіант	C_p	D_1	D_2	v_{o1}	v_{o2}	$W_{п}$	n
19	0,37	10,0	14,0	6,8	11,8	1200	4
20	0,38	10,5	14,5	6,9	11,9	1300	6
21	0,39	11,0	15,0	7,0	12,0	1400	2
22	0,40	11,5	15,5	7,1	12,1	1500	3
23	0,30	12,0	16,0	7,2	12,2	1600	4
24	0,31	12,5	16,5	7,3	12,3	1700	6
25	0,32	13,0	17,0	7,4	12,4	1800	2

Зміст звіту

1. Тема, мета роботи.
2. Результати розрахунків.
3. Висновки.

Контрольні питання

1. Як визначити максимальну потужність вітроколеса (ВК)?
2. Як визначити оптимальну швидкохідність для n – лопатевого ВК?
3. Як визначити оптимальну кутову швидкість і частоту обертання ВК?
4. Як потужність ВЕУ залежить від швидкості вітру?
5. Як потужність ВЕУ залежить від діаметру ВК?
6. Назвіть основні параметри ВЕУ.
7. Скільки лопатей мають найбільш економічні ВЕУ?
8. Що роблять з метою зниження динамічних навантажень у ВЕУ?
9. Від чого залежить ефективність роботи ВК?
10. Яке максимальне значення має коефіцієнт потужності для ВЕУ?

Список літератури

1. Воронин С. М. Возобновляемые источники энергии в энергосбережении / С. М. Воронин, С. В. Оськин, А. Н. Головкин. – Краснодар: 2006. – 88 с.
2. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний М., В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
3. Оборудование для автономного энергоснабжения сельскохозяйственных объектов: Каталог / Н. П. Мишуков, Т. Н. Кузьмина. – М: Информагротех. – 1988. – 128 с.
4. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл. А. Уэйр. Пер. с англ. – М: Энергоатомиздат, 1990. – 242 с.
5. Навчально-інформаційний портал ТДАТУ.
<http://nip.tsatu.edu.ua>
<http://nip.tsatu.edu.ua/>

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5

РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗЕРНОВИХ ВІДХОДІВ ПІДПРИЄМСТВА

Мета роботи: засвоєння студентами методики розрахунку кількості теплової енергії, отриманої при використанні зернових відходів.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі “Використання енергії біомаси” [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].
2. Відповісти на тестові завдання (тема 4, навчально-інформаційний портал ТДАТУ).
3. Відповісти на контрольні запитання до практичної роботи 5.

Програма роботи

1. Визначити об’єм виробництва зернових культур.
2. Визначити кількість зернових відходів.
3. Визначити доступну кількість відходів.
4. Визначити кількість відходів, що придатні для енергетичного використання.
5. Визначити енергозміст відходів.
6. Визначити еквівалент отриманого природного газу.
7. Визначити площу опалення приміщень за рік.

Загальні теоретичні відомості

Тверде біопаливо від традиційного відрізняється тим, що воно за своєю сутністю практичне нейтральне щодо зростання парникового ефекту. Адже рослини, які вирощуються для його виробництва, забирають вуглекислий газ з атмосфери, а виділяють кисень. Тобто, споживаючи біопаливо, можна зупинити глобальні зміни клімату. Тому з енергетичної, економічної та екологічної точки зору виробництво енергії з біомаси є актуальним напрямком розвитку аграрної сфери.

Спалювання біомаси є найбільш старим та простим способом отримання енергії. У багатьох випадках цей спосіб вважають найбільш економічним. Процес спалювання потребує забезпечення доступу кисню (повітря), кількість якого залежить від маси та властивостей сировини, що спалюється. Процес спалювання проходить три фази: висушування біомаси; термoxiмічний розклад (газифікація та спалювання); перетворення вугілля на попiл.

Подрiбнення біомаси дозволяє поліпшити контакт кисню з паливними компонентами, що сприяє кращому спалюванню. Вологомiсткiсть спалюваної сировини знижує теплоту згорання, впливаючи на теплоефективність процесу спалювання.

Солома – цінний агропромисловий ресурс. Там, де вирощують зернові культури, найбільш доступним паливом є солома. Вона характеризується такими визначеннями:

- солома це нейтральний вид палива, тому є екологічно чистим джерелом енергії;
- солома є місцевим видом палива, достатньо поширеним в сільськогосподарських районах;
- солома – побічний продукт виробництва зерна, тому є відносно дешевим видом палива, порівняно з традиційним паливом.

У середньому в Україні кожен рік соломи утримують 25 млн тонн. за енергетичними показниками 1 кг соломи замінює 0,3 – 0,4 м³ природного газу, а її вартість у 12 – 14 разів менше [4, с. 96].

Сільськогосподарська біомаса, що використовується як паливо, має ряд особливостей, які відрізняють її від традиційних енергоносіїв, що використовуються як паливо. Найбільш важливою паливно-технологічною характеристикою біомаси, яку використовують як тверде біопаливо, є її теплотворна здатність. Вона залежить від генетичних особливостей енергетичних рослин, впливу навколишнього середовища, умов зберігання, вологості тощо. Використання соломи як палива передує її збирання, висушування та зберігання. Важливою характеристикою даної біомаси є її щільність. Звичайно, сухі біологічні матеріали мають щільність у 4 – 5 разів нижче за вугілля.

Технологія збирання соломи дозволяють пресувати її в малі, середні і великі паки циліндричної і прямокутної форми.

Системи опалення та гарячого водопостачання з використанням соломи як палива не відрізняються від традиційних систем за конструктивними виконаннями та розміщенням. Основною особливістю цієї системи є соломоспалювальний котел.

Результати розробки проблем енергетичного використання біопалив з рослинної маси втілилися у створенні покоління опалювальних пристроїв, які мають при оптимальному режимі роботи коефіцієнт корисної дії 85 – 90% [3, с. 189].

Завдання до практичної роботи

Визначити кількість теплової енергії, отриманої при використанні зернових відходів.

Приклад розрахунку

Об'єм виробництва кожної культури визначається по формулі

$$V_k = q_k S_k, \quad (5.1)$$

де q_k – врожайність культури, т/га;

S_k – площа, яку займає культура, га.

$$V_{k1} = 1,8 \cdot 500 = 900 \text{ т};$$

$$V_{k2} = 2,0 \cdot 90 = 180 \text{ т};$$

$$V_{\kappa 3} = 1,2 \cdot 200 = 240 \text{ т};$$

$$V_{\kappa 4} = 1,8 \cdot 60 = 108 \text{ т};$$

$$V_{\kappa 5} = 3,0 \cdot 60 = 180 \text{ т};$$

$$V_{\kappa 6} = 1,8 \cdot 200 = 360 \text{ т}.$$

Кількість відходів кожної культури визначається по формулі

$$V_{\epsilon} = V_{\kappa} K_{\epsilon}, \quad (5.2)$$

де K_{ϵ} – коефіцієнт відходів [5, с. 264].

$$V_{\epsilon 1} = 900 \cdot 2,53 = 2277 \text{ т};$$

$$V_{\epsilon 2} = 180 \cdot 2,51 = 452 \text{ т};$$

$$V_{\epsilon 3} = 240 \cdot 2,50 = 600 \text{ т};$$

$$V_{\epsilon 4} = 108 \cdot 3,01 = 325 \text{ т};$$

$$V_{\epsilon 5} = 180 \cdot 1,10 = 198 \text{ т};$$

$$V_{\epsilon 6} = 360 \cdot 1,05 = 378 \text{ т}.$$

Доступна кількість відходів кожної культури визначається по формулі

$$V_{\delta \epsilon} = V_{\epsilon} K_{\delta \epsilon}, \quad (5.3)$$

де $K_{\delta \epsilon}$ – коефіцієнт доступності відходів [5, с. 264].

$$V_{\delta \epsilon 1} = 2277 \cdot 0,85 = 1935 \text{ т};$$

$$V_{\delta \epsilon 2} = 425 \cdot 0,85 = 361 \text{ т};$$

$$V_{\delta \epsilon 3} = 600 \cdot 0,85 = 510 \text{ т};$$

$$V_{\delta \epsilon 4} = 325 \cdot 0,85 = 276 \text{ т};$$

$$V_{\delta \epsilon 5} = 198 \cdot 0,90 = 178 \text{ т};$$

$$V_{\delta \epsilon 6} = 378 \cdot 0,88 = 333 \text{ т}.$$

Кількість відходів, придатних для енергетичного використання, визначається по формулі

$$V_{нв} = V_{дв} K_{нв}, \quad (5.4)$$

де $K_{нв}$ – коефіцієнт використання відходів для технологічних потреб [5, с. 264].

$$V_{нв1} = 1935 \cdot 0,99 = 1916 \text{ т};$$

$$V_{нв2} = 361 \cdot 0,99 = 357 \text{ т};$$

$$V_{нв3} = 510 \cdot 0,99 = 505 \text{ т};$$

$$V_{нв4} = 276 \cdot 0,75 = 207 \text{ т};$$

$$V_{нв5} = 178 \cdot 0,45 = 80 \text{ т};$$

$$V_{нв6} = 333 \cdot 0,43 = 143 \text{ т}.$$

Загальна кількість відходів підприємства, придатних для технологічних потреб, визначається по формулі

$$\sum V_{нв} = V_{нв1} + V_{нв2} + V_{нв3} + V_{нв4} + V_{нв5} + V_{нв6}, \quad (5.5)$$

$$\sum V_{нв} = 1916 + 357 + 505 + 207 + 80 + 143 = 3208 \text{ т}.$$

Таблиця 5.1 – Показники для визначення рослинних відходів [5, с. 263].

Сировина	Коефіцієнт		
	відходів	доступності відходів	використання відходів для технологічних потреб
Пшениця	2,53	0,85	0,99
Горох	2,51	0,85	0,99
Ячмінь	2,50	0,85	0,99
Овес	3,01	0,85	0,75
Кукурудза	1,10	0,90	0,45
Соняшник	1,05	0,88	0,43

Загальна кількість теплової енергії, отриманої при спалюванні всіх зернових відходів підприємства, визначається по формулі

$$Q_{зв} = \sum V_{нв} T_{зв}, \quad (5.6)$$

де $T_{зв}$ – теплота згорання зернових відходів (0,016 МДж/т) [5, с. 263].

$$Q_{зв} = 3208 \cdot 16000 = 51328000 \text{ МДж.}$$

Тепловий еквівалент використання природного газу визначається по формулі

$$Q_{нз} = Q_{зв} K_n, \quad (5.7)$$

де K_n – коефіцієнт переводу (приймаємо 0,45) [5, с. 263].

$$Q_{нз} = 51328000 \cdot 0,45 = 23097600 \text{ м}^3.$$

Об'єм природного газу, який необхідно мати для отримання відповідної кількості теплоти, визначається по формулі

$$V_{нз} = \frac{Q_{нз}}{T_{зв}}, \quad (5.8)$$

де $T_{зв}$ – теплота згорання природного газу (35,6 МДж/м³) [5, с. 264].

$$V_{нз} = \frac{51328000}{35,2} = 1441790 \text{ м}^3.$$

Загальну площу приміщень, яку можна обігрівати протягом року при використанні зернових відходів, визначаємо по формулі

$$S_з = \frac{V_{нз}}{V_з}, \quad (5.9)$$

де $V_з$ – об'єм природного газу, потрібний для обігріву 1м² площі приміщень протягом року (25 м³) [5, с. 264].

$$S_з = \frac{1441790}{25} = 57672 \text{ м}^2.$$

Таблиця 5.2 – Варіанти для виконання самостійної роботи

Варіант	S ₁	q ₁	S ₂	q ₂	S ₃	q ₃	S ₄	q ₄	S ₅	q ₅	S ₆	q ₆
1	295	2,0	50	2,2	190	2,6	120	1,1	130	3,3	55	1,5
2	290	1,9	55	2,6	200	2,9	140	1,2	130	3,2	65	1,9
3	285	1,8	60	2,7	175	2,4	155	1,5	155	4,0	40	1,6
4	280	1,7	65	2,4	165	2,1	130	1,3	165	2,9	35	1,8

Продовження таблиці 5.2

Вариант	S ₁	q ₁	S ₂	q ₂	S ₃	q ₃	S ₄	q ₄	S ₅	q ₅	S ₆	q ₆
5	275	1,6	70	2,9	175	2,2	165	1,4	175	3,4	70	1,7
6	270	1,5	75	2,5	180	2,7	130	1,2	190	4,1	65	1,6
7	290	1,3	75	2,5	190	2,7	130	1,2	190	3,4	70	1,7
8	225	1,7	55	2,9	180	2,9	110	1,9	180	3,5	40	1,9
9	235	1,6	45	2,3	140	2,6	120	1,8	170	3,6	50	1,8
10	245	1,4	95	2,5	130	2,8	130	1,7	160	3,8	60	1,7
11	255	1,5	85	2,7	170	2,3	140	1,6	150	3,2	70	1,6
12	265	1,6	75	2,2	150	2,5	150	1,5	140	3,5	80	1,5
13	285	1,9	65	2,4	110	2,4	160	1,4	130	3,3	90	1,4
14	275	1,8	45	2,3	140	2,6	170	1,3	120	3,1	80	1,7
15	290	1,7	75	2,2	120	2,7	180	1,2	110	3,4	70	1,6
16	290	1,6	55	2,6	110	2,9	190	1,1	100	3,2	60	1,9
17	280	1,5	25	2,3	140	2,8	130	1,0	190	3,3	50	1,8
18	270	1,4	15	2,5	170	2,7	180	1,2	180	3,5	40	1,7
19	260	1,2	75	2,2	130	2,1	160	1,3	170	3,0	30	1,2
20	250	1,4	55	2,1	190	2,3	170	1,4	160	3,1	70	1,4
21	240	1,3	55	2,0	130	2,2	150	1,6	150	3,2	60	1,3
22	230	1,1	85	2,9	140	2,3	130	1,5	190	3,3	80	1,6
23	220	1,2	95	2,6	150	2,4	140	1,3	180	3,4	90	1,4
24	210	1,7	70	2,7	170	2,7	120	1,7	160	3,5	40	1,6
25	200	1,6	75	2,5	180	2,5	180	1,5	140	3,0	20	1,8

Зміст звіту

1. Тема, мета роботи.
2. Результати розрахунків.
3. Висновки.

Контрольні питання

1. Чим відрізняється тверде біопаливо від традиційних видів палива?
2. Які фази проходить процес спалювання?
3. Дайте визначення соломи як виду палива.
4. Яка найбільш важлива паливно-технологічна характеристика біомаси?
5. Від яких чинників залежить теплотворна здатність твердого біопалива?
6. В якому вигляді зберігають тверде біопаливо?
7. Який к.к.д. мають сучасні соломоспалювальні котли?

Список літератури

1. Кирюшатов А. И. Использование нетрадиционных возобновляющихся источников энергии в сельскохозяйственном производстве / А. И. Кирюшатов. – М: Агропромиздат, 1991. – 94 с.

2. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний М., В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
3. Кюрчев В. М. Біопаливо / В. М. Кюрчев, В. А. Дідур, Л. І. Грачова. – К: Аграрна освіта, 2012. – 416 с.
4. Кравчук В. І. Технології та обладнання для використання поновлювальних джерел в сільськогосподарському виробництві / В. І. Кравчук, В. О. Дубровіна. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Погорілого. – 2010. – 184 с.
5. Мхитарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников / Н. М. Мхитарян. – К: Наукова думка, 1999. – 266 с.
6. Титко Р. Відновлювальні джерела енергії / Р. Титко, В. Калініченко – Варшава – Краків – Полтава, 2010. – 656 с.
7. Навчально-інформаційний портал ТДАТУ.
<http://nip.tsatu.edu.ua><http://nip.tsatu.edu.ua/>

ПРАКТИЧНА РОБОТА 6

РОЗРАХУНОК ПОТЕНЦІАЛУ ПЕРЕРОБКИ ОВОЧЕВИХ ВІДХОДІВ ПІДПРИЄМСТВА НА БІОГАЗ

Мета роботи: засвоєння студентами методики розрахунку кількості біогазу, отриманого при переробці овочевих відходів.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі “Використання енергії біомаси” [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].
2. Відповісти на тестові завдання (тема 4, навчально-інформаційний портал ТДАТУ).
3. Відповісти на контрольні запитання до практичної роботи 6.

Програма роботи

1. Визначити об’єм виробництва овочевих культур.
2. Визначити кількість овочевих відходів.
3. Визначити доступну кількість відходів.
4. Визначити кількість відходів, що придатні для енергетичного використання.
5. Визначити енергозміст відходів.
6. Визначити еквівалент отриманого природного газу.
7. Визначити площу опалення приміщень за рік.

Загальні теоретичні відомості

Біогаз – це суміш газів, яка містить метан (CH_4), вуглекислий газ (CO_2), сірководень (H_2S) та певні інші компоненти. Найбільш розповсюджений спосіб отримання біогазу – анаеробне (без доступу кисню) зброджування органічної маси. Процес протікає при участі різноманітних мікроорганізмів та в певній послідовності. На першому етапі анаеробного зброджування органічних речовин шляхом біохімічного розчеплення (гідролізу) високомолекулярні з’єднання (вуглеводи, жири, білкові речовини) розкладаються на низькомолекулярні. На другому етапі при участі кислотостворюючих бактерій відбувається подальше розкладання із створенням органічних кислот та солей, спиртів, вуглекислого газу та водню, а потім сірководню та аміаку. На третьому етапі органічні речовини перетворюються у вуглекислий газ та метан (метанове зброджування). В подальшому із CO_2 та H_2 створюється додаткова кількість метану та води.

Швидкість анаеробного зброджування залежить від їх метаболічної активності, на яку впливає температура. Мінімальна температура, при якій відбувається процес зброджування субстрату, складає 5 – 8 °С. Розвиток мезофільної бактеріальної флори у біогазовій установці (БГУ) найбільш активно протікає при температурі 30 – 35 °С, розвиток термофільної бактеріальної флори – при температурі 50 – 60 °С. Дуже важливий параметр БГУ – це тривалість процесу зброджування, від якого залежить кількість отриманого

біогазу. Для зброджування рослинних відходів з високим вмістом з'єднань вуглецю, здатних до розкладання, необхідно додавати речовини, що багаті на азот. Активність мікробної реакції в значній мірі залежить від співвідношення вуглецю та азоту. Найбільш активно ця реакція спостерігається при показнику C/N як 10/16 [1, с. 40] .

Кількість біогазу, що може бути виділена при оптимальних умовах зброджування, залежить від складу субстрату. Вихід газу при температурі процесу 30 – 35 °С знаходиться в межах 0,4 – 0,8 м³ на 1 кг внесеної органічної маси. З 1 т пташиного посліду можна отримати до 100 м³ біогазу [1, с. 41].

Теплотворна здатність біогазу, який містить 60 – 70% метану, складає 22 – 25 МДж/м³. 1м³ його еквівалентно 0,7 – 0,8 кг умовного палива. К.к.д. перетворення енергії органічних речовин у біогаз 80 – 90%. При отриманні електричного струму за допомогою генератора, що приводить в дію газовий двигун, підтримується співвідношення: 1м³ біогазу “дає” 1,6 кВт·год електроенергії [1, с. 41].

Приклади використання біогазу:

- виробництво електроенергії за допомогою генераторів з приводом від двигуна внутрішнього згорання або газотурбінних генераторів;
- виробництво теплової енергії в пристосованих газових котлах;
- виробництво електро- і теплоенергії в когенераційних установках;
- постачання газу до газової мережі;
- використання газу як палива для тракторних та автомобільних двигунів;
- використання газу в технологічних процесах, наприклад, у виробництві метанолу.

Важливо, що виробництво біогазу проходить у процесі їх утилізації. Це зменшує техногенне навантаження на навколишнє середовище. Попутнім продуктом виробництва біогазу є органічні добрива.

Завдання до практичної роботи

Розрахувати кількість біогазу, отриманого при переробці овочевих відходів.

Приклад розрахунку

Об'єм виробництва кожної культури визначається по формулі

$$V_{\kappa} = q_{\kappa} S_{\kappa}, \quad (6.1)$$

де q_{κ} – врожайність культури, т/га;

S_{κ} , – площа, яку займає культура, га.

$$V_{\kappa 1} = 7,4 \cdot 65 = 481 \text{ т};$$

$$V_{\kappa 2} = 8,4 \cdot 75 = 630 \text{ т};$$

$$V_{\kappa 3} = 5,2 \cdot 90 = 468 \text{ т};$$

$$V_{\kappa 4} = 9,2 \cdot 40 = 368 \text{ т};$$

$$V_{\kappa 5} = 5,3 \cdot 160 = 848 \text{ т};$$

$$V_{\kappa 6} = 3,4 \cdot 205 = 697 \text{ т}.$$

Кількість відходів кожної культури визначається по формулі

$$V_{\varepsilon} = V_{\kappa} K_{\varepsilon}, \quad (6.2)$$

де K_{ε} – коефіцієнт відходів [5, с. 264].

$$V_{\varepsilon 1} = 481 \cdot 1,3 = 625 \text{ т};$$

$$V_{\varepsilon 2} = 630 \cdot 1,4 = 882 \text{ т};$$

$$V_{\varepsilon 3} = 468 \cdot 1,4 = 655 \text{ т};$$

$$V_{\varepsilon 4} = 368 \cdot 1,5 = 552 \text{ т};$$

$$V_{\varepsilon 5} = 848 \cdot 0,52 = 441 \text{ т};$$

$$V_{\varepsilon 6} = 697 \cdot 1,1 = 767 \text{ т}.$$

Доступна кількість відходів кожної культури визначається по формулі

$$V_{\partial \varepsilon} = V_{\varepsilon} K_{\partial \varepsilon}, \quad (6.3)$$

де $K_{\partial \varepsilon}$ – коефіцієнт доступності відходів [5, с. 264].

$$V_{\partial \varepsilon 1} = 625 \cdot 0,95 = 594 \text{ т};$$

$$V_{\partial \varepsilon 2} = 882 \cdot 0,95 = 838 \text{ т};$$

$$V_{\partial \varepsilon 3} = 655 \cdot 0,90 = 590 \text{ т};$$

$$V_{\partial \varepsilon 4} = 552 \cdot 0,95 = 524 \text{ т};$$

$$V_{\partial \varepsilon 5} = 441 \cdot 0,90 = 397 \text{ т};$$

$$V_{\partial \varepsilon 6} = 767 \cdot 0,90 = 690 \text{ т}.$$

Кількість відходів, придатних для енергетичного використання, визначається по формулі

$$V_{нв} = V_{об} K_{нв}, \quad (6.4)$$

де $K_{нв}$ – коефіцієнт використання відходів для технологічних потреб [5, с. 264].

$$V_{нв1} = 594 \cdot 1,0 = 594 \text{ т};$$

$$V_{нв2} = 838 \cdot 1,0 = 838 \text{ т};$$

$$V_{нв3} = 590 \cdot 1,0 = 590 \text{ т};$$

$$V_{нв4} = 524 \cdot 1,0 = 524 \text{ т};$$

$$V_{нв5} = 397 \cdot 1,0 = 397 \text{ т};$$

$$V_{нв6} = 690 \cdot 0,45 = 311 \text{ т}.$$

Об'єм біогазу, отриманий при переробці овочевих відходів визначається по формулі

$$Q_{бг} = V_{нв} q_{бг}, \quad (6.5)$$

де $q_{бг}$ – вихід біогазу для кожної культури ($\text{м}^3/\text{т}$) [5, с. 265].

$$Q_{бг1} = 594 \cdot 100 = 59400 \text{ м}^3;$$

$$Q_{бг2} = 838 \cdot 106 = 88828 \text{ м}^3;$$

$$Q_{бг3} = 590 \cdot 112 = 66080 \text{ м}^3;$$

$$Q_{бг4} = 524 \cdot 128 = 67072 \text{ м}^3;$$

$$Q_{бг5} = 397 \cdot 111 = 44067 \text{ м}^3;$$

$$Q_{бг6} = 311 \cdot 202 = 62822 \text{ м}^3.$$

Загальний об'єм біогазу, отриманий при переробці овочевих відходів підприємства, визначається по формулі

$$\sum Q_{бг} = Q_{бг1} + Q_{бг2} + Q_{бг3} + Q_{бг4} + Q_{бг5} + Q_{бг6}, \quad (6.6)$$

$$\sum Q_{бг} = 59400 + 88828 + 66080 + 67072 + 44067 + 62822 = 388269 \text{ м}^3.$$

Загальну площу приміщень, яку можна обігрівати протягом року при використанні отриманого біогазу, визначаємо по формулі

$$S_3 = \frac{\sum Q_{62}}{V_S}, \quad (6.7)$$

де V_S – об’єм біогазу, потрібний для обігріву 1 м^2 площі приміщень протягом року (приймаємо 45 м^3) [5, с. 268].

$$S_3 = \frac{388269}{45} = 8629\text{ м}^2.$$

Таблиця 6.1 – Показники для визначення рослинних відходів [5, с. 264].

Сировина	Коефіцієнт			
	відходів	доступності відходів	використання відходів для технологічних потреб	вихід біогазу, $\text{м}^3/\text{т}$
Огірки	1,30	0,95	1,00	100
Томат	1,40	0,95	1,00	106
Картопля	1,40	0,90	1,00	112
Трави	1,50	0,95	1,00	128
Цукровий буряк	0,52	0,90	1,00	111
Кукурудза	1,10	0,90	0,45	202

Таблиця 6.2 – Варіанти для виконання самостійної роботи

Варіант	S_1	q_1	S_2	q_2	S_3	q_3	S_4	q_4	S_5	q_5	S_6	q_6
1	95	6,0	50	4,2	90	12,6	120	6,1	30	6,3	55	5,5
2	90	4,9	55	4,6	100	12,9	140	5,2	70	5,2	65	4,9
3	85	3,8	45	4,7	75	12,4	155	4,5	55	3,0	40	3,6
4	80	5,7	95	4,4	65	12,1	130	7,3	65	5,9	35	2,8
5	75	4,6	85	3,9	75	12,2	165	6,4	75	4,4	70	5,7
6	70	6,5	75	3,5	80	12,7	130	8,2	90	4,1	65	4,6
7	35	3,9	55	6,2	65	14,6	120	5,1	30	5,3	55	5,5
8	45	5,2	50	3,6	55	13,9	140	4,2	70	3,2	65	4,9
9	55	4,7	60	4,7	45	14,4	155	3,5	55	4,0	40	3,6
10	65	6,0	45	4,4	90	15,1	130	6,3	65	2,9	35	7,8
11	85	4,9	95	2,9	45	15,2	165	5,4	75	3,4	70	5,7
12	75	3,8	85	5,5	95	13,7	130	8,2	90	4,1	65	5,6
13	90	5,7	75	4,4	75	15,5	155	7,1	55	5,5	50	5,1
14	90	4,6	65	3,8	85	15,9	135	6,5	65	4,8	60	4,8
15	55	6,5	45	6,1	60	14,8	145	5,4	75	5,2	90	7,0
16	90	5,3	75	4,5	90	12,7	130	6,2	90	3,4	70	5,7
17	25	6,7	55	3,9	80	12,9	110	5,9	80	3,5	40	4,9

Продовження таблиці 6.2

Варіант	S ₁	q ₁	S ₂	q ₂	S ₃	q ₃	S ₄	q ₄	S ₅	q ₅	S ₆	q ₆
18	35	5,6	45	5,3	40	12,6	120	4,8	70	4,6	50	5,8
19	45	4,4	95	5,5	30	12,8	130	5,7	60	3,8	60	3,7
20	55	6,5	85	4,7	70	12,3	140	4,6	50	3,2	70	4,6
21	65	3,6	75	6,2	50	12,5	150	7,5	40	5,5	80	4,5
22	85	4,9	65	5,4	10	12,4	160	5,4	30	3,3	90	6,4
23	75	3,8	45	6,3	40	12,6	170	8,3	20	4,1	80	3,7
24	90	4,7	75	5,2	20	12,7	180	6,2	10	3,4	70	4,6
25	95	5,6	55	3,6	10	12,9	190	5,1	90	5,2	60	5,9

Зміст звіту

1. Тема, мета роботи.
2. Результати розрахунків.
3. Висновки.

Контрольні питання

1. Які складові біогазу?
2. Який найбільш розповсюджений спосіб отримання біогазу?
3. Які етапи проходить процес анаеробного зброджування?
4. Від яких чинників залежить швидкість процесу зброджування?
5. Яка теплотворна здатність біогазу?
6. Яка область використання біогазу?
7. Що є попутним продуктом виробництва біогазу?

Список літератури

1. Кирюшатов А. И. Использование нетрадиционных возобновляющихся источников энергии в сельскохозяйственном производстве / А. И. Кирюшатов. – М: Агропромиздат, 1991. – 94 с.
2. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний М., В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
3. Кюрчев В. М. Біопаливо / В. М. Кюрчев, В. А. Дідур, Л. І. Грачова. – К: Аграрна освіта, 2012. – 416 с.
4. Кравчук В. І. Технології та обладнання для використання поновлювальних джерел в сільськогосподарському виробництві / В. І. Кравчук, В. О. Дубровіна. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Погорілого. – 2010. – 184 с.
5. Мхитарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников / Н. М. Мхитарян. – К: Наукова думка, 1999. – 266 с.
6. Титко Р. Відновлювальні джерела енергії / Р. Титко, В. Калініченко – Варшава – Краків – Полтава, 2010. – 656 с.
7. Навчально-інформаційний портал ТДАТУ.
<http://nip.tsatu.edu.ua>
<http://nip.tsatu.edu.ua>

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 7

РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ БІНАРНОГО ТИПУ

Мета роботи: засвоєння студентами методики розрахунку кількості теплової енергії, отриманої при використанні геотермальної електростанції.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал по темі “Геотермальна енергія” [1, 2, 3, 4].
2. Відповісти на тестові завдання (тема 5, навчально-інформаційний портал ТДАТУ).
3. Відповісти на контрольні запитання до практичної роботи 7.

Програма роботи

1. Визначити електричну потужність турбіни, що працює на хладоні.
2. Визначити втрати робочих тіл на обидві турбіни.
3. Визначити витрату геотермальної води зі свердловини.
4. Визначити потужність насосу для закачування геотермальної води у свердловину.
5. Визначити електричну потужність геоТЕС.
6. Визначити к.к.д. геоТЕС.

Загальні теоретичні відомості

Геотермальна енергія – це енергія земних надр, яка знаходиться в твердих породах Землі і підземних водах. Тепло в земних надрах є частково первинним теплом, що виникло в процесі формування нашої планети, і частково - теплом, що походить з розпаду радіоактивних елементів.

Під земною корою знаходиться шар розтоплених і гарячих порід, що називають магмою. Час від часу гаряча магма піднімається на поверхню у вигляді лави. Магма, температура якої сягає до 1400°C, обігріває оточуючі породи воду, що в них міститься. Кількість тепла, накопичена в земних надрах, дуже велика і складає близько 35 ТВт на 10 км, що в 50 000 разів перевищує кількість тепла, накопичену у всіх родовищах природного газу у світі [2, с. 664].

Дощова вода проникає вглиб Землі, де обігрівається її теплом. У деяких місцевостях джерела з теплою, гарячою водою і паром знаходяться настільки близько до поверхні Землі (до 3 км), що можуть видобуватися за допомогою буріння. Частина теплої води через розколи (структури, що виникають у результаті руху порід) і щілини потрапляє на поверхню Землі у вигляді джерел або гейзерів. Але більшість води знаходиться глибоко під землею в щілинах і порах твердих порід.

Джерела геотермальної енергії поділяються за фізичним станом носія тепла, а також за значенням температури на наступні групи:

- ґрунти і породи до глибини 2500 м, з яких тепло для опалення з використанням теплових насосів одержується за допомогою спеціальних теплових зондів;
- ґрунтові води, то безпосередньо застосовуються як джерело тепла для теплових насосів;
- водяна пара, отримувана за допомогою свердловин, які подають воду, що знаходить застосування в геотермальних електростанціях для виробництва електроенергії;
- соляні поклади, енергія з яких проводиться за допомогою розсолу або інертних по відношенню до солі рідин, головним чином, вуглеводів, наприклад, ізобутану;
- гарячі породи, з яких енергія отримується за допомогою води, що під високим тиском циркулює через систему штучних або природних тріщин у комплексах порід на значній глибині.

Основними показниками придатності геотермальних джерел для використання є їх природна температура, згідно з якої вони поділяються на низькотермальні (40 – 70 °С), середньотермальні (70 – 100 °С) та високотермальні (100 – 150 °С).

Найперспективнішим для видобутку високопотенційних енергоресурсів є Карпатський геотермічний район, який характеризується високим геотермічним градієнтом і відповідно високими температурами гірських порід порівняно з іншими регіонами України. Температура порід в свердловинах, пробурених в Карпатах, на глибині 4 км сягає +210 °С, на глибинах до 6 км температура гірських порід в районі досягає +275 °С [2, с. 665].

Завдання до практичної роботи

Геотермальна електростанція складається з двох турбін:

- перша – працює на насиченій водяній парі, яка отримана в розширювачі. Електрична потужність - $N_e^{пт} = 2,5$ МВт;
- друга – працює на насиченій парі хладону – R11, яка випарюється за рахунок тепла води, що відводиться з розширювача.

Вода з геотермальних свердловин с тиском $p_{гв} = 21$ МПа температурою $t_{гв} = 150^\circ\text{C}$ поступає в розширювач. В розширювачі утворюється суха насичена пара з тиском $p_p = 0,20$ МПа. Ця пара направляється в парову турбіну. Вода, що залишилася, з розширювача йде до випаровувача, де охолоджується на $\Delta t_g^e = 42^\circ\text{C}$ та закачується назад у свердловину. Температурний напір у випарювальній установці $\delta_{н} = 20^\circ\text{C}$. Робочі тіла розширюються в турбінах та надходять до конденсаторів, де охолоджуються водою з річки з температурою $t_{хв} = 6^\circ\text{C}$. Нагрівання води в конденсаторі $\Delta t_g = 10^\circ\text{C}$, а недогрівання до температури насичення $\delta_{к} = 5^\circ\text{C}$.

Відносні внутрішні к.к.д. турбін $\eta_{oi}^{пт} = \eta_{oi}^{хт} = 0,8$. Електромеханічний к.к.д. турбогенераторів $\eta_{emi} = 0,95$.

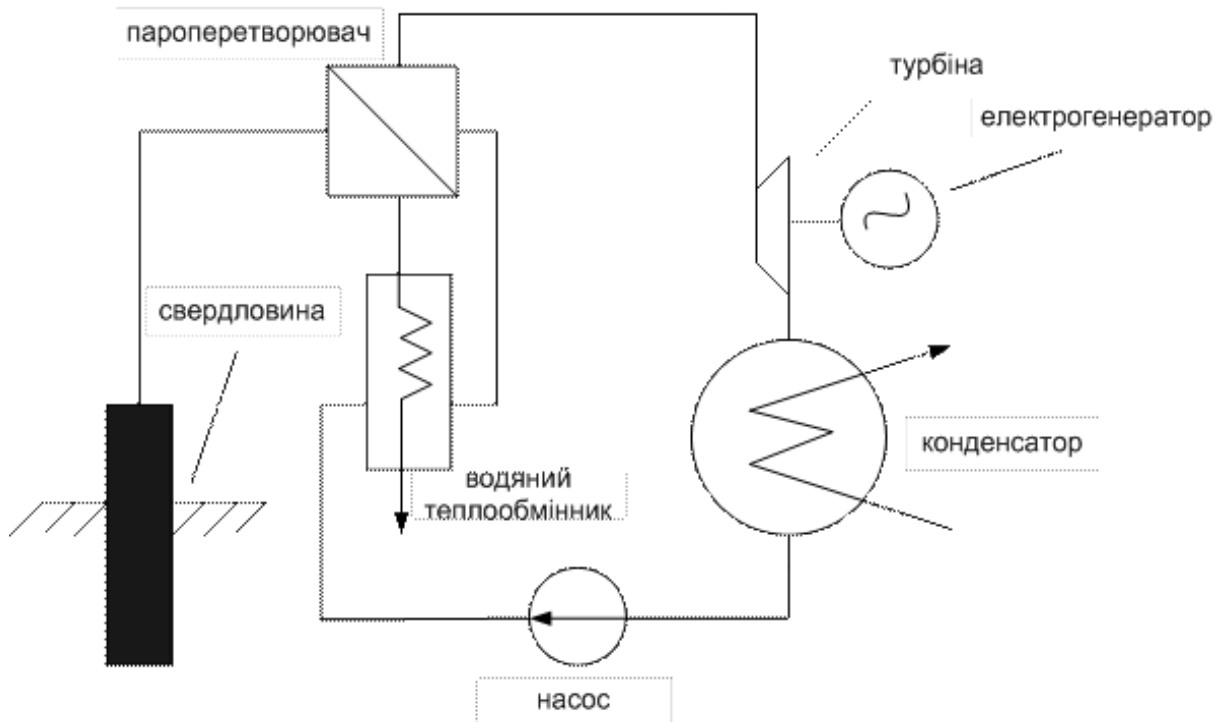


Рисунок 7 – Принципова схема геотермальної станції бінарного типу

Визначити:

- електричну потужність турбіни, що працює на хладоні – N_e^{xt} та сумарну потужність ГеоТЕС з урахуванням затрат енергії на насос, що закачує геотермальну воду в свердловину;
- витрати робочих тіл на обидві турбіни;
- витрату геотермальної води зі свердловини;
- к.к.д. ГеоТЕС.

Приклад розрахунку

Температура пари на вході до конденсатору турбіни

$$t_k^{nm} = t_{xb} + \Delta t_b + \delta t_k, \quad (7.1)$$

де t_{xb} – температура охолоджуючої води на вході конденсатора, °С;

Δt_b – нагрівання води в конденсаторі, °С;

δt_k – температурний напір в конденсаторі, °С.

$$t_k^{nm} = 6 + 10 + 5 = 21 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тиск пари в конденсаторі турбіни визначаємо за табличними властивостями води та водяної пари

$$p_k = f(t_k^{nm}). \quad (7.2)$$

Приймаємо $p_k = 3 \text{ кПа} (\approx 0,3 \text{ бар})$.

Найвищий теплоперепад на турбіну

$$H_0^{nm} = h_0^{nm} - h_{kt}^{nm}, \quad (7.3)$$

де h_0^{nm} – ентальпія сухої насиченої пари на вході в турбіну, кДж/кг (визначаємо за таблицями властивостей води та водяної пари як ентальпія сухої насиченої пари: $h_0^{nt} = f(p_p)$);

h_{kt}^{nm} – ентальпія в кінці теоретичного процесу розширення пари в турбіні, кДж/кг (визначаємо за h–s діаграмою води та водяної пари: $h_{kt}^{nt} = f(p_k, s_0)$), в даному випадку p_k – тиск пари в конденсаторі, s_0 – ентропія в початковій точці процесу розширення.

$$H_0^{nm} = 2553,7 - 245,8 = 2127,9 \text{ кДж/кг}.$$

Витрата пари з розширювача на парову турбіну

$$D_0^{nm} = \frac{N_e^{nm}}{H_0^{nm} \cdot \eta_{0i}^{nm} \cdot \eta_{em}}, \quad (7.4)$$

де η_{0i}^{nm} – відносний внутрішній к.к.д. парової турбіни;

η_{em} – електромеханічний к.к.д. турбогенераторів.

$$D_0^{nm} = \frac{2,5 \cdot 10^6}{2127,9 \cdot 10^3 \cdot 0,8 \cdot 0,95} = 1,54 \text{ кг/с}.$$

Розрахунок розширювача геотермальної води.

Рівняння теплового балансу розширювача

$$G_{z6} \cdot h_{z6} = D_0^{nm} \cdot h_0^{nm} + G_g \cdot h_{z6}^{6ux.p}, \quad (7.5)$$

де G_{z6} – витрата геотермальної води зі свердловини, кг/с;

h_{2g} – ентальпія геотермальної води, кДж/кг, зі свердловини:
 $h_{гв} = f(p_{гв}, t_{гв})$;

G_g – витрата води з розширювача у випарювач, кг/с;

$h_{2g}^{6ux.p}$ – ентальпія геотермальної води, кДж/кг, на виході з розширювача (визначаємо таблиць властивостей води та водяної пари як ентальпія киплячої води: $h_{2g}^{6ux.p} = f(p_p)$).

$$G_{2g} \cdot 350 = 1,54 \cdot 2553,7 + G_g \cdot 945,3;$$

$$G_{2g} = \frac{1,54 \cdot 2553,7 + G_g \cdot 945,3}{350};$$

$$G_{2g} = 11,23 + 2,7 \cdot G_g.$$

Рівняння матеріального балансу розширювача

$$G_{2g} = D_0^{nm} + G_g; \quad (7.6)$$

$$11,23 + 2,7 \cdot G_g = 1,54 + G_g;$$

$$2,7 \cdot G_g = 9,69.$$

Розв'язуючи одночасно ці два рівняння визначаємо G_{2g} та G_g .

$$G_g = 3,588 \text{ кг/с};$$

$$G_{2g} = 11,23 + 2,7 \cdot 3,588 = 20,9 \text{ кг/с};$$

$$20,9 \cdot 350 = 1,54 \cdot 2553,7 + 3,58 \cdot 945,3;$$

$$7315 = 7315.$$

Температуру геотермальної води на виході з розширювача визначаємо з таблиць властивостей води та водяної пари як температура насичення при тиску в розширювачі

$$t_{2g}^{6ux.p} = f(p_p), \quad (7.7)$$

$$t_{2g}^{6ux.p} = 129,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Визначення параметрів у характерних точках теплової схеми турбіни, що працює на хладоні.

Температура парів хладону на вході до турбіни

$$t_0^{xm} = t_{26}^{eux.p} - \delta t_6, \quad (7.8)$$

$$t_0^{xm} = 129,6 - 20 = 109,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура парів хладону на виході з турбіни

$$t_k^{xm} = t_{x6} + \Delta t_6 + \delta t_k, \quad (7.9)$$

$$t_k^{xm} = 6 + 10 + 5 = 21 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Ентальпію парів хладону на вході до турбіни визначаємо за $p-h$ діаграмою для хладону на лінії насичення при t_0^{xt}

$$h_k^{xm} = f(t_0^{xm}), \quad (7.10)$$

$$h_k^{xm} = 295 \text{ кДж/кг}.$$

Ентальпію парів хладону на виході з турбіни визначаємо за $p-h$ діаграмою для хладону на перетині лінії $s_0^{xt} = \text{const}$ та лінії температури t_k^{xt}

$$h_{km}^{xm} = f(t_k^{xm}, s_0^{xm}), \quad (7.11)$$

$$h_{km}^{xm} = 210 \text{ кДж/кг}.$$

Ентальпію киплячого хладону на виході з конденсатора визначаємо за $p-h$ діаграмою для хладону на кривій для киплячої рідини по температурі t_k^{xt}

$$h_k^{/x} = f(t_k^{xm}), \quad (7.12)$$

$$h_k^{/x} = 195 \text{ кДж/кг}.$$

Розрахунок випаровувача.

Температура геотермальної води на виході з випаровувача

$$t_{26}^{eux.6} = t_{26}^{eux.p} - \Delta t_6^e, \quad (7.13)$$

$$t_{26}^{6ux6} = 129,6 - 42 = 87,6, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Рівняння теплового балансу випаровувача

$$G_6 \cdot c_p \cdot (t_{26}^{6ux.p} - t_{26}^{6ux.6}) = D_0^{xm} \cdot (h_0^{xm} - h_k^{/x}), \quad (7.14)$$

де c_p – теплоємність води. Приймаємо $c_p = 4,2$ кДж/кг.

$$3,588 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot (129,6 - 87,6) = 6,33 \cdot (295 \cdot 10^3 - 195 \cdot 10^3);$$

$$633 \cdot 10^3 = 633 \cdot 10^3.$$

З цього рівняння визначаємо D_0^{xt}

$$D_0^{xm} = \frac{G_6 \cdot c_p \cdot (t_{26}^{6ux.p} - t_{26}^{6ux.6})}{h_0^{xm} - h_k^{/x}}, \quad (7.15)$$

$$D_0^{xm} = \frac{3,588 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot (129,6 - 87,6)}{295 \cdot 10^3 - 195 \cdot 10^3} = 6,33 \text{ Дж/кг}.$$

Розрахунок потужності турбіни, що працює на хладоні

$$N_e^{xm} = D_0^{xm} \cdot (h_0^{xm} - h_{kt}^{xm}) \cdot \eta_{0i}^{xm} \cdot \eta_{em}, \quad (7.16)$$

де η_{0i}^{xm} – відносний внутрішній к.к.д. хладонової турбіни;

η_{em} – електромеханічний к.к.д. турбогенераторів.

$$N_e^{xm} = 6,33 \cdot (295 \cdot 10^3 - 210 \cdot 10^3) \cdot 0,8 \cdot 0,95 = 4,1 \text{ МВт}.$$

Визначення потужності насоса для закачування геотермальної води у свердловину

$$N_e^H = G_{26} \cdot \Delta h_n = G_{26} \cdot \frac{(1,1 \cdot p_{26} - p_p)}{\eta_n} \cdot v_{26}, \quad (7.17)$$

де η_n – к.к.д. насоса, приймаємо $\eta_n = 0,8$;

v_{26} – середній питомий об'єм геотермальної води. Визначаємо за

таблицями властивостей води та водяної пари як об'єм киплячої води при тиску в розширювачі $v_{гв} = f(p_p)$.

$$N_e^H = 20,9 \cdot \frac{(1,1 \cdot 21 - 0,20)}{0,8} \cdot 0,001 = 5,9 \text{ МВт.}$$

Електрична потужність ГеоТЕС

$$N_e^{GeoTEC} = N_e^{xm} + N_e^{nm} - N_e^H, \quad (7.18)$$

$$N_e^{GeoTEC} = 4,1 + 5,9 - 2,5 = 7,5 \text{ МВт.}$$

К.к.д. ГеоТЕС

$$\eta_{GeoTEC} = \frac{N_e^{GeoTEC}}{Q_{28}} = \frac{N_e^{GeoTEC}}{G_{28} \cdot c_p \cdot (t_{28} - t_{28}^{бух.г})}, \quad (7.19)$$

$$\eta_{GeoTEC} = \frac{7,5 \cdot 10^3}{20,9 \cdot 4,2 \cdot (150 - 87,6) \cdot 10^3} = 0,81.$$

Таблиця 7 – Варіанти для виконання самостійної роботи

Варі-ант	$N_e^{пт}$	$p_{гв}$	$t_{гв}$	p_p	$\Delta t_{гв}^B$	$\delta t_{гв}$	$t_{гв}$	Δt_B	$\delta t_{гв}$	$\eta_{ол^{XT}}$	$\eta_{ем}$
1	2,2	23	165	0,15	45	23	5	13	3	0,85	0,85
2	2,0	24	135	0,18	46	24	5	13	3	0,85	0,86
3	2,1	24	140	0,17	40	25	5	13	3	0,85	0,87
4	2,9	22	120	0,19	41	26	5	13	3	0,85	0,88
5	2,8	21	110	0,15	42	22	5	13	3	0,85	0,89
6	2,7	20	140	0,18	43	23	5	14	3	0,85	0,85
7	2,6	25	135	0,20	44	24	5	14	3	0,85	0,86
8	2,5	24	175	0,18	45	25	5	14	3	0,85	0,87
9	2,4	22	165	0,18	46	26	5	14	3	0,85	0,88
10	2,3	21	190	0,15	40	23	5	13	3	0,85	0,89
11	2,2	20	165	0,18	41	24	5	13	3	0,85	0,85
12	2,0	23	135	0,17	42	25	5	13	3	0,85	0,86
13	2,1	24	140	0,19	43	26	5	13	3	0,85	0,87
14	2,9	24	120	0,15	44	22	5	13	3	0,85	0,88
15	2,8	22	110	0,18	45	23	5	14	3	0,85	0,89
16	2,7	21	140	0,20	46	24	5	14	3	0,85	0,85

Продовження таблиці 7

Варіант	$N_{e}^{пт}$	$\rho_{ГВ}$	$t_{ГВ}$	ρ_p	$\Delta t_{В}^{Б}$	$\delta t_{НВ}$	$t_{ХВ}$	$\Delta t_{В}$	$\delta t_{НН}$	$\eta_{о1}^{ХТ}$	$\eta_{ем}$
17	2,6	20	135	0,18	40	25	5	14	3	0,85	0,86
18	2,5	25	175	0,18	41	26	5	14	3	0,85	0,87
19	2,4	24	165	0,15	42	23	5	15	3	0,85	0,88
20	2,3	22	190	0,18	43	24	5	14	3	0,85	0,89
21	2,0	21	150	0,17	44	25	5	14	3	0,85	0,86
22	2,2	20	160	0,19	43	26	5	15	3	0,85	0,87
23	2,4	23	170	0,15	44	24	5	13	3	0,85	0,88
24	2,5	24	180	0,18	45	23	5	13	3	0,85	0,89
25	2,7	25	190	0,20	46	25	5	13	3	0,85	0,88

Зміст звіту

1. Тема, мета роботи.
2. Результати розрахунків.
3. Висновки.

Контрольні питання

1. Яке походження геотермальної енергії?
2. Назвіть джерела геотермальної енергії.
3. На які групи поділяють джерела геотермальної енергії згідно їх температури?
4. Які регіони вважаються перспективними для видобутку високопотенціальних енергоресурсів в Україні?
5. Як визначається потужність турбіни?
6. Як визначається потужність насоса?
7. Як визначається електрична потужність ГеоТЕС?
8. Як визначається к.к.д. ГеоТЕС?

Список літератури

1. Кирюшатов А. И. Использование нетрадиционных возобновляющихся источников энергии в сельскохозяйственном производстве / А. И. Кирюшатов. – М: Агропромиздат, 1991. – 94 с.
2. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний М., В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
3. Титко Р. Відновлювальні джерела енергії / Р. Титко, В. Калініченко – Варшава – Краків – Полтава, 2010. – 656 с.
4. Навчально-інформаційний портал ТДАТУ.
<http://nip.tsatu.edu.ua>
[http://nip.tsatu.edu.ua/](http://nip.tsatu.edu.ua)

Надруковано з оригінал-макету замовника
Підписано до друку 09.04.2019 р.
Тираж 50 прим.
Зам. №417
ПШ Белень Л.В.
72319, м. Мелітополь, вул. Байбулатова, 1а

