



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України

**Національний університет водного господарства та
природокористування**

Навчально-науковий механіко-енергетичний інститут

Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин

02-04-11



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Методичні вказівки

до виконання практичних робіт
та розрахунково-графічної роботи з дисципліни
“Енергоресурси та гідрологічні основи гідроенергетики”
студентами напряму підготовки 6.050602 “Гідроенергетика”
денної і заочної форм навчання

Рекомендовано методичною комісією
за напрямом підготовки
6.050602 “Гідроенергетика”
Протокол № 8 від 29.05.13р.

Рівне – 2013



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Методичні вказівки до виконання практичних робіт та розрахунково-графічної роботи з дисципліни “Енергоресурси та гідрологічні основи гідроенергетики” студентами напряму підготовки 6.050602 “Гідроенергетика” денної і заочної форм навчання / Ю. Ю. Філіпович, Рівне: НУВГП, 2013. – 48 с.

Упорядник: Ю. Ю. Філіпович, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск: О. А. Рябенко, д.т.н., професор, завідувач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин



Національний університет
водного господарства
та природокористування

© Філіпович Ю. Ю., 2013
© НУВГП, 2013



Зміст

| | |
|---|----|
| Практична робота № 1. Основні фізичні величини. Еквівалентність тепла і роботи | 4 |
| Практична робота № 2. Розрахунок витрати умовного палива на ТЕЦ. | 5 |
| Практична робота № 3. Розрахунок вітроенергетичної станції | 7 |
| Практична робота № 4. Розрахунок сонячної електростанції | 13 |
| Практична робота № 5. Розрахунок геотермальних енергетичних установок | 19 |
| Практична робота № 6. Визначення гідроенергетичного потенціалу водотоку. Побудова кадастрових графіків | 23 |
| Практична робота № 7. Коригування природного гідрографа стоку річки за умов його комплексного використання | 27 |
| Практична робота № 8. Визначення оптимальної глибини спрацювання водосховища | 30 |
| Практична робота № 9. Визначення тривалості замулення мертвого об'єму водосховища | 35 |
| Рекомендована література | 37 |
| Додатки. Вихідні дані до практичних занять | 38 |

Вступ

Метою вивчення навчальної дисципліни „Енергоресурси та гідрологічні основи гідроенергетики” є формування знань у майбутніх бакалаврів напряму підготовки 6.050602 „Гідроенергетика” в області сучасного стану паливно-енергетичного комплексу України, зокрема, перспектив розвитку гідроенергетики. Інженерна практика показує, що фахівцям у галузі гідроенергетики досить часто доводиться працювати на комплексних об'єктах, що включають інші енергетичні (АЕС, ТЕС) та водогосподарські (гідромеліоративні, водопостачальні, судноплавні та інші) об'єкти. Така робота потребує ґрунтовних знань структури паливно-енергетичного комплексу, запасів та властивостей того чи іншого виду енергоресурсів та можливості використання їх з метою енергозабезпечення господарського комплексу.

Навчальним планом та програмою дисципліни передбачено розрахунково-графічну роботу, яка має за мету закріплення теоретичних знань і розвиток навичок із вирішення практичних задач з визначення основних параметрів роботи різних типів електростанцій, а також розрахунків із регулювання і коригування природного стоку річки. Обсяг розрахунково-графічної роботи – 15÷20 сторінок з необхідними схематичними кресленнями і графіками. Оцінюється РГР згідно робочої програми 44 балами. Вихідні дані приймаються згідно з номером залікової книжки за додатками 1÷9 даних методичних вказівок.



Основні фізичні величини. Еквівалентність тепла і роботи

У 1842 р. Р. Майєр сформулював закон еквівалентності тепла і роботи, згідно з яким тепло і робота еквівалентні одне одній і можуть переходити одне у одну. Цей закон має вигляд

$$Q = A \cdot L, \quad (1)$$

де Q – кількість тепла, ккал; L – кількість роботи, Дж; A – тепловий еквівалент одиниці роботи, тобто кількість тепла, виражена у теплових одиницях, що еквівалентні одиниці роботи.

Тепловий еквівалент одиниці роботи рівний

$$A = \frac{Q}{L} = \frac{1}{427} \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{м}} = 2,34 \cdot 10^{-3} \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{м}}. \quad (2)$$

Відповідно, обернена величина, що еквівалента A рівна

$$\frac{1}{A} = \frac{L}{Q} = 427 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{ккал}}, \quad (3)$$

називається механічним еквівалентом тепла. Тобто, $1 \text{ ккал} = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 427 \text{ кг} \cdot \text{м}$.

$$A = \frac{1}{4,19 \cdot 10^3} = 2,39 \cdot 10^{-4} \frac{\text{ккал}}{\text{Дж}}. \quad (4)$$

У техніці у якості одиниці роботи прийнято – сила-годину (к.с. год.), тобто роботу одної кінської сили, виконану за одну годину. Одна кінська сила – це прийнята одиниця потужності (потужність – це робота, що виконана за одиницю часу).

У електротехніці за одиницю потужності прийнято кіловат:

$$1 \text{ кВт} = 1,36 \text{ к.с.} = 102 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с},$$

відповідно $1 \text{ к.с.} = 75 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с} = 0,736 \text{ кВт}$. У якості одиниці електроенергії прийнято $1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, тобто робота одного 1 кВт енергії протягом 1 год . Тепловий еквівалент (N_E) $1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ рівний:

$$N_E = 1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = \frac{75 \cdot 1,36 \cdot 3600}{427} = 860 \text{ ккал}.$$

Приклад 1. Яку кількість енергії можна отримати при спалюванні палива вугілля марки Д, добутого на Донбасі масою $m = 2500 \text{ кг}$ нехтуючи втратами при спалюванні палива? Яку кількість роботи можна отримати при спалюванні тієї ж кількості палива?

Вихідні дані приймаються згідно додатків Д.1.1. та Д.1.2.



Порядок виконання

За додатком 1 табл. Д.1.2, у залежності від виду палива визначаємо теплоту його згоряння, $Q_n^p = 4900$ ккал/кг.

Кількість тепла, що виділяється при згорянні, рівна

$$Q = Q_n^p \cdot m = 4900 \cdot 2500 = 12250000 \text{ ккал.}$$

Визначаємо кількість роботи:

$$L = \frac{Q}{A} = \frac{12250000}{4,19 \cdot 10^3} = 2923,6 \text{ Дж,}$$

де $A = 4,19 \cdot 10^3$ ккал/Дж – тепловий еквівалент одиниці роботи.

Визначаємо виробіток енергії:

$$E = \frac{Q}{N_E} = \frac{12250000}{860} = 14244,2 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де $N_E = 860$ ккал - тепловий еквівалент 1 кВт-год енергії.

Практична робота № 2

Розрахунок витрати умовного палива на ТЕЦ

Приклад II. Користуючись значеннями питомих витрат палива, визначити річну витрату умовного палива на ТЕЦ з кількістю турбін $n=2$ шт. із потужністю $N_T = 280$ МВт кожна.

Вихідні дані (приймаються згідно додатків Д.2.1 та Д.2.2):

Виробіток електроенергії $E = 28 \cdot 10^6$ кВт·год.

Витрата пару із відбору $D = 90 \cdot 10^3$ т/рік.

Витрата тепла із відбору $Q = 46 \cdot 10^3$ млн.ккал/рік.

Початкові параметри пару: тиск $p_o = 29$ атм;

температура $t_o = 400$ °С.

Електрична витрата пару на турбіну

при повному навантаженні $d_k = 6,0$ кг/кВт·год.

Коефіцієнт холостої витрати палива на ТЕЦ $\chi = 0,10$.

Добуток ККД генератора

і механічного обладнання $\eta_{ген} \cdot \eta_{мех} = 0,90$.

ККД котельної установки $\eta_{ку} = 0,85$.

Адіабатичне падіння тепла від початкового стану пару

до тиску відбору $h' = 102$ ккал/кг.

Відносний електричний ККД турбіни (частини до відбору) $\eta'_{oe} = 0,60$.

Тепловміст живильної води $i_{жв} = 100$ ккал/кг.

ККД трубопроводу $\eta_{тр} = 1,0$.



1. Визначаємо кількість електроенергії, що відбирається для нагрівання пару для теплопостачання:

$$E_m = \frac{D \cdot h' \cdot \eta'_{oe} \cdot 10^3}{860} = \frac{90 \cdot 10^3 \cdot 102,0 \cdot 6,10^3}{860} = 6,4 \cdot 10^6 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік} \quad (1)$$

2. Питома витрата палива b_n визначається із урахуванням ККД виробленої електроенергії при тепловому споживанні $\eta^{mc}_e = \eta_{ген} \cdot \eta_{мех} = 0,9$, а саме

$$b_n = \frac{860}{\eta_{ген} \cdot \eta_{мех} \cdot \eta_{ку} \cdot Q_n^p} = \frac{860}{0,90 \cdot 0,85 \cdot 4900} = 0,229 \text{ кг} / \text{кВт} \cdot \text{год}, \quad (2)$$

де $Q_n^p = 4900 \text{ ккал/кг}$ – теплота згоряння робочого палива (приймається із практичної роботи № 1 згідно табл. Д.1.2).

3. Кількість електроенергії, що виробляється у конденсаційному режимі, рівна

$$E_k = E - E_m = 28 \cdot 10^6 - 6,4 \cdot 10^6 = 21,6 \cdot 10^6 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік} \quad (3)$$

4. Витрата умовного палива на $1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, що вироблена у конденсаційному режимі із урахуванням ККД паропроводу рівна

$$b_k = \frac{d_k \cdot (i_k - i_{жв})}{Q_n^p \cdot \eta_{ку}} = \frac{6,0 \cdot (750 - 100)}{4900 \cdot 0,85} = 0,936 \text{ кг} / \text{кВт} \cdot \text{год}, \quad (4)$$

де $i_k = (750 \div 800) \text{ ккал/кг}$ – тепловміст конденсаційної води.

5. Витрата умовного палива на вироблення 1 млн. ккал тепла

$$b_q = \frac{10^6}{Q_n^p \cdot \eta_{ку}} = \frac{10^6}{4900 \cdot 0,85} = 240,1 \text{ кг} / \text{млн. ккал} \quad (5)$$

6. Річна витрата умовного палива на ТЕЦ становить

$$\begin{aligned} B_{y.n.} &= 8760 \cdot \chi \cdot b_k \cdot N_{yem} + (1 - \chi) \cdot b_k \cdot E_k + (1 - \chi) \cdot b_n \cdot E_m + (1 - \chi) \cdot b_q \cdot Q = \text{де} \\ &= 8760 \cdot 0,1 \cdot 0,936 \cdot 560 \cdot 10^3 + (1 - 0,1) \cdot 0,936 \cdot 21,6 \cdot 10^6 + \\ &\quad + (1 - 0,1) \cdot 0,229 \cdot 6,4 \cdot 10^6 + (1 - 0,1) \cdot 240,1 \cdot 46 \cdot 10^3 = 4,87 \cdot 10^8 \text{ кг} / \text{рік} \end{aligned}$$

$N_{yem} = n \cdot N_T = 2 \cdot 280 = 560 \text{ МВт}$ – установлена потужність ТЕЦ.



Розрахунок вітроенергетичної станції

Приклад III. Частина 1. Визначити потужність вітрової електростанції, що складається із $n=8$ шт. однотипних вітроенергетичних установок. Довжина лопаті вітрового колеса $L=5,5$ м, швидкість вітру $w=12$ м/с, ККД вітродвигуна $\eta_B = 31$ %, електричний ККД установки $\eta_e = 73$ %, температура повітря $t = -20^\circ\text{C}$, атмосферний тиск $p=100$ кПа.

Вихідні дані приймаються згідно додатків Д.3.1 та Д.3.2.

Порядок виконання

Потік вітру, що проходить через площу F , що відмітають лопаті вітродвигуна, має енергію

$$E = \frac{m \cdot w^2}{2}, \quad \text{Дж} \quad (1)$$

де m – маса повітря, кг; w – швидкість вітру, м/с.

За секунду через площу F протікає маса повітря, що рівна

$$m = \rho \cdot w \cdot F, \quad \text{кг/с} \quad (2)$$

де ρ – густина повітря, $\rho = \frac{P}{R \cdot T}$, кг/м³, (стандартне значення густини

повітря $\rho_0=1,225$ кг/м³, атмосферний тиск $p=100 \cdot 10^3$ Па – атмосферний тиск /див. вихідні дані/); R – газова стала, $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, T – абсолютна температура, К, $T=t+T_0$; t – температура повітря /див. вихідні дані/.

$$T = -20 + 273,15 = 253,15 \text{ К} \quad (3)$$

Площа F визначається довжиною лопаті вітрового колеса L , м /див. вихідні дані/

$$F = \pi \cdot L^2 = 3,14 \cdot 5,5^2 = 95,03 \text{ м}^2, \quad (4)$$

$$\rho = \frac{100 \cdot 10^3}{287 \cdot 253,15} = 1,377 \text{ кг/м}^3, \quad (5)$$

$$m = 1,377 \cdot 12 \cdot 95,03 = 1570,5 \text{ кг/с}, \quad (6)$$

$$E = \frac{1570,5 \cdot 12^2}{2} = 113076,4 \text{ Дж} \approx 113,1 \text{ кДж}. \quad (7)$$

Електрична потужність однієї вітроенергетичної установки N_{BEV} , кВт, рівна



$$N_{BEV} = \frac{\eta_B \cdot \eta_e \cdot \rho \cdot \pi \cdot L^2 \cdot w^3}{2}, \text{ Вт}, \quad (8)$$

де η_B – ККД електродвигуна ($\eta_B = 0,25 \dots 0,35$), $\eta_B = 0,31$ /див. вихідні дані/;
 η_e – електричний ККД вітрогенератора і перетворювача ($\eta_e = 0,70 \dots 0,85$), $\eta_e = 0,73$ /див. вихідні дані/:

$$N_{BEV} = \frac{0,31 \cdot 0,73 \cdot 1,377 \cdot 3,14 \cdot 5,5^2 \cdot 12^3}{2} = 51172,6 \quad \text{Вт} \approx 51,2 \text{ кВт}.$$

Загальна потужність вітрової електростанції рівна

$$N = n \cdot N_{BEV}, \text{ кВт}, \quad (9)$$

де $n=8$ шт – кількість однотипних вітроенергетичних установок /див. вихідні дані/

$$N = 8 \cdot 51,2 = 409,6 \text{ кВт}.$$

Приймаємо потужність вітрової електростанції 400 кВт.

Під час роботи вітроенергетичної установки під час дощу або снігу, виробіток потужності зменшується на 10...30 %.

У районах із невисокою середньорічною швидкістю вітру (до 5 м/с) для повної автономності електрозабезпечення рекомендується установлювати бензоелектричний агрегат потужністю 2÷5 кВт для зарядки акумуляторів на період штилю.

Частина 2. Розрахувати лопаті робочого колеса однієї вітроенергетичної установки для отримання необхідної потужності $N_{\text{необх}} = 750 \text{ Вт}$. Кількість лопатей рівна $i_{\text{лоп}} = 3 \text{ шт}$.

Вихідні дані приймаються згідно додатків Д.3.1 та Д.3.2.

Порядок виконання

Складаємо розрахункову схему.

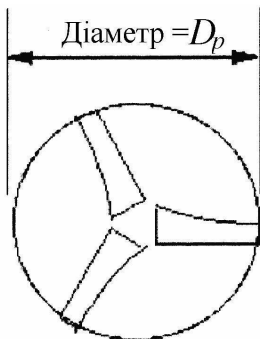


Рис. 1. Розрахункова схема робочого колеса вітроенергетичної установки



У залежності від необхідної потужності $N_{необх} = 750$ Вт за табл. III.1. приймаємо значення діаметра ротора вітрогенератора.

Таблиця III.1

Параметри вітрогенератора

| Потужність, N , Вт | 50... | 100... | 500... | 1000... | 2000... |
|-------------------------|-------|--------|--------|---------|---------|
| | 100 | 500 | 1000 | 2000 | 3000 |
| Діаметр, D_p , м | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 |

Приймаємо значення діаметра ротора $D_p = 3,0$ м.

За відомою кількістю лопатей $i_{лон}$ за рис. 2 приймаємо швидкохідність вітрового колеса $z=5$.

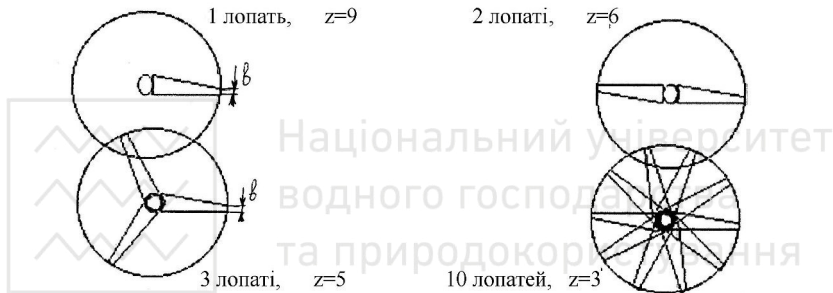


Рис. 2. Характеристики вітрового колеса
(кути установки лопатей у кожному випадку різні;
форма лопатей у плані однакова)

Кількість обертів вітряка рівна

$$n_0 = 60 \cdot \frac{z \cdot w}{\pi \cdot D_p} = 60 \cdot \frac{5 \cdot 12}{3,14 \cdot 3} = 381,97 \text{ об/хв.} \quad (10)$$

Ширина хорди b рівна

$$b = \frac{4 \cdot D_p}{z^2 \cdot i_{лон}} = \frac{4 \cdot 3}{5^2 \cdot 3} = 0,16 \text{ м.} \quad (11)$$

Кінцева частина хорди є найбільш важливою, але внутрішня її частина повинна бути виконана ширшою для того, щоб створювати більший стартовий обертовий момент.

Швидкість руху кінцевої частини

$$v_{кін} = z \cdot w = 5 \cdot 12 = 60 \text{ об/с.} \quad (12)$$

Окружна швидкість більша біля кінця лопаті, ніж біля ступиці, тому що кут набігання вітру φ змінюється. Це означає, що ідеальна



лопатею вітрового колеса повинна мати закрутку. Потік повітря проходить крізь ротор зі швидкістю $\frac{2}{3}w$ (згідно теорії Бетца). Швидкість вітру після колеса сповільнюється до $\frac{1}{3}$ у порівнянні із початковою. Це сповільнення відбувається під дією осрової сили, що пов'язана із підйомною силою. Ширина хорди b_i , що створює осрове зусилля, згідно умови Бетца рівна

$$b_i = \frac{16 \cdot \pi \cdot R \cdot \frac{R}{r_i}}{9 \cdot z^2 \cdot i_{\text{сон}}}, \text{ м}, \quad (13)$$

де $R = \frac{D_p}{2} = \frac{3}{2} = 1,5$ м – радіус вітрового колеса; d_{cm} – діаметр ступиці вітрового колеса.

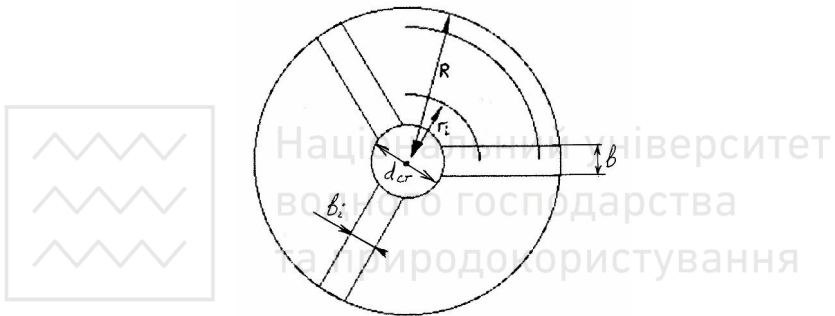


Рис. 3. Схема до розрахунку вітрового колеса

Задаємося трьома-чотирма значеннями r_i всередині колеса від $0,7 \cdot R$ до $0,3 \cdot R$, і визначаємо відповідні значення b_i , м

Таблиця III.2

Визначення значень ширини хорди лопаті b_i , м

| $\frac{R}{r_i}$ | 1,0 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
|-----------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| r_i , м | 1,50 | 1,05 | 0,90 | 0,75 | 0,60 | 0,45 |
| b_i , м | 0,11 | 0,16 | 0,186 | 0,223 | 0,279 | 0,372 |

Кут установки лопатей вітрового колеса знаходимо із графіка

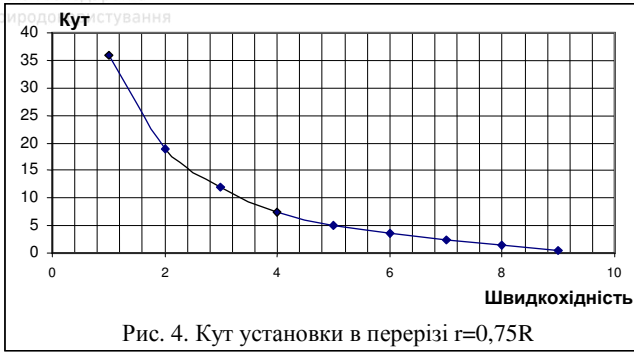


Рис. 4. Кут установки в перерізі $r=0,75R$

При швидкохідності $z=5$, кут рівний 5° . На практиці багато вітряків побудовані із незакрученими лопатями із постійною шириною за радіусом і постійним кутом установки. Однак використання лопатей, що звужуються до кінцевої частини і закрутка лопаті мають переваги, що полягають у кращому старті вітрового колеса та більш масивній і міцнішій ступиці.

Складаємо схему лопаті.

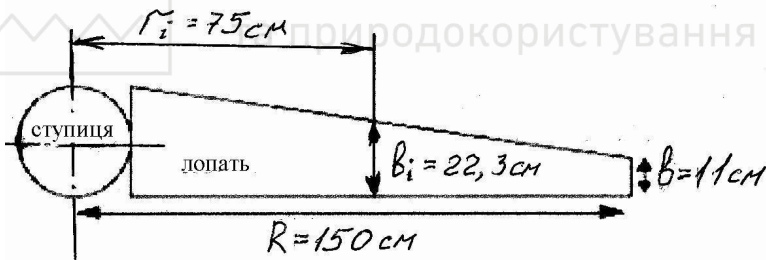


Рис. 5. Схема лопаті вітрового колеса

Коефіцієнт використання енергії вітру визначаємо за швидкохідністю і кількістю лопатей за графіком Хайнера-Дьорнера:

$$\text{— при } K=80 - K_{beb}=0,412;$$

$$\text{— при } K=180 - K_{beb}=0,455,$$

де K – аеродинамічна якість вітряка – відношення підйомної сили до сили напору вітру. Аеродинамічна якість повинна бути більшою, коли потрібно отримати більшу швидкохідність.

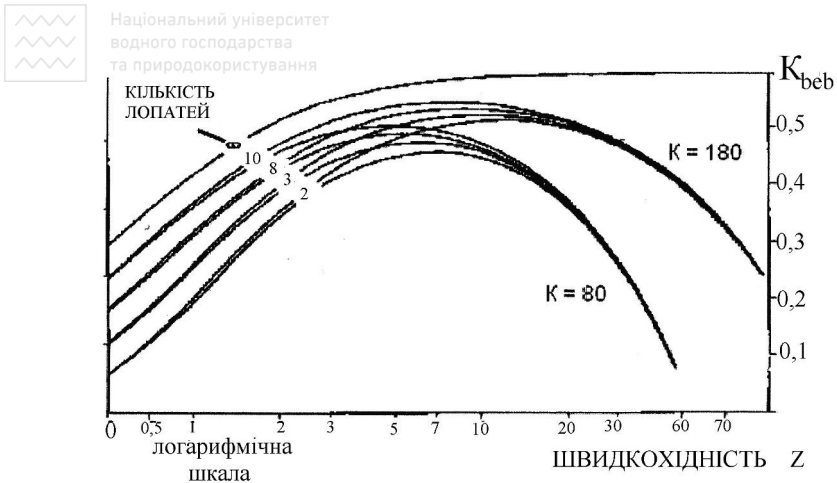


Рис. 6. Графік Хайнера-Дьорнера

Мачта вітряка служить для установки його на такій висоті, де потік вітру не затіняється перешкодами і має достатню швидкість.

Мачти виготовляються із сталевих труб. Сійки ферми складаються із секцій. Мачта зручна при перевезенні і монтується на попередньо підготовленому фундаменті без застосування підйомної техніки і електроінструменту. Вона займає мало площі, не потребує розчалок і не створює великої тіні.

Мачта може бути задіяна для установки іншого обладнання (фотоелектричні модулі, антени, камери спостереження та ін.). Для місць із різними типами рельєфу і різними вітровими умовами виготовляються мачти із різними параметрами.

За максимальною висотою навколишніх перешкод $h=15,5$ м (див.вихідні дані додаток Д.3.2) за таблицею III.3 приймаємо мачту із висотою $H=17,2$ м та з діаметром зайнятої площі 2,9 м.

Кількість секцій у сійці – 6 шт.

Маса башти – 640 кг.

Таблиця III.3

Параметри мачт вітроенергетичних установок

| | | | | | |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|
| Висота H , м | 11,6 | 14,4 | 17,2 | 20,0 | 22,8 |
| Діаметр зайнятої площі, м | 1,8 | 2,5 | 2,9 | 3,4 | 3,8 |
| Кількість секцій у сійці, шт. | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Маса, кг | 395 | 520 | 640 | 780 | 960 |



Складаємо схему вітроенергетичної установки.

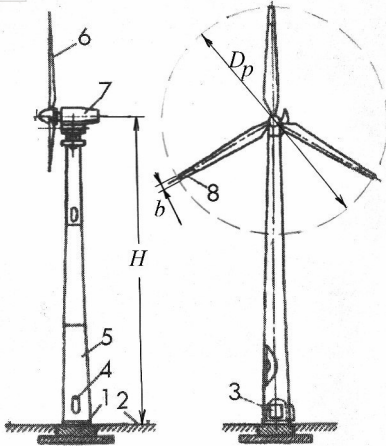


Рис. 7. Схема вітроенергетичної установки:

- 1 – фундаментна плита;
- 2 – поверхня землі;
- 3 – розподільчий пристрій;
- 4 – двері башти; 5 – башта;
- 6 – вітрове колесо;
- 7 – приміщення для генератора;
- 8 – поворотна гальмівна частина лопаті



Практична робота № 4

Розрахунок сонячної електростанції

Приклад IV. Визначити кількість тепла, що підводиться геліостатами до встановленого на башті парогенератора паротурбінної сонячної електростанції, якщо кількість геліостатів $n=1000$ шт., площа дзеркал одного геліостата $F=10$ м², інтенсивність сонячного випромінювання $I=350$ Вт/м², коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання $\eta_{св}=50$ %. Визначити також термічний ККД і теоретичну потужність паротурбінної установки СЕС, що працює за циклом Ренкіна, якщо параметри гострого пару $p_1=12$ МПа, $t_1=450^\circ\text{C}$, тиск у конденсаторі $p_2=10$ кПа, ККД генератора $\eta_{ГГ}=0,85$.

Як зміниться потужність СЕС, якщо замість паротурбінної установки використати кремнієві фотоелектричні перетворювачі із ККД $\eta_{фв}=0,15$, що займають ту ж площу, що й дзеркала геліостатів.

Вихідні дані (приймаються згідно додатків Д.4.1 та Д.4.2).

Порядок виконання

Серед машинних перетворювачів сонячної енергії у електричну найбільш поширені паро- і газотурбінні установки (рис. 1).

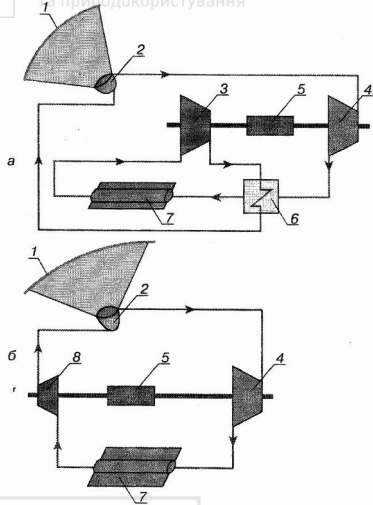


Рис. 1. Принципова схема сонячної газотурбінної (а) і паротурбінної (б) енергоустановок:

- 1 – концентратор;
- 2 – сонячний котел;
- 3 – компресор;
- 4 – газова турбіна;
- 5 – електрогенератор;
- 6 – регенератор;
- 7 – холодильник-випромінювач;
- 8 – насос

Принципова схема замкненої газотурбінної установки показана на рис. 1.а. Сонячна радіація, що збирається концентратором 1 на поверхні сонячного котла 2, нагріває робоче тіло – інертний газ – до температури 1200...1500 К, і під тиском, що створює компресор 3, подає гарячий газ на лопатки газової турбіни 4, що приводить у дію електрогенератор змінного струму 5. Відпрацьований у турбіні газ надходить спочатку у регенератор 6, де підігріває робочий газ після компресора, полегшуючи тим самим роботу основного нагрівача – сонячного котла, а потім охолоджується у холодильник-випромінювачі 7. ККД цієї установки становить 11%. Можливе створення установки із паротурбінним перетворювачем (рис. 1.б). Зібрана концентратором 1 сонячна енергія нагріває у сонячному котлі 2 робочу рідину, що переходить у насичений, а потім у перегрітий пар, що розширюється у турбіні 4, з'єднаній із електрогенератором 5. Після конденсації у холодильник-випромінювачі 7 відпрацьованого у турбіні пару, його конденсат стискається насосом 8 – і знову надходить у котел. Оскільки підвід і відведення тепла у цій установці відбувається ізотермічно, середні температури підводу і відведення будуть вищі, ніж у газотурбінній установці, а питомі площі випромінювача і концентратора можуть



бути меншими, ніж у замкненій газотурбінній установці. ККД цієї установки становить 15÷20 % при відносно невисоких температурах підводу тепла – лише 600÷650 К.

У паротурбінних сонячних енергетичних установках сонячне випромінювання від дзеркал геліостатів концентрується на парогенераторі, установленому на башті.

Загальна кількість тепла, що сприймає парогенератор, рівна

$$Q = \eta_{св} \cdot n \cdot F \cdot I, \text{ Вт}, \quad (1)$$

де $\eta_{св}=0,5$ – коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання; $n=1000$ шт – кількість геліостатів; $F=10 \text{ м}^2$ – площа дзеркала одного геліостата; $I=350 \text{ Вт/м}^2$ – інтенсивність сонячного випромінювання /див. вихідні дані/.

$$Q = 0,5 \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 350 = 1750000 \text{ Вт}.$$

Цикл Ренкіна – це термодинамічний цикл перетворення тепла у роботу за допомогою водяного пару. Його ефективність у значній мірі залежить від величин початкових і кінцевих параметрів (тиску і температури) пару. Він складається із наступних процесів:

- 1) нагрівання і випаровування води, а потім перегрівання пару;
- 2) розширення пару у турбіні, тобто її обертання;
- 3) конденсація відпрацьованого пару із відведенням тепла охолоджуючою водою;
- 4) стиснення сконденсованої води до початкового тиску у парогенераторі.

Робота 1 кг пару паротурбінної установки у циклі Ренкіна рівна

$$A = h_1 - h_2, \quad \text{кДж/кг}, \quad (2)$$

Термічний ККД рівний

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_k}, \quad (3)$$

де h_1 – ентальпія гострого пару (визначається за h - s діаграмою водяного пару або за табл. IV.1 при $p_1=12 \text{ МПа}$ та $t_1=450^\circ\text{C}$, рівна $h_1=3206 \text{ кДж/кг}$);

h_2 – ентальпія відпрацьованого у турбіні пару (при тиску $p_2=0,564 \cdot p_1=0,564 \cdot 12=6,55 \text{ МПа}$); за h - s діаграмою при ентальпії

3206 кДж/кг та $t_1=450^\circ\text{C}$ визначаємо ентропію $E=6,27 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; при



ентропії $E=6,27 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ та температури відпрацьованого пару

$45 \div 50^\circ\text{C}$ визначаємо ентальпію $h_2=1815 \text{ кДж/кг}$;
 h_K – ентальпія конденсату (визначається за таблицями термодинамічних властивостей води і пару) за табл. IV.2 при $p_2=10 \text{ кПа}$ визначаємо $h_K=697,2 \text{ кДж/кг}$,

$$A=3206 - 1815=1391 \text{ кДж/кг},$$

$$\eta_i = \frac{3206 - 1815}{3206 - 697,2} = 0,555.$$

Теоретична потужність паротурбінної сонячної електроустановки рівна

$$N_{\text{пр}} = \eta_i \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot Q, \text{ Вт} \tag{4}$$

де $\eta_{\text{пр}}=0,85$ – ККД парогенератора,

$$N_{\text{пр}} = 0,555 \cdot 0,85 \cdot 1750000 = 825562,5 \text{ Вт} \approx 826 \text{ кВт}.$$

h-s діаграма (діаграма Мольє) – це діаграма теплофізичних властивостей рідини та газу (в основному води і водяного пару), що показує характер зміни їх властивостей у залежності від параметрів стану (рис. 2).

Таблиця IV.1

Ентальпія води і перегрітого пару

| p, МПа | t, °C | 220 | 240 | 260 | 280 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 |
|-----------|----------|---------------------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|
| | | Ентальпія h, кДж/кг | | | | | | | | | |
| 1,2 | | 2865 | 2911 | 2955 | 2999 | 3042 | 3151 | 3260 | 3368 | 3477 | 3696 |
| 1,4 | | 2855 | 2902 | 2984 | 2992 | 3036 | 3147 | 3256 | 3365 | 3474 | 3695 |
| 1,6 | | 2844 | 2893 | 2940 | 2986 | 3030 | 3142 | 3253 | 3363 | 3472 | 3693 |
| 1,8 | | 2833 | 2884 | 2932 | 2979 | 3025 | 3138 | 3249 | 3360 | 3470 | 3691 |
| 2,0 | | 2821 | 2875 | 2924 | 2972 | 3019 | 3134 | 3246 | 3357 | 3468 | 3690 |
| 3,0 | | 943,5 | 2823 | 2882 | 2937 | 2988 | 3111 | 3229 | 3343 | 3456 | 3682 |
| 8,0 | | 945,1 | 1037,9 | 1134,4 | 1235,4 | 2784 | 2985 | 3135 | 3270 | 3397 | 3640 |
| 9,0 | | 945,2 | 1038,1 | 1134,2 | 1234,9 | 1344,3 | 2954 | 3114 | 3254 | 3386 | 3631 |
| 10 | | 945,8 | 1038,3 | 1134,1 | 1234,5 | 1342,2 | 2920 | 3093 | 3239 | 3372 | 3621 |
| 12 | | 946,6 | 1038,7 | 1133,9 | 1233,7 | 1340 | 2844 | 3049 | 3206 | 3347 | 3603 |
| 13 | | 946,9 | 1038,9 | 1133,8 | 1233,3 | 1339 | 2799 | 3206 | 3198 | 3334 | 3594 |



Таблиця IV.2

Параметри насиченого водяного пару під тиском

| | | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| p , МПа | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 |
| t , °С | 164,96 | 170,42 | 175,35 | 179,88 | 184,05 | 187,85 | 191,60 | 195,04 | 198,28 |
| h , кДж/кг | 697,2 | 720,9 | 742,8 | 762,7 | 781,1 | 798,3 | 814,5 | 830,0 | 844,6 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| p , МПа | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 |
| t , °С | 201,36 | 204,30 | 207,10 | 209,78 | 212,37 | 214,84 | 217,24 | 219,55 | 221,77 |
| h , кДж/кг | 858,3 | 871,6 | 884,4 | 896,6 | 908,5 | 919,8 | 930,9 | 941,5 | 951,8 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| p , МПа | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,2 | 3,4 | 3,6 |
| t , °С | 223,93 | 226,03 | 228,6 | 230,04 | 231,96 | 233,83 | 237,44 | 240,88 | 244,16 |
| h , кДж/кг | 961,8 | 971,7 | 981,3 | 990,4 | 999,4 | 1008,3 | 1025,3 | 1041,9 | 1057,3 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| p , МПа | 3,8 | 4,0 | 4,2 | 4,4 | 4,6 | 4,8 | 5,0 | 5,5 | 6,0 |
| t , °С | 247,31 | 250,33 | 253,24 | 256,05 | 258,75 | 261,37 | 263,91 | 269,94 | 275,56 |
| h , кДж/кг | 1072,7 | 1087,5 | 1101,7 | 1115,3 | 1128,8 | 1141,8 | 1154,4 | 1184,9 | 1213,9 |

| | | | | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| p , МПа | 6,5 | 7,0 | 8,0 | 9,0 |
| t , °С | 280,83 | 285,80 | 294,98 | 303,32 |
| h , кДж/кг | 1241,3 | 1267,4 | 1317,0 | 1363,7 |

При виконанні техніко-економічних розрахунків для підбору обладнання, необхідні дані про теплофізичні властивості води та водяного пару у широкій області тисків і температур.

Ентальпія (або теплова функція) — це термодинамічний потенціал, що характеризує стан термодинамічної системи при виборі як основних незалежних змінних ентропії і тиску. Ентальпія рівна сумі внутрішньої енергії і добутку тиску на об'єм. Ентальпія залежить від тиску та ентропії системи. Вона використовується для опису ізобарних процесів, тобто процесів, що відбуваються при сталому тиску.

Ентропія у термодинаміці – це міра енергії у термодинамічній системі, що не може бути використана для виконання роботи. Зміна ентропії термодинамічної системи при оборотному процесі визначається як відношення загальної кількості тепла, отриманого або втраченого системою, до величини абсолютної температури T .

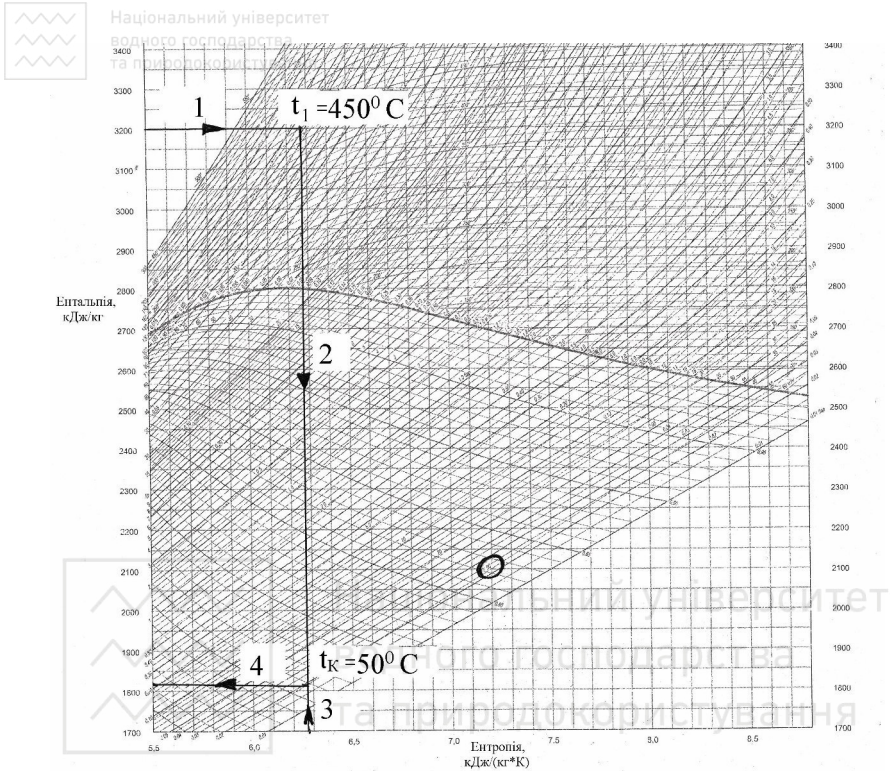


Рис. 2. Визначення параметрів роботи сонячної енергоустановки за h-s діаграмою

Потужність сонячної енергоустановки із фотоелектричними перетворювачами рівна

$$N_{ф.е.} = \eta_{ф.е.} \cdot F_{ф.е.} \cdot I, \text{ Вт} \quad (5)$$

де $\eta_{ф.е.} = 0,15$ – ККД фотоелектричних перетворювачів; $F_{ф.е.}$ – загальна площа фотоелектричних перетворювачів,

$$F_{ф.е.} = n \cdot F = 1000 \cdot 10 = 10000 \text{ м}^2, \quad (6)$$

$$N_{ф.е.} = 0,15 \cdot 10000 \cdot 350 = 525000 \text{ Вт} = 525 \text{ кВт.}$$

Висновок. З точки зору виробленої потужності, більш ефективною є сонячна енергоустановка із паротурбінною установкою, оскільки $N_{ПТ} = 826 \text{ кВт} > N_{ф.е.} = 525 \text{ кВт.}$



Розрахунок геотермальних енергетичних установок

Приклад V. Двохконтурна пароводяна геотермальна установка електричною потужністю $N_T = 4,0 \text{ MВт}$ отримує тепло від води із геотермальних свердловин із температурою $t_{ГC} = 190 \text{ }^\circ\text{C}$.

Сухий насичений пар на виході із парогенератора має температуру на $20 \text{ }^\circ\text{C}$ нижчу, ніж $t_{ГC}$. Пар розширяється у турбіні, і надходить у конденсатор, де охолоджується водою із навколишнього середовища із температурою $t_{x.e.} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Охолоджуюча вода нагрівається у конденсаторі на $12 \text{ }^\circ\text{C}$. Конденсат має температуру на $20 \text{ }^\circ\text{C}$ вищу, ніж $t_{x.e.}$.

Геотермальна вода виходить із парогенеруючої установки з температурою на $15 \text{ }^\circ\text{C}$ вище, ніж конденсат.

Відносний внутрішній коефіцієнт турбіни $\eta_{0,i} = 78\%$, енергетичний ККД турбогенератора $\eta_e = 0,96$.

Визначити термічний ККД циклу Ренкіна, витрату пару і питому витрату тепла, а також витрату води із геотермальних свердловин та із навколишнього середовища.

Вихідні дані (приймаються згідно додатків Д.5.1 та Д.5.2).

Порядок виконання

Геотермальна енергія, закумуляована у перших десяти кілометрах земної кори становлять 137 трлн.т.у.п. Із усіх видів геотермальної енергії найкращі економічні показники мають **гідрогеотермальні ресурси** – термальні води, пароводяні суміші і природний пар. Довід показує, що перспективними у цьому відношенні варто вважати райони, у яких зростання температури із глибиною відбувається досить інтенсивно, колекторські властивості гірських порід дозволяють одержувати із тріщин значні кількості нагрітої води або пару, а склад мінеральної частини термальних вод не створює додаткових труднощів по боротьбі із солевідкладеннями і кородуванням устаткування. *Перевагами геотермальної енергії* є те, що її отримують від джерел тепла із великими температурами. Також вона має декілька особливостей: температура теплоносія значно менша за температуру при спалюванні палива; найкращий спосіб використання геотермальної енергії — комбінований (видобуток



електроенергії та обігрів). До недоліків відносять: низьку термодинамічну якість; необхідність використання тепла біля місця видобування; те, що вартість створення свердловин зростає зі збільшенням глибини. Це джерело характеризується різноплановим впливом на природне середовище. Так у атмосферу надходить додаткова кількість розчинених у підземних водах сполук сірки, бору, мишяку, аміаку, ртуті; викидається водяний пар, збільшуючи вологість; робота супроводжується акустичним ефектом; виникає опускання земної поверхні та засолення земель.

Принципова схема турбокомпресорної установки закритого циклу показана на рис. 1. При роботі установки паро-газовий потік із високим вмістом пару надходить у конденсатор, до якого із градирні подається охолоджуюча вода. При їх контакті, внаслідок конденсації, паро-газовий потік осушується, та з малим вмістом пару надходить у компресор, де стискається за рахунок поданої від турбіни роботи у політропному процесі. При цьому вміст пару у потоці залишається сталим, але його відносна вологість зменшується. Після компресора стиснений газ надходить у нижню частину парогенератора, а у його верхню частину назустріч газовому потоку насосом подається вода у дисперсному вигляді, попередньо підігріта у теплообміннику геотермальним теплоносієм, що надходить із свердловини. Після теплообмінника геотермальний теплоносій насосом направляється у нагнітальну свердловину.

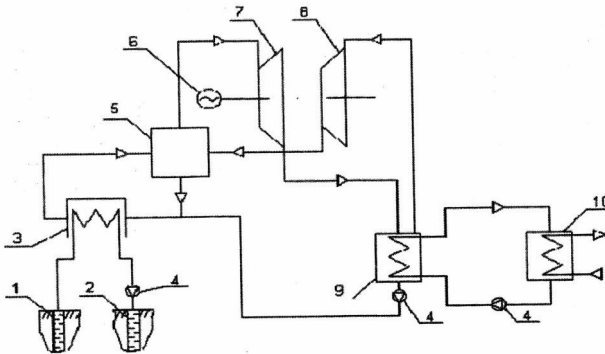


Рис. 1. Принципова схема турбокомпресорної установки закритого циклу:

- 1 – експлуатаційна свердловина; 2 – нагнітальна свердловина;
- 3 – теплообмінник; 4 – насос; 5 – парогенератор; 6 – генератор;
- 7 – турбіна; 8 – компресор; 9 – конденсатор; 10 – градирня

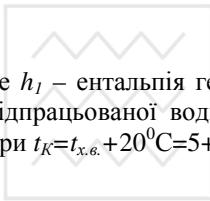


У одноконтурній паротурбінній геотермальній енергоустановці ентальпія сухого насиченого пару після сепарації визначається температурою геотермальної води $t_{2.e.}$, що приймається із таблиць термодинамічних властивостей води і водяного пару (табл. V.1) або за h - s діаграмою.

При двохконтурній геотермальній енергоустановці враховується перепад температур у парогенераторі Δt . Далі розрахунки виконуються аналогічно, як для сонячної паротурбінної електростанції. Витрата пару рівна

$$d = \frac{N}{(h_1 - h_2) \cdot \eta_t \cdot \eta_{0,i} \cdot \eta_e}, \text{ кг/с} \quad (1)$$

де $\eta_{0,i}=0,78$ – відносний внутрішній ККД турбіни; $\eta_e=0,96$ – електричний ККД турбогенератора; $N=4000$ кВт – потужність геотермальної установки; η_t – термічний коефіцієнт.



$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_k} \quad (2)$$

де h_1 – ентальпія геотермальної води при $t_{2.e.} = t_{ГC} = 190^\circ\text{C}$; h_2 – ентальпія відпрацьованої води при $t_2 = t_{2.e.} - 20^\circ\text{C} = 170^\circ\text{C}$; h_k – ентальпія конденсату при $t_k = t_{x.e.} + 20^\circ\text{C} = 5 + 20 = 25^\circ\text{C}$.

Таблиця V.1

Ентальпія перегрітого водяного пару із температурами і тиском

| Тиск p , кПа | Температура насиченого paru, $^\circ\text{C}$ | Температура перегрітого водяного пару, $^\circ\text{C}$ | | | | | | |
|-------------------|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 120 | 150 | 180 | 200 | 230 | 250 | 280 |
| 150 | 111,4 | 7,239 | 7,419 | 7,557 | 7,644 | 7,767 | 7,845 | 7,957 |
| 200 | 120,2 | - | 7,279 | 7,420 | 7,507 | 7,631 | 7,710 | 7,822 |
| 250 | 127,4 | - | 7,169 | 7,311 | 7,400 | 7,525 | 7,604 | 7,717 |
| 350 | 138,9 | - | 6,998 | 7,146 | 7,223 | 7,364 | 7,444 | 7,558 |
| 400 | 143,6 | - | 6,929 | 7,079 | 7,171 | 7,299 | 7,380 | 7,495 |
| 500 | 151,8 | - | - | 6,965 | 7,059 | 7,190 | 7,272 | 7,388 |
| 600 | 158,8 | - | - | 6,869 | 6,966 | 7,100 | 7,183 | 7,300 |
| 700 | 165,0 | - | - | 6,786 | 6,886 | 7,022 | 7,107 | 7,225 |
| 800 | 170,4 | - | - | 6,712 | 6,815 | 6,954 | 7,040 | 7,156 |
| 900 | 175,4 | - | - | 6,645 | 6,751 | 6,893 | 6,980 | 7,101 |
| 1000 | 179,9 | - | - | 6,584 | 6,692 | 6,838 | 6,926 | 7,049 |
| 1100 | 184,4 | - | - | - | 6,638 | 6,787 | 6,876 | 7,001 |
| 1200 | 188,0 | - | - | - | 6,587 | 6,739 | 6,831 | 6,956 |
| 1400 | 195,0 | - | - | - | 6,494 | 6,653 | 6,748 | 6,877 |
| 1600 | 201,4 | - | - | - | - | 6,577 | 6,674 | 6,806 |
| 2000 | 212,4 | - | - | - | - | 6,440 | 6,546 | 6,685 |
| 2500 | 223,9 | - | - | - | - | 6,292 | 6,407 | 6,558 |
| 3500 | 242,5 | - | - | - | - | - | 6,173 | 6,349 |



Визначається ентальпія за *h-s* діаграмою при відомій ентропії.
Ентропія гарячої води визначається за табл. V.1 при $t_{z.g.}=190^{\circ}\text{C}$

- ентропія рівна $E=6,27 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ при тиску $150 \text{ кН/м}^2=150\text{кПа}$ і температурі насиченого пару $+111,4^{\circ}\text{C}$.
- Визначаємо $h_1=2820 \text{ кДж/кг}$; $h_2=2780 \text{ кДж/кг}$; $h_K=2310 \text{ кДж/кг}$.

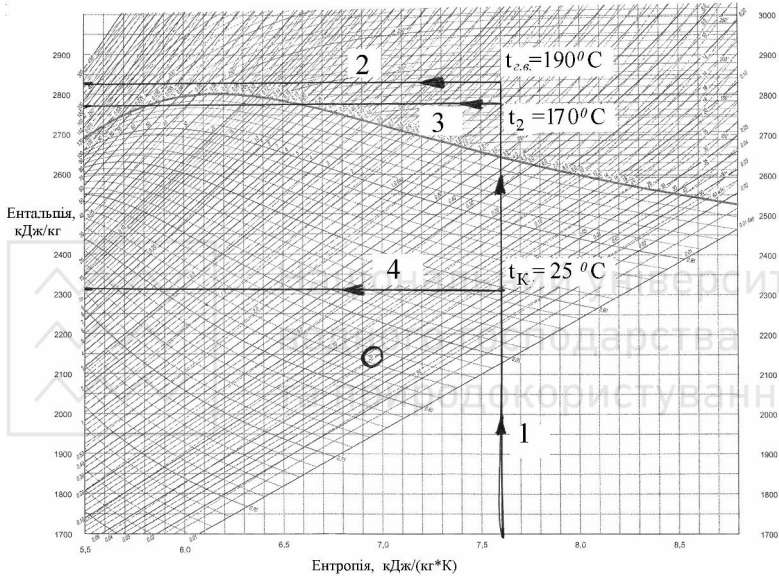


Рис. 2. Визначення параметрів роботи геотермальної енергоустановки за *h-s* діаграмою

$$\eta_t = \frac{2820 - 2780}{2820 - 2310} = 0,078$$

$$d = \frac{4000}{(2820 - 2780) \cdot 0,078 \cdot 0,78 \cdot 0,96} = 17121 \text{ кг/с.}$$

Витрата гарячої води із геотермальних свердловин рівна

$$G_{GC} = \frac{N}{\eta_i \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_c \cdot \Delta t_{пр}}, \text{ кг/с.} \quad (3)$$

Витрата холодної води із навколишнього середовища на конденсацію пару рівна



$$G_{x.g.} = d \cdot \frac{h_2 - h_k}{C \cdot \Delta t_{x.g.}}, \text{ кг/с,} \quad (4)$$

де $C=4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ – теплоємність води; η_{III} – ККД парогенератора ($\eta_{III}=0,92\dots 0,96$); Δt_{III} – перепад температур геотермальної води у парогенераторі, $\Delta t_{III}=20 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta t_{x.g.}$ – перепад температур холодної води у конденсаторі, $\Delta t_{x.g.}=12 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$G_{rc} = \frac{4000}{0,078 \cdot 0,78 \cdot 0,94 \cdot 0,96 \cdot 20} = 3642,9 \text{ кг/с,}$$

$$G_{x.g.} = 1712,1 \cdot \frac{2820 - 2310}{4,19 \cdot 12} = 17366,2 \text{ кг/с.}$$

Практична робота № 6

Визначення гідроенергетичного потенціалу водотоку.

Побудова кадастрових графіків

Валовий гідроенергетичний потенціал водотоку характеризується середньорічною потенційною потужністю $N_{ном}$, кВт, або середньобагаторічною потенційною енергією $E_{ном}$, кВт·год, що визначається за залежністю для багаторічного стоку W_{cp} .

$$E_{ном} = \rho \cdot g \cdot W_{cp} \cdot H_0, \quad (1)$$

де $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – густина води; g – прискорення вільного падіння; H_0 – різниця рівнів вільної поверхні водотоку у межах ділянки, що розглядається,

$$H_0 = PB_i - PB_{i+1}, \quad (2)$$

де PB_i, PB_{i+1} – відмітки рівнів води у створах на початку та у кінці ділянки.

Приклад VI. Визначити:

- 1) ділянку річки, найбільш ефективну у енергетичному відношенні, і встановити її технічний потенціал;
- 2) теоретичний гідроенергетичний потенціал водотоку;
- 3) побудувати кадастрові графіки гідроресурсів.

Вихідні дані (приймаються згідно додатків Д.6.1 та Д.6.2):

Середньорічний модуль стоку $q=7 \text{ л/с на } 1 \text{ км}^2$.

Втрати витрати стоку річки $\Delta Q=4 \text{ \%}$.

Втрати напору $\Delta H=10 \text{ \%}$.

ККД гідроелектростанції $\eta_{ГЕС}=0,84$.



| № створів | Відмітки рівнів води $\downarrow PB$, м | Відстань від джерела L , км | Площа басейну F , тис.км ² |
|-----------|--|-------------------------------|---|
| 1 | 5400 | 10 | 4 |
| 2 | 4800 | 130 | 9 |
| 3 | 3900 | 290 | 20 |
| 4 | 3100 | 480 | 30 |
| 5 | 2500 | 670 | 43 |
| 6 | 2200 | 990 | 65 |

Порядок виконання

Розрахунок ведемо у табличній формі (див. табл. VI.1).

1. За вихідними даними визначаємо довжини ділянок водотоку між створами

$$L_{oi} = L_{i+1} - L_i, \quad (3)$$

де L_i, L_{i+1} – відстань від джерела водотоку до створів, що є межами ділянок, м.

2. Різниця рівнів вільної поверхні у межах ділянки рівна

$$H_{oi} = \downarrow PB_i - \downarrow PB_{i+1}, \quad (4)$$

де $\downarrow PB_i, \downarrow PB_{i+1}$ – відмітки рівнів води на початку і у кінці створів, м.

3. Визначаємо витрати у створах і середню витрату на ділянці

$$Q_i = \frac{q \cdot F}{1000}; \quad Q_{oi} = \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2}, \quad (5)$$

де q – середньорічний модуль стоку.

4. Визначаємо фактичні (із урахуванням втрат) напір і витрату на кожній ділянці

$$H_{oi}^{\phi} = H_{oi} \cdot (1 - \Delta H); \quad Q_{oi}^{\phi} = Q_{oi} \cdot (1 - \Delta Q). \quad (6)$$

Примітка: ΔH та ΔQ – втрати витрати річки і напору (див. вихідні дані), підставляються у долях одиниці.

Значення напорів та витрат річки необхідні для подальшого визначення енергетичних параметрів водотоку.

5. Визначаємо потенційну потужність кожної ділянки і водотоку у створах у цілому

$$N_{oi} = 9,81 \cdot Q_{oi}^{\phi} \cdot H_{oi}^{\phi}; \quad N_{oi} = \sum_{i=1}^n N_{oi}. \quad (7)$$

6. Встановлюємо ділянку водотоку, найбільш ефективну у енергетичному відношенні, за найбільшим відношенням N_{oi} / L_{oi} (згідно із розрахунками /див. табл. VI.1/ – це ділянка 4–5). Її технічний потенціал рівний



$$N_m = 9,81 \cdot Q_{oi}^{\phi} \cdot H_{oi}^{\phi} \cdot \eta_{ГЕС} =$$

$$= 9,81 \cdot 540 \cdot 245,3 \cdot 0,84 = 1091,54 \text{ тис. кВт},$$
(8)

де $Q_{oi}^{\phi} \cdot H_{oi}^{\phi}$ – витрата і напір найбільш ефективної у енергетичному відношенні ділянки; $\eta_{ГЕС}$ – коефіцієнт корисної дії гідроелектростанції.

Таблиця VI.1

Визначення гідроенергетичного потенціалу водотоку

| № створу | $\downarrow P_B, \text{ м}$ | $L, \text{ км}$ | $F, \text{ тис. км}^2$ | $L_{об}, \text{ км}$ | $H_{об}, \text{ м}$ | $Q_{oi}, \text{ м}^3/\text{с}$ | $Q_{об}, \text{ м}^3/\text{с}$ | $H_{об}^{\phi}, \text{ м}$ | $Q_{об}^{\phi}, \text{ м}^3/\text{с}$ | $N_{об}, \text{ кВт}$ | $N_{об}, \text{ кВт}$ | $N_{об}/L_{об}, \text{ кВт/км}$ |
|----------|-----------------------------|-----------------|------------------------|----------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1 | 5400 | 10 | 4 | | | 28 | | | | | 0 | |
| | | | | 120 | 600 | | 45,5 | 540 | 43,7 | 231,5 | | 1,929 |
| 2 | 4800 | 130 | 9 | | | 63 | | | | | 231,5 | |
| | | | | 160 | 900 | | 101,5 | 810 | 97,4 | 773,9 | | 4,837 |
| 3 | 3900 | 290 | 20 | | | 140 | | | | | 1005,4 | |
| | | | | 190 | 800 | | 175 | 720 | 168 | 1186,6 | | 6,245 |
| 4 | 3100 | 480 | 30 | | | 210 | | | | | 2192,0 | |
| | | | | 190 | 600 | | 255,5 | 540 | 245,3 | 1299,4 | | 6,839 |
| 5 | 2500 | 670 | 43 | | | 301 | | | | | 3491,4 | |
| | | | | 320 | 300 | | 378 | 270 | 362,9 | 961,2 | | 3,004 |
| 6 | 2200 | 990 | 65 | | | 455 | | | | | 4452,6 | |

7. Визначаємо теоретичний гідроенергетичний потенціал усього водотоку

$$E_n = 8760 \cdot \sum_{i=1}^K N_{oi} = 8760 \cdot 4452,6 =$$
(9)

$$39004776 \text{ тис. кВт} \cdot \text{год} = 39,0 \text{ млрд. кВт} \cdot \text{год}.$$

де 8760 год – число годин використання гідроелектростанції; K – кількість ділянок водотоку.

8. За результатами розрахунків будуємо кадастрові графіки гідроресурсів водотоку (рис. 1).

Кадастрові графіки гідроресурсів водотоку – це графічні залежності відміток рівнів води, витрат та потужностей водотоку у його створах.



Паспорт річки - це уніфіковане зведення основних даних про водний режим, фізико-географічні особливості, використання природних ресурсів і екологічну обстановку у її басейні, а також відпрацювання рекомендацій щодо підвищення стійкості екологічної системи.

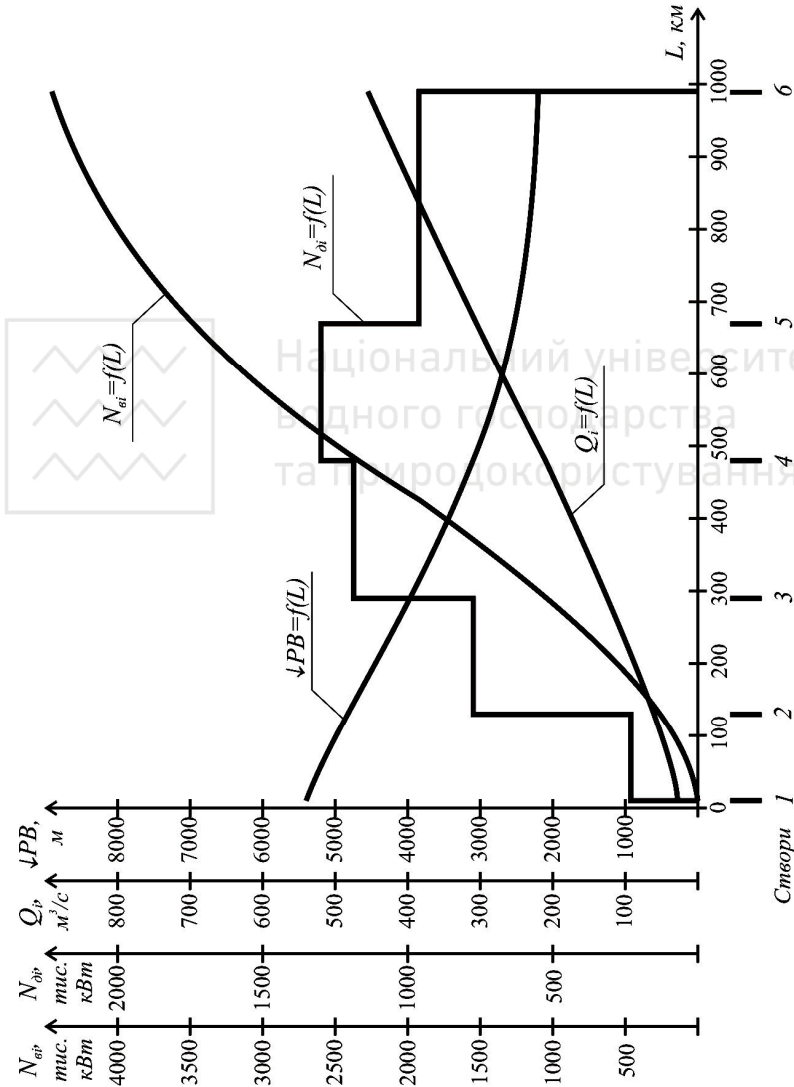


Рис. 1. Кадастрові графіки гідроресурсів водотоку



**Скоригування природного гідрографа стоку річки
за умов його комплексного використання**

Приклад VII. Скоригувати природний гідрограф стоку річки гідровузла комплексного призначення врахувавши:

- 1) втрати води на фільтрацію, випаровування, льодоутворення;
- 2) втрати води на зрошення, водопостачання, судноплавство.

Вихідні дані (*приймаються згідно додатків Д.7.1 та Д.7.2*):

| Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---------------------------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|------|-----|------|------|-----|
| $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ | 800 | 790 | 670 | 4700 | 4800 | 750 | 750 | 700 | 740 | 1020 | 1000 | 810 |

Площа дзеркала водосховища $F = 170 \text{ км}^2$.

Чисельність населення $N = 3,6 \text{ млн. чол.}$

Витрата на шлюзування суден $Q_{шл} = 11 \text{ м}^3/\text{с}$.

Широта, у якій знаходиться водотік – *середня*.

Порядок виконання

1. Визначаємо втрати води на фільтрацію

$$\Delta W_{\phi} = h_{\phi} \cdot F = 1,0 \cdot 170 = 170 \text{ км}^3 = 170 \cdot 10^6 \text{ м}^3, \quad (1)$$

де F – площа дзеркала водосховища, км^2 ; h_{ϕ} – шар води, що втрачається протягом року із одиниці площі дзеркала водосховища (величину шару h_{ϕ} можна приймати при хороших гідрогеологічних умовах /водонепроникні ґрунти/ – $h_{\phi} = 0,5 \text{ м}$; при середніх умовах – $h_{\phi} = 1,0 \text{ м}$; при важких умовах – $h_{\phi} = 1,5 \dots 2,0 \text{ м}$).

Фільтраційна витрата, на яку необхідно скоригувати гідрограф побутових витрат річки

$$\Delta Q_{\phi} = \frac{\Delta W_{\phi}}{2,63 \cdot 10^6 \cdot 12} = \frac{170 \cdot 10^6}{2,63 \cdot 10^6 \cdot 12} = 5,4 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2)$$

2. Визначаємо втрати води на випаровування

$$\Delta W_{вин} = (h_{г} - h_{с}) \cdot F = (0,5 - 0,35) \cdot 170 \cdot 10^6 = 25,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3, \quad (3)$$

де $h_{г}$, $h_{с}$ – висота шару випаровування із водної поверхні та суходолу (приймаємо за табл. VII.1).

Таблиця VII.1

Висота шару випаровування

| Висота шару випаровування, см | Широта | | |
|----------------------------------|-----------|-----------|------------|
| | північна | середня | південна |
| із водної поверхні, $h_{г}$ | 30 ... 40 | 40 ... 60 | 60 ... 100 |
| із поверхні суходолу, $h_{с}$ | 10 ... 30 | 30 ... 40 | 40 ... 50 |



Витрата випаровування, на яку коригується гідрограф, рівна

$$\Delta Q_{\text{вип}} = \frac{\Delta W_{\text{вип}}}{(12-n) \cdot 2,63 \cdot 10^6} = \frac{25,5 \cdot 10^6}{(12-6) \cdot 2,63 \cdot 10^6} = 1,6 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4)$$

де n – число місяців льодоставу.

3. Визначаємо втрати води на льодоутворення

$$\Delta W_{\text{л}} = 0,9 \cdot h_{\text{л}} \cdot F = 0,9 \cdot 0,4 \cdot 170 \cdot 10^6 = 61,2 \cdot 10^6 \text{ м}^3, \quad (5)$$

де $\rho_{\text{л}} = 0,9$ – об'ємна маса льоду, т/м³; $h_{\text{л}}$ – товщина льоду, см.

Таблиця VII.2

Значення товщини льоду

| Товщина льоду, см | Широта | | |
|-------------------|------------|-----------|-----------|
| | північна | середня | південна |
| $h_{\text{л}}$ | 60 ... 100 | 40 ... 60 | 30 ... 40 |

Під час льодоставу втрати на льодоутворення рівні

$$\Delta Q_{\text{л}} = \frac{\Delta W_{\text{л}}}{2,63 \cdot 10^6 \cdot n} = \frac{61,2 \cdot 10^6}{2,63 \cdot 10^6 \cdot 6} = 3,9 \text{ м}^3/\text{с} \quad (6)$$

у період відкритої води

$$\Delta Q_{\text{л}} = \frac{\Delta W_{\text{л}}}{(12-n) \cdot 2,63 \cdot 10^6} = \frac{61,2 \cdot 10^6}{(12-6) \cdot 2,63 \cdot 10^6} = 3,9 \text{ м}^3/\text{с} \quad (7)$$

Коригування гідрографа на льодоутворення здійснюється так: в період льодоставу втрати рівномірно віднімаються, а під час танення льоду вони рівномірно додаються до розрахункового стоку.

4. Втрати води на водопостачання залежать від норми водоспоживання населення і промислових витрат:

$$\Delta Q_{\text{вод}} = \Delta Q_{\text{нас}} + \Delta Q_{\text{пром}} = 8,3 + 720 = 728,3 \text{ м}^3/\text{с} \quad (8)$$

Втрати води на водопостачання населення рівні

$$\Delta Q_{\text{нас}} = q_{\text{н}} \cdot N = 0,2 \cdot 3,6 \cdot 10^6 = 0,72 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (9)$$

$$\Delta Q_{\text{нас}} = 0,72 \cdot 10^6 / 86400 = 8,3 \text{ м}^3/\text{с},$$

де $q_{\text{н}} = 200 \text{ л/добу} = 0,2 \text{ м}^3/\text{добу}$ – норма водоспоживання (приймаємо за таблицею VII.3); N – кількість жителів, які проживають у районі створення водогосподарського комплексу.

Втрати води для забезпечення промисловості за середніми статистичними даними становлять $10 \div 17 \%$ від максимальної природної витрати

$$\Delta Q_{\text{пром}} = 0,15 \cdot Q_{\text{макс}} = 0,15 \cdot 4800 = 720 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (10)$$

де $Q_{\text{макс}}$ – максимальна ордината природного гідрографа стоку, м³/с.



Норма водоспоживання

| Ступінь благоустрою населення | Норма водоспоживання q_n л/добу |
|---|--------------------------------------|
| Без водопроводу і каналізації | 30 ... 50 |
| Водопровід, каналізація, без ванн | 125 ... 150 |
| Водопровід, каналізація, ванна, газова колонка | 180 ... 230 |
| Водопровід, каналізація, центральне гаряче водопостачання | 275 ... 400 |

5. Втрати для потреб меліорації становлять 20÷30 % витрати водотоку

$$\Delta Q_{zp} = (0,2 \div 0,3) \cdot Q_i, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (11)$$

де Q_i – витрата річки кожного місяця (враховується тільки за вегетативний період із квітня по вересень).

6. Втрати води на шлюзування мають постійний характер і враховуються під час періоду відкритої води (квітень-вересень)
 $\Delta Q_{шл} = 11,0 \text{ м}^3/\text{с}.$

7. Визначаємо сумарні втрати води, на які коригується природний гідрограф стоку.

$$Q_{ск.i} = Q_i + \Sigma \Delta Q_i \quad (12)$$

Розрахунки виконуємо у табличній формі (див. таблицю VII.4).

Таблиця VII.4

Коригування природного гідрографа стоку річки

| Витрати $\text{м}^3/\text{с}$ | Місяці року | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Q_i | 800 | 790 | 670 | 4700 | 4800 | 750 | 750 | 700 | 740 | 1020 | 1000 | 810 |
| $\Delta Q_{ф}$ | -5,4 | -5,4 | -5,4 | -5,4 | -5,4 | -5,4 | -5,4 | -5,4 | -5,4 | -5,4 | -5,4 | -5,4 |
| $\Delta Q_{внт}$ | | | | -1,6 | -1,6 | -1,6 | -1,6 | -1,6 | -1,6 | | | |
| $\Delta Q_{л}$ | -3,9 | -3,9 | -3,9 | +3,9 | +3,9 | +3,9 | +3,9 | +3,9 | +3,9 | -3,9 | -3,9 | -3,9 |
| $\Delta Q_{вод}$ | -728,3 | -728,3 | -728,3 | -728,3 | -728,3 | -728,3 | -728,3 | -728,3 | -728,3 | -728,3 | -728,3 | -728,3 |
| ΔQ_{zp} | | | | -1175 | -1200 | -187,5 | -187,5 | -175 | -185 | | | |
| $\Delta Q_{шл}$ | | | | -11 | -11 | -11 | -11 | -11 | -11 | | | |
| $\Sigma \Delta Q$ | -737,6 | -737,6 | -737,6 | -1917,4 | -1942,4 | -929,9 | -929,9 | 917,4 | 927,4 | 742,4 | 737,6 | 737,6 |
| $Q_{ск}$ | 62,4 | 52,4 | -67,6 | 2782,6 | 2857,6 | -179,9 | -179,9 | -217,4 | -187,4 | 277,6 | 262,4 | 72,4 |

8. На основі виконаних розрахунків будемо гідрографи природного і скоригованого стоку річки.

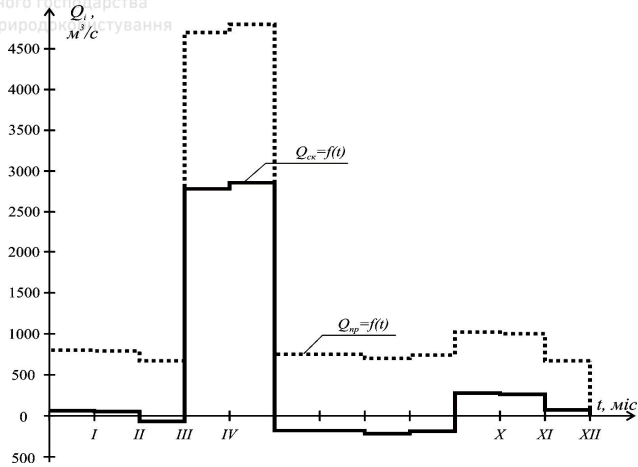
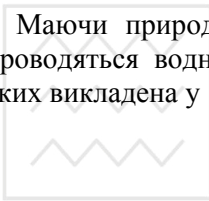


Рис.1. Гідрографи природного і скорегованого стоку річки

Маючи природний та скорегований гідрографи стоку річки, проводяться водно-енергетичні розрахунки, методика виконання яких викладена у [6].



Практична робота № 8

Визначення оптимальної глибини спрацювання водосховища

Для визначення оптимальної глибини спрацювання водосховища, у якості критерію приймається максимум виробітку електроенергії на ГЕС (за розрахунковий період часу T при заданому $VНПР$). При цьому виробіток електроенергії E за даний період умовно можна розділити на дві складові

$$E = E_B + E_C, \quad (1)$$

Перша складова E_B визначається тільки спрацьованою через турбіни ГЕС корисною ємкістю водосховища W_B , а друга складова E_C залежить тільки від транзитного стоку W_C . Обидві складові визначаються за формулою

$$E = \frac{W \cdot H \cdot \eta}{367,2}, \quad (2)$$

де η – ККД гідроелектростанції; H – діючий на гідроелектростанцію напір, м; W – об'єм стоку, m^3 .



Приклад VIII. Визначити виробіток електроенергії на ГЕС при різних глибинах спрацювання водосховища. Знайти оптимальну глибину спрацювання водосховища і відповідну їй відмітку рівня мертвого об'єму. Вказати величину корисного об'єму водосховища.

Вихідні дані (приймаються згідно додатків Д.8.1 та Д.8.2)

1. Вид регулювання стоку – річний.
2. Об'єм стоку за розрахунковий період регулювання –
 $W_C = 15 \cdot 10^9 \text{ м}^3$.
3. Координати кривої залежності об'єму водосховища від рівнів води у верхньому б'єфі:

| Рівень води \downarrow ВБ, м | Об'єм водосховища W_B , м ³ |
|--------------------------------|--|
| 540 | $33 \cdot 10^9$ |
| 520 | $18 \cdot 10^9$ |
| 500 | $8 \cdot 10^9$ |
| 480 | $3 \cdot 10^9$ |

4. Координати кривої зв'язку витрат та рівнів у нижньому б'єфі:

| Рівень води \downarrow НБ, м | Витрата води Q , м ³ /с |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| 420,0 | 0 |
| 424,0 | 400 |
| 425,7 | 800 |
| 426,6 | 1200 |
| 427,2 | 1600 |
| 429,5 | 3000 |

5. Відмітка нормального підпірного рівня \downarrow НПП = 540 м.
6. Коефіцієнт корисної дії установки $\eta = 0,84$.

Порядок виконання

1. У відповідності із вихідними даними будуємо криві \downarrow ВБ = $f(W_B)$ та \downarrow НБ = $f(Q)$ - (див. рис. 1 та рис. 2).

2. У верхньому б'єфі призначаємо 5÷6 відміток рівня води (можна із однаковим інтервалом), і для кожного із них визначаємо об'єм W_B , глибину спрацювання $h_{сп}$ і розрахунковий рівень \downarrow ВБ.

Для вибору відміток рівня із різним спрацюванням приймаємо інтервал між ∇ НПП і рівнем, що відповідає об'єму водосховища ΔW (рахуючи від відмітки ∇ НПП).

Примітка: $\Delta W = 0, 1 \cdot Wc$ – при добовому і тижневому регулюванні;
 $\Delta W = 0, 3 \cdot Wc$ – при річному регулюванні.

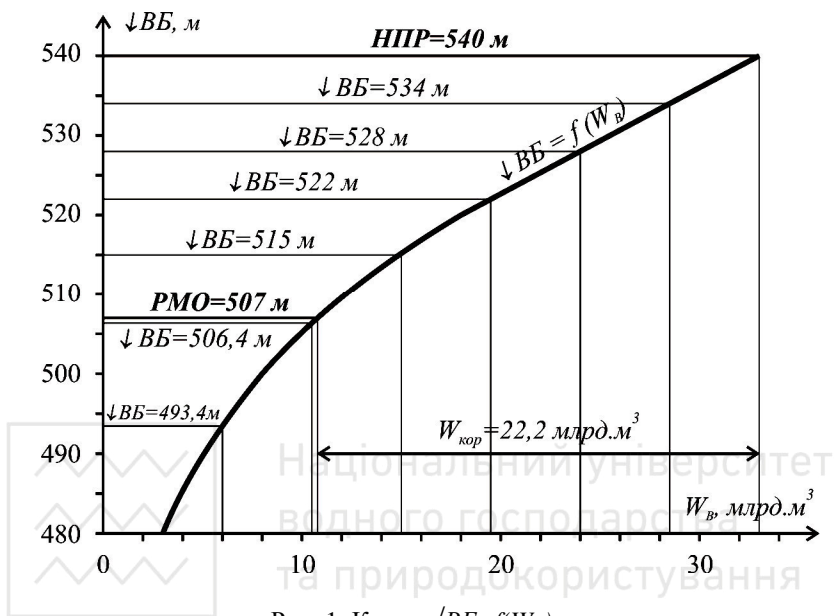


Рис. 1. Крива $\downarrow BB = f(W_B)$

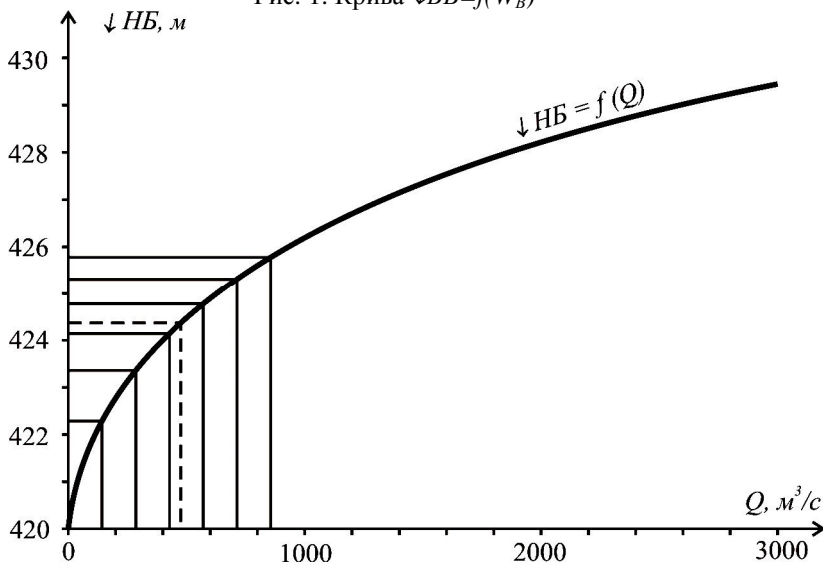


Рис. 2. Крива $\downarrow НБ = f(Q)$



Таблиця VIII.1

| W_{B_i} млрд.м ³ | $h_{спр}$, м | \sqrt{BB} , м |
|----------------------------------|------------------|--------------------|
| 0 | 0 | 540,0 |
| 4,5 | 6,0 | 534,0 |
| 9,0 | 12,0 | 528,0 |
| 13,5 | 18,0 | 522,0 |
| 18,0 | 25,0 | 515,0 |
| 22,5 | 33,6 | 506,4 |
| 27,0 | 46,6 | 493,4 |

$$\Delta W = 0,3 \cdot 15 \cdot 10^9 = 4,5 \cdot 10^9 \text{ м}^3.$$

3. Визначаємо складові виробітку електроенергії E_B , що отримується за рахунок спрацювання ємкості водосховища через турбіни ГЕС:

- витрати при спрацюванні об'єму водосховища

$$Q_{B_i} = W_{B_i} / T, \quad (3)$$

де $T=86400$ с – при добовому регулюванні, $T=604800$ с – при тижневому регулюванні, $T=31536000$ с – при річному регулюванні.

- за кривою $\sqrt{HB} = f(Q)$ знаходимо відповідні витратам рівні води у нижньому б'єфі;

- знаходимо значення напорів

$$H_{B_i} = \sqrt{BB_i} - \sqrt{HB_i}; \quad (4)$$

- визначаємо енергію, що виробляється за рахунок спрацювання водосховища E_{B_i}

$$E_{B_i} = \frac{W_{B_i} \cdot H_{B_i} \cdot \eta}{367,2}. \quad (5)$$

Розрахунки виконуємо у табличній формі (див.таблицю VIII.2).

Таблиця VIII.2

Складові виробітку електроенергії E_B , що отримується за рахунок спрацювання ємкості водосховища через турбіни ГЕС

| W_B , млрд.м ³ | \sqrt{BB} , м | Q_B , м ³ /с | \sqrt{HB} , м | H_B , м | E_B , кВт · год |
|-----------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------|-------------------|
| 0 | 540,0 | 0 | 420 | 120 | 0 |
| 4,5 | 534,0 | 142,7 | 422,3 | 111,7 | $1,15 \cdot 10^9$ |
| 9,0 | 528,0 | 285,4 | 423,4 | 104,6 | $2,15 \cdot 10^9$ |
| 13,5 | 522,0 | 428,1 | 424,1 | 97,9 | $3,02 \cdot 10^9$ |
| 18,0 | 515,0 | 570,8 | 424,8 | 90,2 | $3,71 \cdot 10^9$ |
| 22,5 | 506,4 | 713,5 | 425,3 | 81,1 | $4,17 \cdot 10^9$ |
| 27,0 | 493,4 | 856,2 | 425,8 | 67,6 | $4,18 \cdot 10^9$ |



4. Визначаємо складові виробітку електроенергії E_C , що отримується при спрацюванні транзитного стоку:

— величина витрати буде постійною

$$Q_C = W_C / T = 15 \cdot 10^9 / 31536000 = 475,6 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (6)$$

— відмітка води у НБ також буде постійною (за кривою $\sqrt{H_B} = f(Q)$ визначаємо $\sqrt{H_B} = 424,4 \text{ м}$);

— статичні напори

$$H_{Ci} = \sqrt{BB_i} - \sqrt{H_B}; \quad (7)$$

— виробіток енергії

$$E_{Ci} = \frac{W_{Ci} \cdot H_{Ci} \cdot \eta}{367,2}. \quad (8)$$

Розрахунки виконуємо у табличній формі (див. таблицю VIII.3).

Таблиця VIII.3

Складові виробітку електроенергії E_C , що отримується при спрацюванні транзитного стоку

| \sqrt{BB} , м | Q_C , м ³ /с | $\sqrt{H_B}$, м | H_C , м | E_C , кВт · год |
|-----------------|---------------------------|------------------|-----------|-------------------|
| 540,0 | 475,6 | 424,4 | 115,6 | $3,97 \cdot 10^9$ |
| 534,0 | | | 109,6 | $3,76 \cdot 10^9$ |
| 528,0 | | | 103,6 | $3,55 \cdot 10^9$ |
| 522,0 | | | 97,6 | $3,35 \cdot 10^9$ |
| 515,0 | | | 90,6 | $3,11 \cdot 10^9$ |
| 506,4 | | | 82,0 | $2,81 \cdot 10^9$ |
| 493,4 | | | 69,0 | $2,37 \cdot 10^9$ |

5. Визначаємо сумарні значення виробітку енергії для усіх варіантів рівнів води у водосховищі.

Таблиця VIII.4

| \sqrt{BB} , м | E_B , кВт · год | E_C , кВт · год | E , кВт · год |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 540,0 | 0 | $3,97 \cdot 10^9$ | $3,97 \cdot 10^9$ |
| 534,0 | $1,15 \cdot 10^9$ | $3,76 \cdot 10^9$ | $4,91 \cdot 10^9$ |
| 528,0 | $2,15 \cdot 10^9$ | $3,55 \cdot 10^9$ | $5,70 \cdot 10^9$ |
| 522,0 | $3,02 \cdot 10^9$ | $3,35 \cdot 10^9$ | $6,37 \cdot 10^9$ |
| 515,0 | $3,71 \cdot 10^9$ | $3,11 \cdot 10^9$ | $6,82 \cdot 10^9$ |
| 506,4 | $4,17 \cdot 10^9$ | $2,81 \cdot 10^9$ | $6,98 \cdot 10^9$ |
| 493,4 | $4,18 \cdot 10^9$ | $2,37 \cdot 10^9$ | $6,55 \cdot 10^9$ |



Будуємо графіки $E_B=f(BB)$, $E_C=f(BB)$ та $E=f(BB)$, із яких визначасмо оптимальне значення рівня верхнього б'єфу, що відповідає максимуму виробленої енергії (див. рис. 3).

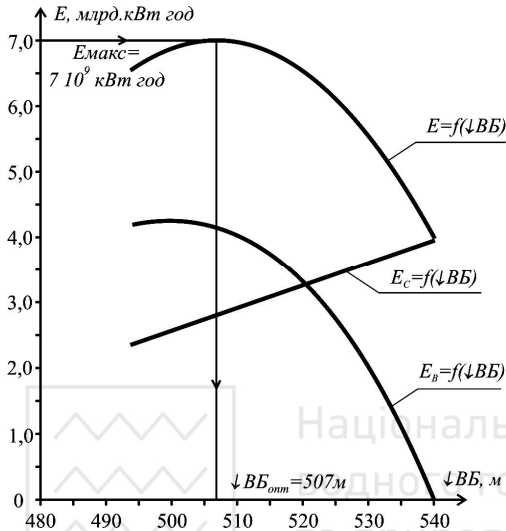


Рис. 3. Графіки $E_B=f(BB)$, $E_C=f(BB)$ та $E=f(BB)$

Висновок:

Максимуму виробленої енергії $E_{\max}=7,0$ млрд. кВт·год відповідає відмітка води у водосховищі $\downarrow PVB_{\text{omm}}=507,0$ м.

За кривою $\downarrow PVB=f(W)$ (рис.VIII.1) визначасмо глибину спрацювання водосховища $h_{\text{спр}}=33,0$ м, а також повний об'єм $W_{\text{П}}=33,0$ млрд.м³, корисний об'єм $W_{\text{кор}}=22,2$ млрд.м³ та мертвий об'єм $W_{\text{МО}}=10,8$ млрд.м³.

Практична робота № 9

Визначення тривалості замулення мертвого об'єму водосховища

Приклад IX. Визначити тривалість періоду замулення мертвого об'єму запроєктованого водосховища. Необхідно:

- 1) визначити норму річного стоку зважених і перенесених наносів, а також їх сумарний об'єм за рік;
- 2) визначити час замулення мертвого об'єму водосховища.



Вихідні дані (приймаються згідно додатку Д.9.1):

1. Площа водозбору $F=100 \text{ км}^2$.
2. Мертвий об'єм водосховища $W_{MO}=25\,000 \text{ м}^3$.
3. Норма річного стоку $Q_0=0,35 \text{ м}^3/\text{с}$.
4. Норма мутності води $\rho_{ок}=0,24 \text{ кг/м}^3=240 \text{ г/м}^3$.

Порядок виконання

1. Норму річного стоку зважених наносів визначаємо за заданою мутністю води із урахуванням перехідного коефіцієнта K_{II} (табл.IX.1).

Таблиця IX.1

Перехідний коефіцієнт від зональної норми мутності води
до мутності малих річок [16]

| Площа водозбору, км ² | 2 | 5 | 10 | 50 | 100 | 500 |
|----------------------------------|----|----|----|----|-----|-----|
| Коефіцієнт K_{II} | 40 | 20 | 13 | 5 | 3 | 1 |

$$R_0 = \frac{\rho_{ок} \cdot Q_0 \cdot K_{II}}{1000} = \frac{240 \cdot 0,35 \cdot 3}{1000} = 0,252 \text{ кг/с} \quad (1)$$

Оскільки водосховище знаходиться на рівнинній місцевості, для наближеної оцінки перенесених наносів приймаємо їх частку рівною 4% від зважених. Тоді норма перенесених наносів буде рівна $G_0=0,252 \cdot 0,04=0,010 \text{ кг/с}$. Загальна середня багаторічна витрата наносів рівна

$$R'_0 = R_0 + G_0 = 0,252 + 0,01 = 0,262 \text{ кг/с} \quad (2)$$

Маса стоку наносів за рік становить

$$P_n = R'_0 \cdot 3,51 \cdot 10^6 = 0,262 \cdot 3,51 \cdot 10^6 = 919620 \text{ кг} \approx 920 \text{ т} \quad (3)$$

До складу наносів, що акумулюються у водосховищі, входять також органічні речовини, що утворюються при відмиранні рослинних і тваринних організмів. Умовно частка органічних речовин приймається 5÷10 % від маси закумуляованих мінеральних наносів. У нашому випадку приймаємо органічну частину наносів рівною 10 %, тобто 92 т. Тоді маса сумарної кількості відкладень у середньому за рік становить $P_n=920+92=1012 \text{ т}$.

Сумарний об'єм наносів, що надходять у водосховище, визначають за формулою:



$$W_H = \frac{P_H}{\gamma} = \frac{1012}{1,2} = 843,3 \text{ м}^3, \quad (4)$$

де γ – об'ємна маса наносів, т/м^3 (для мулових наносів у перші роки відкладання рівна $0,7 \div 0,9$, а для ущільнених наносів $1,2 \div 1,3 \text{ т/м}^3$).

2. Тривалість періоду замулення мертвого об'єму водосховища визначається за формулою

$$T = \frac{W_{MO}}{W_H \cdot (1 - \delta)}, \quad (5)$$

де T – середня тривалість періоду замулення водосховища у роках; W_{MO} – мертвий об'єм водосховища, м^3 ; W_H – сумарний середній багаторічний об'єм наносів, що надходять за рік, м^3 ; δ – транзитна частина наносів мілких фракцій, що скидаються із водосховища при повенях і паводках, у долях від загального об'єму наносів.

Транзитна частина наносів залежить від механічного складу і коефіцієнта — зарегульованості стоку. Якщо коефіцієнт зарегульованості рівний одиниці, то для піщаних наносів $\delta=0,10$, для легкосуглинистих $\delta=0,30$, для важкосуглинистих $\delta=0,40$. У нашому випадку приймаємо $\delta=0,30$, і отримуємо середній час замулення водосховища:

$$T = \frac{25000}{843,3 \cdot (1 - 0,30)} = \frac{25000}{590,3} = 42 \text{ роки.}$$

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Маковський А. М., Філіпович Ю. Ю. Энергоресурси та гідрологічні основи гідроенергетики. – Рівне: НУВГП, 2010. – 130 с.: іл.
2. Непорожний П. С., Обрезков В. И. Введение в специальность: Гидроэнергетика: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.: ил.
3. Коротун І. М., Коротун Л. К., Коротун С. І. Природні умови і ресурси України. – Рівне: УДАВГ, 1997. – 175 с.
4. Мировая энергетика / Под ред. Ю. Н. Старшинова.- Пер. с англ. – М.: Энергия, 1980. – 256 с.
5. Введение в гидротехнику: Учебное пособие для вузов / А. Л. Можевитинов, Г. В. Смехов и др. – Под ред. А. Л.Можевитинова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 232 с., ил.



Додаток 1

**Вихідні дані до практичної роботи № 1
„Основні фізичні величини. Еквівалентність тепла і роботи”**

Таблиця Д.1.1

| Параметри | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------------------|-------------------|---------|-------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Остання цифра шифру | | | | | | | | | | |
| Родовище, вид і марка палива | Донбас, вугілля Д | Мазут М | Донбас, вугілля Г | Донбас, вугілля ПЖ | Караганда, вугілля БР | Караганда, вугілля ПС | Олександрія, вугілля Б | Кемерово, вугілля ПС | Донбас, вугілля АС | Донбас, вугілля АМ |
| Передостання цифра шифру | | | | | | | | | | |
| Маса палива, кг | 4900 | 9500 | 5600 | 2700 | 6100 | 3700 | 8600 | 4300 | 7500 | 1750 |

Таблиця Д.1.2

Середні характеристики теплоти згоряння основних видів палива

| Родовище | Марка і сорт палива | Теплота згоряння палива Q_H^p , ккал/кг |
|------------------|---------------------|---|
| 1 | 2 | 3 |
| <i>Вугілля</i> | | |
| Донецький басейн | Д | 4900 |
| | Г | 5900 |
| | ПЖ | 5980 |
| | Т | 6600 |
| | АМ і АС | 6500 |
| | АРШ | 6100 |



| | | |
|------------------------------------|-----------|------|
| Кузнецкий басейн | К і ПС | 5990 |
| Кемеровське родовище | Д | 6300 |
| Ленінське родовище | | |
| Прокоповсько-Кисельовське родовище | СС | 6700 |
| Карагандинський басейн | ПЖ, ПС | 5300 |
| | БР | 3600 |
| Печорський басейн | ПЖ | 5900 |
| Урал | | |
| Кизеловське родовище | Г | 4970 |
| Єгоршинське родовище | ПА | 5900 |
| Челябінське родовище | Б | 3770 |
| Черемхівське родовище | Д | 4660 |
| Олександрійське родовище | Б | 1650 |
| <i>Горючі сланці</i> | | |
| Естонія | - | 2700 |
| Гдовське родовище | - | 2000 |
| Савелієвське родовище | - | 1400 |
| <i>Торф</i> | | |
| - | Кусковий | 2560 |
| - | Фрезерний | 2050 |
| <i>Дрова</i> | | |
| - | Середні | 2450 |
| <i>Мазут</i> | | |
| - | - | 9400 |

Примітка: умовні позначення марки і сорту вугілля розшифровуються так: Д – із довгим полум'ям; Г – газове; ПЖ – парове жирне; Т – збіднене; АМ – антрацит мілкий; АС – антрацит “зернятко”; АРШ – антрацит рядовий, штиб; К – коксівне; ПС – парове, спікається; СС – слабо-спікається; БР – буре родове; АР – антрацит рядовий; Б – буре



Вихідні дані до практичної роботи № 2
„Розрахунок витрати умовного палива на ТЕЦ”

Таблиця Д.2.1

| Остання цифра шифру | n , шт. | N_T , МВт | E , кВт·год | D , т/рік | Q , млн.ккал/рік | p_{ov} , атм | t_{ov} , °C |
|---------------------|-----------|-------------|-----------------|------------------|--------------------|----------------|---------------|
| 0 | 12 | 300 | $45 \cdot 10^6$ | $210 \cdot 10^3$ | $170 \cdot 10^3$ | 32 | 450 |
| 1 | 4 | 400 | $38 \cdot 10^6$ | $100 \cdot 10^3$ | $58 \cdot 10^3$ | 30 | 450 |
| 2 | 6 | 650 | $42 \cdot 10^6$ | $160 \cdot 10^3$ | $89 \cdot 10^3$ | 32 | 500 |
| 3 | 8 | 350 | $55 \cdot 10^6$ | $200 \cdot 10^3$ | $120 \cdot 10^3$ | 34 | 600 |
| 4 | 4 | 450 | $24 \cdot 10^6$ | $95 \cdot 10^3$ | $53 \cdot 10^3$ | 29 | 300 |
| 5 | 6 | 500 | $34 \cdot 10^6$ | $105 \cdot 10^3$ | $68 \cdot 10^3$ | 30 | 350 |
| 6 | 8 | 750 | $40 \cdot 10^6$ | $160 \cdot 10^3$ | $86 \cdot 10^3$ | 32 | 400 |
| 7 | 4 | 1100 | $50 \cdot 10^6$ | $210 \cdot 10^3$ | $150 \cdot 10^3$ | 34 | 450 |
| 8 | 6 | 800 | $30 \cdot 10^6$ | $100 \cdot 10^3$ | $60 \cdot 10^3$ | 29 | 350 |
| 9 | 8 | 600 | $40 \cdot 10^6$ | $160 \cdot 10^3$ | $92 \cdot 10^3$ | 30 | 400 |

Таблиця Д.2.2

| Перед-остання цифра шифру | $d_{кв}$, кг $\frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$ | χ | $\eta_{ген} \cdot \eta_{мех}$ | $\eta_{ку}$ | h' , ккал/кг | η'_{oe} | $i_{мэв}$, ккал/кг |
|---------------------------|--|--------|-------------------------------|-------------|----------------|--------------|---------------------|
| 0 | 6,0 | 0,10 | 0,90 | 0,85 | 102 | 0,60 | 100 |
| 1 | 6,5 | 0,12 | 0,92 | 0,90 | 104 | 0,65 | 102 |
| 2 | 7,0 | 0,14 | 0,94 | 0,85 | 106 | 0,70 | 104 |
| 3 | 7,5 | 0,16 | 0,96 | 0,90 | 108 | 0,55 | 106 |
| 4 | 6,25 | 0,11 | 0,89 | 0,85 | 110 | 0,60 | 108 |
| 5 | 6,75 | 0,13 | 0,91 | 0,90 | 100 | 0,65 | 96 |
| 6 | 7,25 | 0,15 | 0,93 | 0,85 | 102 | 0,70 | 100 |
| 7 | 7,75 | 0,17 | 0,95 | 0,90 | 104 | 0,55 | 102 |
| 8 | 6,5 | 0,16 | 0,90 | 0,85 | 106 | 0,60 | 104 |
| 9 | 7,0 | 0,14 | 0,92 | 0,90 | 108 | 0,65 | 106 |

Для усіх варіантів $\eta_{mp}=1,0$.



Додаток 3

Вихідні дані до практичної роботи № 3
„Розрахунок вітроенергетичної станції”

Таблиця Д.3.1

| Найменування параметрів | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---------------------|-----|-----|------|------|----|-----|-----|------|------|
| | Остання цифра шифру | | | | | | | | | |
| Кількість вітроенергетичних установок, n , шт. | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 6 | 7 | 14 | 15 |
| Необхідна потужність ВЕУ, $N_{необх.}$ Вт | 75 | 300 | 750 | 1500 | 2500 | 80 | 400 | 600 | 1800 | 3000 |
| Швидкість вітру, w , м/с | 12 | 11 | 10 | 9 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 19 |
| Температура повітря, t , °С | -18 | -15 | -12 | -10 | -5 | 0 | +5 | +10 | +12 | +15 |
| Атмосферний тиск, p , кПа | 100 | 101 | 102 | 101 | 100 | 99 | 98 | 97 | 99 | 101 |

Таблиця Д.3.2

| Найменування параметрів | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Передостання цифра шифру | | | | | | | | | |
| Довжина лопатки вітрового колеса, L , м | 2,5 | 2,7 | 2,9 | 3,0 | 2,8 | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 2,0 | 2,3 |
| ККД вітродвигуна, η_B , % | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 | 33 |
| Електричний ККД установки, η_e , % | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 77 | 76 | 75 | 74 |
| Кількість лопатей ВЕУ, $i_{лов}$ шт. | 3 | 2 | 3 | 10 | 3 | 2 | 3 | 10 | 3 | 2 |
| Максимальна висота навколишніх перешкод, h , м | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |



Вихідні дані до практичної роботи № 4
„Розрахунок сонячної електростанції”

Таблиця Д.4.1

| Найменування параметрів | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Остання цифра шифру | | | | | | | | | |
| Кількість геліостатів, n , шт | 2500 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 7000 | 7500 | 8000 | 8500 | 9000 |
| Інтенсивність сонячного випромінювання, I , Вт/м ² | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | 750 | 800 |
| Тиск гострого пару, p_1 , МПа | 12 | 13 | 11 | 9 | 8 | 3 | 6 | 7 | 10 | 5 |
| Тиск у конденсаторі, p_2 , кПа | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 10 |

Таблиця Д.4.2

| Найменування параметрів | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Передостання цифра шифру | | | | | | | | | |
| Площа дзеркал одного геліостата, F , м ² | 10 | 12 | 14 | 11 | 13 | 15 | 8 | 16 | 9 | 17 |
| Коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання, $\eta_{св}$, % | 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 48 |
| Температура гострого пару, t , °С | 450 | 500 | 600 | 350 | 300 | 280 | 260 | 240 | 300 | 500 |
| ККД парогенератора, $\eta_{пг}$ | 0,81 | 0,82 | 0,83 | 0,84 | 0,85 | 0,84 | 0,83 | 0,82 | 0,81 | 0,80 |
| ККД фотоелектричних перетворювачів, $\eta_{ф.е.}$ | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,14 | 0,13 | 0,12 | 0,15 | 0,14 |



Вихідні дані до практичної роботи № 5
„Розрахунок геотермальних енергетичних установок”

Таблиця Д.5.1

| Найменування параметрів | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--|---------------------|----|---|----|----|----|----|----|---|----|
| | Остання цифра шифру | | | | | | | | | |
| Потужність геотермальної електростанції, N , МВт | 5 | 10 | 6 | 11 | 7 | 12 | 8 | 13 | 9 | 14 |
| Температура охолоджуючої води, $t_{х.в.}$, °С | 6 | 5 | 9 | 10 | 12 | 15 | 11 | 14 | 8 | 7 |

Таблиця Д.5.2

| Найменування параметрів | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Передостання цифра шифру | | | | | | | | | |
| Тепло від води із геотермальних свердловин, $t_{ГГ}$, °С | 200 | 190 | 220 | 210 | 240 | 230 | 260 | 250 | 280 | 270 |
| Відносний внутрішній коефіцієнт турбіни, $\eta_{0.в}$, % | 78 | 80 | 82 | 77 | 79 | 81 | 78 | 80 | 82 | 79 |
| ККД турбогенератора, η_e | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,96 | 0,95 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 |



Вихідні дані до практичної роботи № 6
„Визначення гідроенергетичного потенціалу водотоку.
Побудова кадастрових графіків”

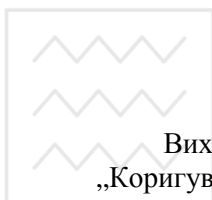
Таблиця Д.6.1

| Остання цифра шифру | №№ створів | Відмітки рівнів води ↓РВ, м | Відстань від джерела L, км | Площа басейну F, тис.км ² |
|---------------------|------------|--------------------------------|-------------------------------|---|
| 0,5 | 1 | 2190 | 22 | 5,5 |
| | 2 | 1454 | 48 | 11 |
| | 3 | 1022 | 76 | 16 |
| | 4 | 693 | 104 | 20 |
| | 5 | 470 | 125 | 25 |
| | 6 | 124 | 170 | 40 |
| 1,6 | 1 | 400 | 0 | 2,5 |
| | 2 | 360 | 160 | 6 |
| | 3 | 300 | 280 | 9 |
| | 4 | 250 | 380 | 14 |
| | 5 | 210 | 450 | 18 |
| | 6 | 170 | 530 | 25 |
| 2,7 | 1 | 860 | 0 | 9,4 |
| | 2 | 700 | 200 | 16,6 |
| | 3 | 675 | 250 | 23 |
| | 4 | 550 | 480 | 36 |
| | 5 | 500 | 650 | 100 |
| | 6 | 425 | 880 | 210 |
| 3,8 | 1 | 1620 | 0 | 10 |
| | 2 | 1100 | 50 | 18 |
| | 3 | 720 | 130 | 27 |
| | 4 | 400 | 280 | 42 |
| | 5 | 190 | 610 | 68 |
| | 6 | 0 | 1020 | 100 |
| 4,9 | 1 | 5400 | 10 | 4 |
| | 2 | 4800 | 130 | 9 |
| | 3 | 3900 | 290 | 20 |
| | 4 | 3100 | 480 | 30 |
| | 5 | 2500 | 670 | 43 |
| | 6 | 2200 | 990 | 65 |



Таблиця Д.6.2

| Параметри | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | Передостання цифра шифру | | | | | | | | | |
| Середньорічний модуль стоку q , л/с | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Втрати витрати стоку річки ΔQ , % | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | Остання цифра шифру | | | | | | | | | |
| Втрати напору ΔH , % | 6 | 8 | 10 | 7 | 9 | 11 | 12 | 10 | 8 | 6 |
| Коефіцієнт корисної дії ГЕС, % | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 85 | 84 | 83 | 82 | 85 |



Додаток 7

Вихідні дані до практичної роботи № 7
„Коригування природного гідрографа стоку річки
за умов його комплексного використання”

Таблиця Д.7.1

| Остання цифра шифру | Щомісячна витрата водотоку Q , м ³ /с | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|------|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| 0 | 800 | 700 | 790 | 3300 | 4500 | 850 | 790 | 1200 | 1000 | 1200 | 1000 | 820 |
| 1 | 850 | 810 | 830 | 4500 | 4000 | 900 | 880 | 840 | 890 | 1350 | 1050 | 870 |
| 2 | 720 | 710 | 715 | 2700 | 3100 | 800 | 710 | 650 | 700 | 900 | 880 | 750 |
| 3 | 750 | 740 | 760 | 3700 | 4500 | 710 | 700 | 680 | 700 | 950 | 920 | 780 |
| 4 | 800 | 790 | 670 | 4700 | 4800 | 750 | 750 | 700 | 740 | 1020 | 1000 | 810 |
| 5 | 680 | 660 | 820 | 3000 | 4000 | 650 | 640 | 650 | 680 | 820 | 810 | 710 |
| 6 | 610 | 610 | 580 | 2500 | 4000 | 810 | 650 | 620 | 615 | 760 | 820 | 690 |
| 7 | 540 | 520 | 670 | 2600 | 3300 | 560 | 550 | 550 | 555 | 720 | 710 | 550 |
| 8 | 710 | 720 | 710 | 4500 | 5300 | 800 | 770 | 750 | 750 | 940 | 1020 | 870 |
| 9 | 680 | 650 | 630 | 3600 | 3100 | 710 | 700 | 710 | 710 | 910 | 930 | 700 |



Таблиця Д.7.2

| Найменування параметрів | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Передостання цифра шифру | | | | | | | | | |
| Площа дзеркала водосховища F , км ² | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 |
| Широта, у якій знаходиться водотік | Пн | Пн | Ср | Ср | Пд | Пд | Пн | Пн | Ср | Ср |
| | Остання цифра шифру | | | | | | | | | |
| Чисельність населення, N , млн. чол. | 3,0 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 4,0 | 3,5 | 3,7 | 3,3 | 3,9 |
| Витрата на шлюзування, $Q_{шл}$, м ³ /с | 20 | 17 | 14 | 11 | 12 | 14 | 16 | 18 | 15 | 20 |

Додаток 8

Вихідні дані до практичної роботи № 8

„Визначення оптимальної глибини спрацювання водосховища”

Таблиця Д.8.1

| Остання цифра шифру | Вид регулювання | Тип кривих | ↓ НІР, м |
|--------------------------|-----------------|------------------------------------|------------|
| 0 | річне | А | 540 |
| 1 | добове | В | 107,5 |
| 2 | річне | С | 400 |
| 3 | річне | А | 530 |
| 4 | добове | В | 107,5 |
| 5 | річне | С | 390 |
| 6 | річне | А | 520 |
| 7 | річне | Д | 410 |
| 8 | добове | В | 107 |
| 9 | річне | С | 395 |
| Передостання цифра шифру | | Об'єм стоку W_C , м ³ | ККД η |
| 0 | | $15 \cdot 10^9$ | 0,81 |
| 1 | | $40 \cdot 10^6$ | 0,84 |
| 2 | | $28 \cdot 10^9$ | 0,83 |
| 3 | | $14 \cdot 10^9$ | 0,80 |
| 4 | | $36 \cdot 10^6$ | 0,84 |
| 5 | | $20 \cdot 10^9$ | 0,82 |
| 6 | | $13 \cdot 10^9$ | 0,81 |
| 7 | | $12 \cdot 10^9$ | 0,83 |
| 8 | | $30 \cdot 10^6$ | 0,81 |
| 9 | | $30 \cdot 10^9$ | 0,82 |



Таблиця Д.8.2

| Тип кривих | Верхній б'єф | | Нижній б'єф | |
|------------|------------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------------|
| | Рівень води ↓ ВБ, м | Об'єм водосховища $W_B, м^3$ | Рівень води ↓ НБ, м | Витрата води $Q, м^3/с$ |
| А | 540 | $33 \cdot 10^9$ | 420,0 | 0 |
| | 520 | $18 \cdot 10^9$ | 424,0 | 400 |
| | 500 | $8 \cdot 10^9$ | 425,7 | 800 |
| | 480 | $3 \cdot 10^9$ | 426,6 | 1200 |
| | | | 427,2 | 1600 |
| В | | | 429,5 | 3000 |
| | 107,5 | $0,62 \cdot 10^9$ | 85,9 | 75 |
| | 106,9 | $0,52 \cdot 10^9$ | 86,3 | 220 |
| | 104,9 | $0,33 \cdot 10^9$ | 88,1 | 360 |
| | 104,0 | $0,29 \cdot 10^9$ | 88,4 | 770 |
| С | | | 90,2 | 1430 |
| | | | 93,0 | 2760 |
| | 400 | $29 \cdot 10^9$ | 195,0 | 0 |
| | 380 | $21 \cdot 10^9$ | 197,6 | 400 |
| | 360 | $16 \cdot 10^9$ | 198,7 | 800 |
| Д | 340 | $12 \cdot 10^9$ | 200,0 | 1200 |
| | | | 201,0 | 1600 |
| | | | 203,8 | 3000 |
| | 410 | $0,80 \cdot 10^9$ | 380,0 | 100 |
| | 409 | $0,65 \cdot 10^9$ | 384,0 | 300 |
| 407 | $0,43 \cdot 10^9$ | 385,5 | 500 | |
| 406 | $0,40 \cdot 10^9$ | 386,6 | 800 | |
| | | 387,3 | 1500 | |
| | | 389,4 | 3000 | |



Вихідні дані до практичної роботи № 9
«Визначення тривалості замулення мертвого об'єму водосховища»

Таблиця Д.9.1

| Параметри | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Остання цифра шифру | | | | | | | | | | |
| Площа водозбору, F , м^2 | 90 | 110 | 130 | 150 | 175 | 200 | 250 | 300 | 350 | 140 |
| Мертвий об'єм водосховища, $W_{\text{мо}}$, м^3 | 20 000 | 30 000 | 35 000 | 40 000 | 45 000 | 50 000 | 60 000 | 65 000 | 68 000 | 47 000 |
| Передостання цифра шифру | | | | | | | | | | |
| Норма річного стоку, Q_0 , $\text{м}^3/\text{с}$ | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,5 | 0,45 | 0,4 | 0,35 | 0,37 | 0,42 |
| Норма мутності води, $\rho_{\text{ок}}$, $\text{кг}/\text{м}^3$ | 0,22 | 0,24 | 0,26 | 0,28 | 0,3 | 0,32 | 0,35 | 0,34 | 0,31 | 0,27 |