

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики
та водного господарства
Кафедра енергетики

02/02-14М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

виконання практичних занять з дисципліни
«Експлуатація гідроенергетичних об'єктів»
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Гідроенергетика»
спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та
гідроенергетика» денної і заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННІЕАВГ
Протокол № 2 від 13.10.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання практичних занять «Експлуатація гідроенергетичних об'єктів» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гідроенергетика» спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика» денної і заочної форм навчання (видання повторне) [Електронне видання] / Філіпович Ю. Ю. Рівне : НУВГП, 2025. 27 с.

Укладач: Філіпович Ю. Ю. – кандидат технічних наук, доцент кафедри енергетики.

Видання повторне – попереднє видання: 01-03-41

Відповідальний за випуск: Василець С. В., доктор технічних наук, професор, в.о.завідувача кафедри енергетики.

Керівник групи забезпечення спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика»: Тимошук В. С., кандидат технічних наук, доцент кафедри енергетики

© Ю. Ю. Філіпович, 2025
© НУВГП, 2025

Зміст

Практична робота № 1. Визначення гідроенергетичного потенціалу водотоку. Побудова кадастрових графіків	4
Практична робота № 2. Коригування природного гідрографа стоку річки за умов його комплексного використання	9
Практична робота № 3. Визначення оптимальної глибини спрацювання водосховища	13
Практична робота № 4. Визначення тривалості замулення мертвого об'єму водосховища	20
Рекомендована література	22
Додатки. Вихідні дані до практичних занять	23

Вступ

Метою вивчення навчальної дисципліни «Експлуатація гідроенергетичних об'єктів» є формування знань у здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гідроенергетика» спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та 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.

Практична робота № 1

Визначення гідроенергетичного потенціалу водотоку. Побудова кадастрових графіків

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

$$E_{пот} = \rho \cdot g \cdot W_{ср} \cdot H_{\partial}, \quad (1)$$

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

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

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

Приклад 1. 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.1.1 та Д.1.2):

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

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

Втрати напору $\Delta H = 10 \%$.

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

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

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

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

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

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

Таблиця I.1

Визначення гідроенергетичного потенціалу водотоку

№ ділянки	$\downarrow PB, \text{ м}$	$L, \text{ км}$	$F, \text{ тис. км}^2$	$L_{oi}, \text{ км}$	$H_{oi}, \text{ м}$	$Q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{oi}, \text{ м}^3/\text{с}$	$H_{oi}^{\phi}, \text{ м}$	$Q_{oi}^{\phi}, \text{ м}^3/\text{с}$	$N_{oi}, \text{ кВт}$	$N_{oi}, \text{ кВт}$	$N_{oi}/L_{oi}, \text{ кВт/км}$
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

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

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

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

8. За результатами розрахунків будуюмо 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.

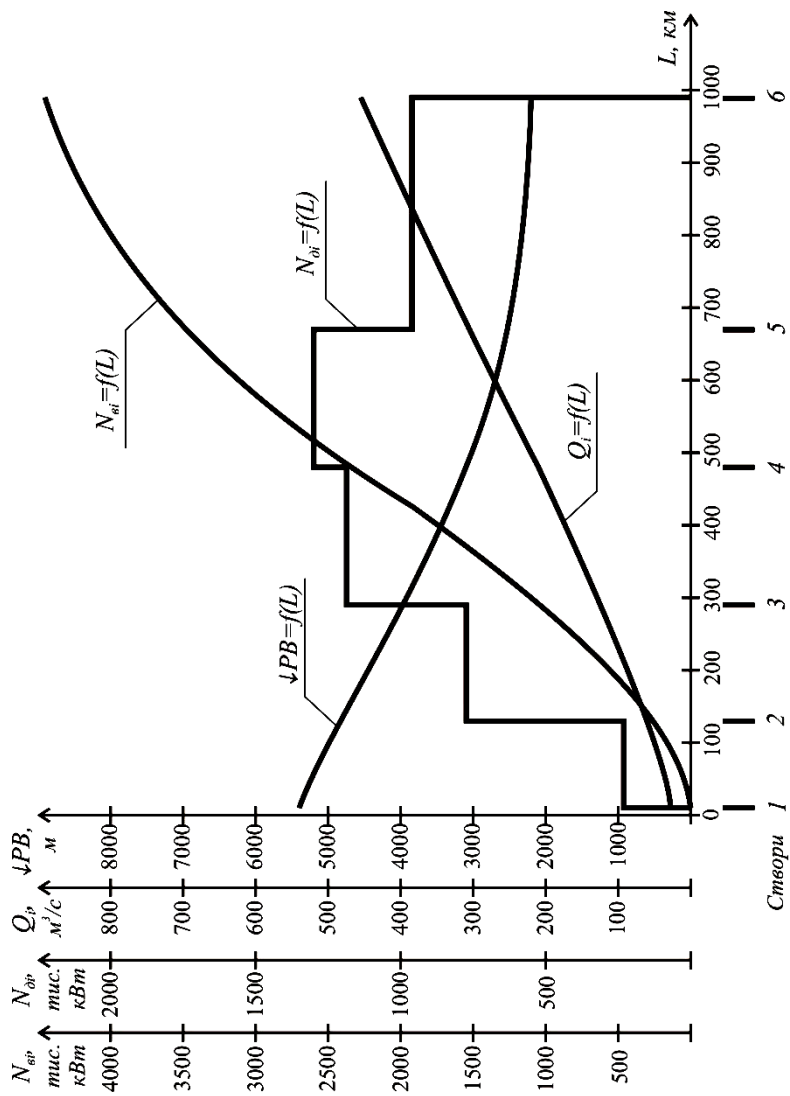


Рис. 1. Кадастрові графіки гідроресурсів водотоку

Практична робота № 2

Коригування 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.2.1 та Д.2.2):

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

$\Delta W_{\text{вип}} = (h_e - h_c) \cdot F = (0,5 - 0,35) \cdot 170 \cdot 10^6 = 25,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3$, (3)
де h_e , h_c – висота шару випаровування із водної поверхні та суходолу (приймаємо за табл. П.1).

Таблиця П.1

Висота шару випаровування

Висота шару випаровування, см	Широта		
	північна	середня	південна
із водної поверхні, h_e	30 ... 40	40 ... 60	60 ... 100
із поверхні суходолу, h_c	10 ... 30	30 ... 40	40 ... 50

Витрата випаровування, на яку коригується гідрограф, рівна

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

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 П.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

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

у період відкритої води

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

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

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

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

де $q_n = 200 \text{ л/добу} = 0,2 \text{ м}^3/\text{добу}$ – норма водоспоживання (приймаємо за таблицею П.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, $\text{м}^3/\text{с}$.

Таблиця П.3

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 $20 \div 30 \%$ витрати водотоку

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

де Q_i – витрата річки кожного місяця (враховується тільки за вегетаційний 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 П.4).

Таблиця П.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
ΔQ_{ϕ}	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4
$\Delta Q_{вин}$				-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
$\Delta Q_{зр}$				-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 будуємо гідрографи природного і скоригованого стоку річки.

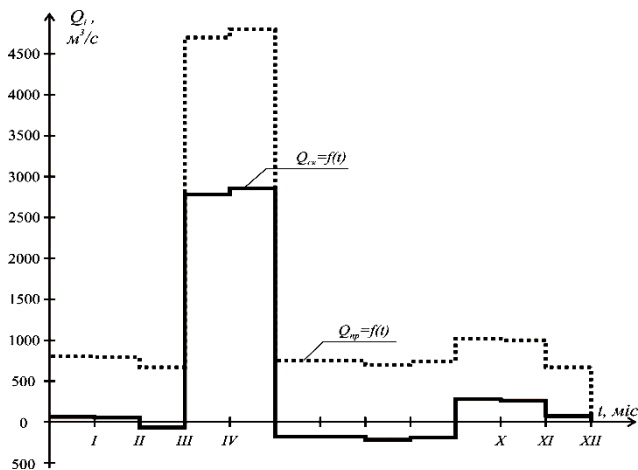


Рис.1. Гідрографи природного і скоригованого стоку річки

Маючи природний та скорегований гідрографи стоку річки, проводяться водно-енергетичні розрахунки.

Практична робота № 3

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, м³.

Приклад III. 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.3.1 та Д.3.2)

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 $\downarrow BB$, 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 $\downarrow HB$, 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 $\downarrow НПР = 540 \text{ м}$.

6. Коефіцієнт корисної дії установки $\eta = 0,84$.

Порядок виконання

1. У відповідності із вихідними даними будуюмо криві $\downarrow BB=f(W_B)$ та $\downarrow HB=f(Q)$ - (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 $h_{спр}$ і розрахунковий рівень $\downarrow BB$.

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

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

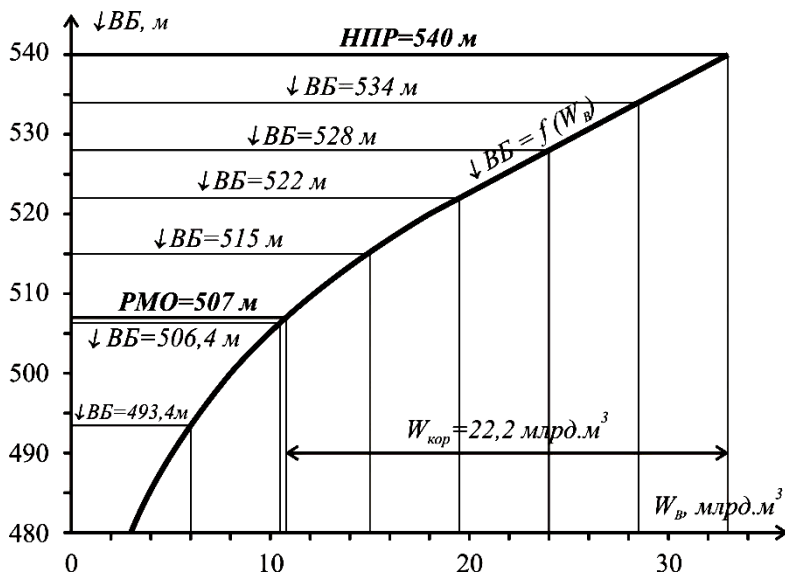


Рис. 1. Крива $\downarrow BB=f(W_B)$

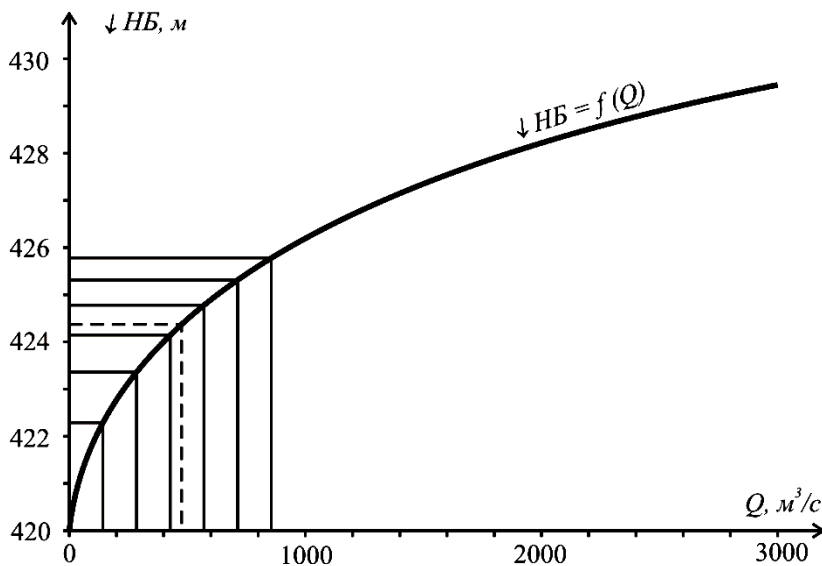


Рис. 2. Крива $\downarrow НБ = f(Q)$

Таблиця III.1

ΔW	$W_{Bi},$ млрд.м³	$h_{cnp},$ м	$\downarrow НБ,$ 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

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

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

– витрати при спрацюванні об'єму водосховища

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

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

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

— знаходимо значення напорів

$$H_{Bi} = \sqrt{B B_i} - \sqrt{H B_i}; \quad (4)$$

— визначаємо енергію, що виробляється за рахунок спрацювання водосховища E_{Bi}

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

Розрахунки виконуємо у табличній формі (див.табл.ІІІ.2).

Таблиця ІІІ.2

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

W_B , млрд.м ³	$\sqrt{B B}$, м	Q_B , м ³ /с	$\sqrt{H B}$, 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

$$H_{Ci} = \sqrt{B B_i} - \sqrt{H B}; \quad (7)$$

— виробіток енергії

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

Розрахунки виконуємо у табличній формі (див. табл.ІІІ.3).

Таблиця ІІІ.3

Складові виробітку електроенергії E_C , що отримується при спрацюванні транзитного стоку

$\sqrt{BB}$, м	Q_C , м ³ /с	$\sqrt{HB}$, 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 уіх варіантів рівнів води у водосховищі.

Таблиця ІІІ.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 визначаємо оптимальне значення рівня верхнього б'єфу, що відповідає максимуму виробленої енергії (див. рис. 3).

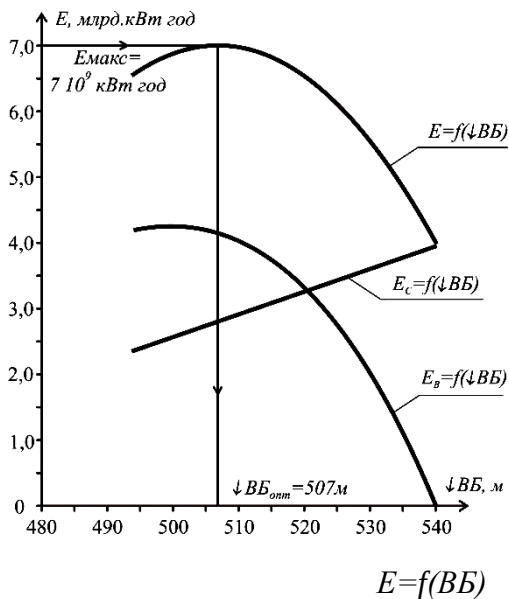


Рис. 3. Графіки $E_B = f(BB)$, $E_C = f(BB)$ та

$$E = f(BB)$$

Висновок:

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

За кривою $\downarrow PBB = f(W)$ (рис.VIII.1) визначаємо глибину спрацювання водосховища $h_{\text{спр}} = 33,0$ м, а також повний об'єм $W_{\text{II}} = 33,0$ 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 № 4

Визначення тривалості замулення мертвого об'єму водосховища

Приклад IV. 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.4.1):

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 $\rho_{OK} = 0,24 \text{ кг/м}^3 = 240 \text{ г/м}^3$.

Порядок виконання

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

Таблиця IV.1

Перехідний коефіцієнт від зональної норми мутності води до мутності малих річок

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

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

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

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

Маса стоку наносів за рік становить

$$P_H = R'_0 \cdot 31,54 \cdot 10^6 = 0,262 \cdot 31,54 \cdot 10^6 = 919620 \quad \text{кг} \approx 920 \text{ т}. \quad (3)$$

До складу наносів, що акумулюються у водосховищі, входять також органічні речовини, що утворюються при відмиранні рослинних і тваринних організмів. Умовно частка органічних речовин приймається $5 \div 10$ % 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 $P_H = 920 + 92 = 1012 \text{ т}$.

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

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

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:

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

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція по експлуатації гідроенергетичного обладнання ГЕС. Укргідроенерго. Київ : Київобленерго, 2016. 42 с.
2. Довідник з експлуатації та ремонту гідротурбінного обладнання / за ред. Є. П. Штерна. К. : Енергоіздат.1985. 368 с.
3. Герасімов Є. Г., Герасимов Г. Г. Використання відновлюваних джерел енергії : навч. посіб. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2023. 467 с.
4. Гідроенергетика. Том 2. Гідравлічні машини / Сокол Є., Черкашенко М., Потетенко О., Дранковський В., Гасюк О., Гриб О. Харків : НТУ «ХПІ», 2020. 534 с.
5. Самойленко Е. Г. Гідроенергетичне обладнання гідро- та гідроакумуючих електростанцій : підручник. Запоріжжя : ЗДіА, 2006. 406 с.
6. Bikash Kumar Sarkar. Hydraulic Turbine Control Design.: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 132 p. ISBN-10: 3659256692.
7. Лутаєв В.В., Сінчук С.В. Гідроелектростанції : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2013.173 с.
8. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії. К. : НТУУ «КПІ», 2009. 202 с.
9. 01-06-41 Філіпович Ю. Ю. Методичні вказівки до виконання практичних завдань та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Експлуатація гідроенергетичних об'єктів» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня всіх спеціальностей денної, заочної та дистанційної форм навчання. Рівне : НУВГП, 2019. 14 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/14861/>

ВИХІДНІ ДАНІ ДО ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

Додаток 1

Вихідні дані до практичної роботи № 1
„Визначення гідроенергетичного потенціалу водотоку.
Побудова кадастрових графіків”

Таблиця Д.1.1

<i>Остання цифра шифру</i>	<i>№№ створів</i>	<i>Відмітки рівнів води ↓РВ, м</i>	<i>Відстань від джерела L, км</i>	<i>Площа басейну F, тис.км²</i>
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.1.2

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 2

Вихідні дані до практичної роботи № 2
„Коригування природного гідрографа стоку річки
за умов його комплексного використання”

Таблиця Д.2.1

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.2.2

Найменування параметрів	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Передостання цифра шифру									
<i>Площа дзеркала водосховища F, км²</i>	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 3

Вихідні дані до практичної роботи № 3
„Визначення оптимальної глибини спрацювання водосховища”

Таблиця Д.3.1

<i>Остання цифра шифру</i>	<i>Вид регулювання</i>	<i>Тип кривих</i>	<i>↓ НПР, м</i>
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
<i>Передостання цифра шифру</i>		<i>Об'єм стоку W_C, м³</i>	<i>ККД η</i>
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.3.2

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

Додаток 4

Вихідні дані до практичної роботи № 4
«Визначення тривалості замулення мертвого об'єму водосховища»

Таблиця Д.4.1

Параметри	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Остання цифра шифру										
Площа водозбору, F ,	90	110	130	150	175	200	250	300	350	140
Мертвий об'єм водосховища, W_{MO} , m^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 , m^3/c	0,30	0,35	0,40	0,45	0,5	0,45	0,4	0,35	0,37	0,42
Норма мутності води, ρ_{OK} , kg/m^3	0,22	0,24	0,26	0,28	0,3	0,32	0,35	0,34	0,31	0,27