

# Лекція 8 МЕС в АПК

## Гідроелектростанції

### **3.1. Використання гідроресурсів в Україні та у світі**

Гідроенергетика – це галузь енергетики, яка використовує енергію води, що падає, чи рухомої. Джерелом енергії для гідроенергетичних установок є також хвилі та припливи в морях і океанах. Підраховано, що на Землі є  $10^{18}$  т води, лише 1/2000 частина її щорічно залучається у кругообіг – випаровування і повернення її на поверхню землі у вигляді дощу і снігу. Розрахунки показують, що потенційна потужність гідроенергетичних ресурсів на земній кулі становить 10 ТВт, але тільки 20 % її можна рентабельно використати.

Гідроенергетику умовно поділяють на велику (традиційні потужні гідроелектростанції) та малу. Первинним джерелом енергії для малої гідроенергетики є гідропотенціал малих річок. В Україні налічують понад 63 тис. малих річок та водотоків загальною довжиною 135,8 тис. км, із яких близько 60 тис. (95 %) дуже малих (їх довжина до 10 км), їх сумарна довжина – 112 тис. км. Малих річок завдовжки 10 км і більше в Україні налічують 3212 загальною довжиною близько 74 тис. км. З них у басейні Дніпра – 1383 (43 %) і в басейні Дністра – 453 (14 %) сумарною довжиною відповідно 32,1 і 10,6 тис. км. Особлива цінність енергії малих річок полягає у тому, що вони охоплюють фактично всю територію України, але розподіл потенційних ресурсів нерівномірний. Найбільші гідроенергоресурси зосереджені в Закарпатській (приблизно 25 % всіх запасів України), Івано-Франківській (12 %), Запорізькій (10,1 %), Дніпропетровській (7,9 %), Чернівецькій і Миколаївській (по 6,2 %) та Київській (5,5 %) областях. В інших регіонах – менше ніж 5 %.

Потужність усіх світових ГЕС на 1980 р. становила близько 500 ГВт або 0,5 ТВт. Потужність більшості електростанцій перевищувала 10 МВт. Сьогодні потенційна можливість гідроенергетики оцінюється потужністю до 1,5 ТВт. ГЕС належать до структур, які працюють довговічно (зношуваність турбін понад 50 років), економічно (вартість електроенергії низька), високопродуктивно – ККД гідротурбіни становить 90 %, а також уможливають швидке регулювання генерованої електроенергії.

Мала гідроелектрогенерація набула поширення у багатьох розвинених країнах Європи та світу – у Швейцарії відсоток виробництва електроенергії на малих ГЕС становить 8,3 %, в Іспанії – 2,8 %, у Швеції – майже 3 %, а в Австрії – 10 %. Ще більше вражають показники, яких вдалося досягти Китаю: близько 18–20 % всієї електроенергії тут виробляють більше ніж 80 тисяч малих ГЕС. Показники сучасного стану малої гідроенергетики України наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

## Стан малої гідроенергетики України

Область	Кількість	Потужність, МВт	Виробництво електроенергії, тис. МВт·год/рік	Частка від загального виробництва, %					
Вінницька	19	22,45	59,60	28,37					
Дніпро-петровська	0	0	0	0	Тернопільська	9	8,47	22,5	10,71
Житомирська	14	2,87	7,62	3,63	Харківська	1	3,68	9,77	4,65
Закарпатська	6	7,98	21,2	10,9	Херсонська	0	0	0	0
Івано-Франківська	4	2,57	685	3,26	Хмельницька	14	4,52	12,00	5,71
Кропивницька	5	12,55	33,33	15,87	Черкаська	9	6,52	17,35	8,26
Київська	3	1,84	4,9	2,33	Чернігівська	1	0,23	0,62	0,3
Львівська	1	0,45	1,2	0,57	Чернівецька	1	1,00	2,66	1,27
Миколаївська	0	0	0	0	Разом	98	79,08	210,08	100
Полтавська	5	1,66	4,4	2,09					
Рівненська	2	1,16	3,08	1,47					
Сумська	4	1,13	3,00	1,43					

Використання гідроресурсів рік, що протікають рівнинними територіями, спричиняє затоплення великих площ території, що обмежує їх використання для сільськогосподарського виробництва.

Порівняння водноенергетичних характеристик ГЕС України й окремих країн Європи наведено у табл. 3.2. Усі великі ГЕС України характеризуються високим співвідношенням площі дзеркала водосховища до установленної потужності агрегатів за фактично однакового напору води.

Підрахунок потенційних гідроенергетичних ресурсів, що визначає загальні запаси гідравлічної енергії на всій території країни, дає змогу встановити, на яких річках варто насамперед використовувати гідравлічну енергію. Необхідно знати розподіл запасів гідравлічної енергії на території, щоб чітко з'ясувати питомі величини потенційної потужності, що визначають:

- на метр перепаду дна;
- на кілометр довжини річки;
- на квадратний кілометр басейну річки.

## Водноенергетичні характеристики ГЕС України і світу

Гідроелектро- станція	Ріка	Площа водосховища $S_B, \text{км}^2$	Установлена потужність $P_{УСТ}, \text{МВт}$	$S_B/P_{УСТ},$ $\text{км}^2/\text{МВт}$	Напір $H, \text{м}$
Каховська	Дніпро	2155	351	6,140	13,8
Кременчуцька	Дніпро	2250	632,9	3,555	14,2
Київська	Дніпро	922	408,5	2,257	12,0
Канівська	Дніпро	675	444	1,520	11,0
Середньо- дніпровська	Дніпро	567	352	1,611	10,5
Дніпровська	Дніпро	410	1569	0,267	34,3
Greifenstein, Австрія	Дунай	10	293	0,034	12,6
Ybbs- Persenbeug, Австрія	Дунай	10	236,5	0,042	10,9
Gervans, Франція	Рона	3	120	0,025	11,5
Caderousse, Франція	Рона	9,5	156	0,061	8,6
Kembs, Франція	Рейн	2,8	156	0,018	13,2

Перші два показники є інтенсивними, останній – екстенсивним параметром гідроенергопотенціалу території.

До середніх належать річки з площею басейну 2000–50000 км<sup>2</sup>, до малих річок – із меншою за 2000 км<sup>2</sup>.

Потенційні гідроенергетичні ресурси малих річок розподілені на території України надзвичайно нерівномірно. У гірських областях (Львівській, Закарпатській, Івано-Франківській і Чернівецькій) зосереджено 71,7 % усіх енергетичних ресурсів малих річок, а в семи областях Подільської височини (Вінницькій, Житомирській, Київській, Кіровоградській, Тернопільській, Хмельницькій та Черкаській) – лише 14,2 %. Херсонська і Запорізька області майже не мають потенційних запасів енергії малих річок.



З урахуванням запасів енергії ріки Сіверський Донець у Харківській і Луганській областях сконцентровано близько 3,6 % від усіх запасів такої енергії країни. У лівобережній частині України (Полтавська, Сумська і Чернігівська області) зосереджено 4,5 %, а в решті областей 5,7 % запасів енергії малих річок країни, чи менше ніж 1 % на область.

На частину приток річок Дністра, Тиси, Пруту та Південного Бугу припадає 82 % усіх гідроенергетичних ресурсів України малих річок, а загалом, з урахуванням правобережних приток Дніпра й Прип'яті, у західній частині України зосереджено близько 90 % усіх запасів гідроенергії.

Протягом зимових місяців гідропотенціал за територією змінюється значно менше, ніж упродовж весняних місяців під час повені, коли максимальні значення потенціалу в сто разів перевищують мінімальні значення. Загалом протягом року гідропотенціал змінюється однаково в усіх районах країни, що спричинено дією однакових факторів, які визначають гідропотенціал.

### 3.2. Класифікація та типи гідроелектростанцій

Енергія води, яка падає, на ГЕС перетворюється на механічну енергію обертання ротора турбіни і генератора та на електричну енергію в електромагнетному полі генератора.

Якщо  $W_B$  – об'ємна витрата води, що падає на лопаті турбіни за одиницю часу,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\rho_B$  – густина води,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , то добуток  $\rho_B \cdot W_B$  визначає масу води, що падає на лопаті турбіни за одиницю часу. Потужність води, яка падає:

$$P_0 = \rho_B \cdot W_B \cdot g \cdot H, \quad (3.1)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $H$  – висота падіння води (напір), м.

Щоб досягти великого значення потужності, потрібні доволі висока витрата  $W_B$  і якомога більший напір  $H$  води. Також бажано, щоб був високий річний рівень опадів (не менше ніж 40 см) і водосховище, а це потребує вкладення певних коштів у спорудження дамби, водоводів (до турбін) тощо.

За потужністю малі ГЕС поділяють на:

- мікрогідроелектростанції – потужністю до 100 кВт;
- мінігідроелектростанції – потужністю до 1000 кВт;
- малі гідроелектростанції – потужністю від 1 МВт до 30 МВт.

Потужність водного потоку визначають за формулою

$$P = 9,81 \frac{Q_{\text{п}} + Q_{\text{к}}}{2} H, \text{ кВт}, \quad (3.2)$$

де  $Q_{\text{п}}, Q_{\text{к}}$  – витрати води в річці відповідно на початку та у кінці ділянки, т/с;  $H$  – висота падіння води (напір) на ділянці, м.

За міжнародною класифікацією (норматив ООН) до малих електричних станцій (МГЕС) зараховують станції потужністю від 1,0 до 30 МВт, до мінігідроелектростанцій – від 100 до 1000 кВт, до мікрогідроелектростанцій – не більше ніж 100 кВт.

За використанням водних ресурсів і концентрацією напорів, як стверджує “Екологічна енциклопедія”, ГЕС поділяють на: руслові, пригреблеві, дериваційні, гідроакумулювальні та припливні.

*Руслові ГЕС* – це зазвичай низьконапірні станції, у яких напір води створюється безпосередньо спорудженням греблі, що повністю перегороджує річку і піднімає рівень води на потрібну висоту. Будівля ГЕС входить до складу греблі й безпосередньо підвищує рівень води. Інколи це єдина споруда, здатна пропускати воду, оскільки в греблі не передбачено інших спеціальних водоспускних отворів чи шлюзів. Такі гідрооб'єкти будують на повноводних рівнинних та гірських річках, у місцях, де є вузьке русло з високими берегами.

*Пригреблеві ГЕС* – високонапірні станції, в яких будівля ГЕС розташована за греблею, в її нижній частині. Воду до турбін станції подають через спеціальні напірні лотки чи тунелі, а не безпосередньо, як у руслових. Висота греблі в цьому разі значно більша, ніж у руслових ГЕС, інколи це навіть дві греблі. Обмежувальним чинником висоти греблі й водночас потужності таких ГЕС є площа затоплення і підтоплення навколишніх земель.

*Дериваційні ГЕС* – станції, напір води для яких створюють за допомогою напірної чи безнапірної деривації. Під деривацією у гідротехніці розуміють сукупність гідротехнічних споруд, що відводять воду із річки, водосховища або іншої водойми і підводять її до відповідних гідротехнічних споруд. Розрізняють такі типи дериваційних споруд – безнапірні (канал, тунель, лоток) і напірні (трубопровід, напірний тунель). Напірний тип застосовують тоді, коли є істотні (більше від кількох метрів) сезонні чи тимчасові коливання рівня води в місці її забору. Воду трубою, каналом чи лотком відводять з русла на певну відстань до споруди ГЕС, яка розташована нижче за течією. Такі станції доцільно будувати у тих місцях, де великий нахил річки. У разі напірної деривації водовід прокладають під великим похилом чи ж будують греблю, яка створює водосховище, – це змішана деривація, бо використовує два способи створення необхідної концентрації води.

*Гідроакумулювальні ГЕС* здатні використовувати надлишкову електроенергію у системі для створення необхідного запасу (акумулювання) води у верхньому водосховищі та генерувати електроенергію в періоди інтенсивнішого її споживання, використовуючи акумульовану воду.

Виробництво електричної енергії на електростанціях та її споживання різними приймачами – це взаємопов'язані процеси і потужність споживання електроенергії у будь-який момент часу повинна дорівнювати генерованій потужності.

Графік навантаження деякого району чи міста, що є відображенням зміни в часі сумарної потужності всіх споживачів, має мінімуми та максимуми. Це означає, що в окремі години протягом доби необхідна велика сумарна потужність генераторів, а

в інші години частина генераторів чи й електростанцій повинні бути вимкнені чи працювати зі зменшеним навантаженням.

Енергетики прагнуть вирівнювати графік сумарного навантаження споживачів. Але можливості вирівнювання споживання електричної енергії невеликі. Тому електричні системи повинні бути достатньо маневреними, здатними швидко змінювати потужності електростанцій. Незбалансована структура генеруючих потужностей Об'єднаної енергетичної системи України із істотним перевищенням базових потужностей ТЕС і АЕС та малим обсягом маневреної потужності ГЕС, ГАЕС істотно утруднює регулювання графіків навантаження, що призводить до зниження стійкості та надійності її роботи.

Теплові електричні станції не використовують для регулювання потужності, оскільки парові котли та турбіни цих станцій допускають зміну навантаження лише у межах 10–15 %. Різкозмінний режим роботи таких електростанцій призводить до зниження їхньої надійності. Це ще більшою мірою стосується й АЕС.

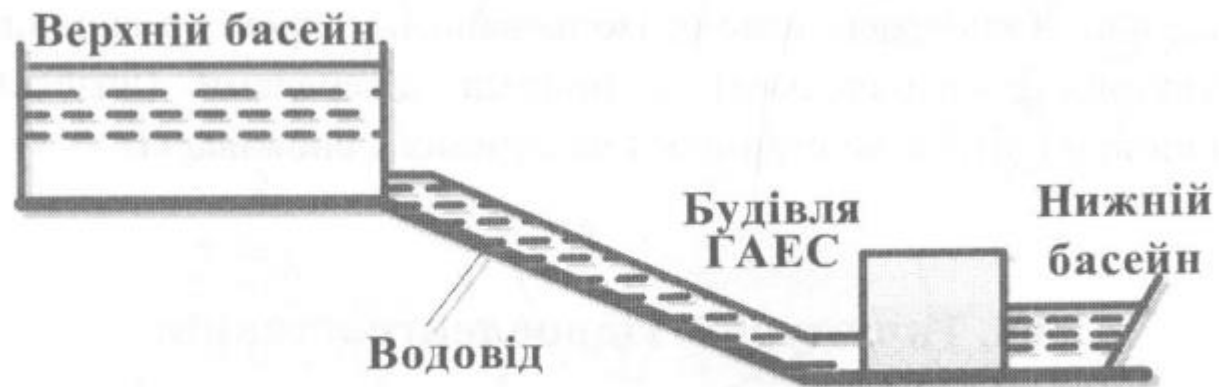
Сьогодні й у найближчому майбутньому дефіцит маневрових потужностей (під час “піку” навантаження) покривають ГЕС, у яких повну потужність можна набрати за 1–2 хв. У періоди, коли в системі виникають провали навантаження, ГЕС працюють з обмеженою потужністю і вода заповнює водосховище. З досягненням піків навантаження агрегати станції виводять на повну потужність генерування електроенергії.

Накопичення енергії у водосховищах на рівнинних ріках призводить до затоплення великих територій, що в багатьох випадках дуже небажано. Невеликі ріки непридатні для регулювання потужності в системі, оскільки не можуть вчасно акумулювати достатньо води у водосховищі.



Під час піків споживання електроенергії її доцільно генерувати ГАЕС. Акумулявання енергії – це накопичення її під час зменшення електричного навантаження для подальшого перерозподілу і використання її відповідно до потреб енергосистеми. Під час режиму акумулявання електрична енергія перетворюється на

інші види енергії, а потім за потреби знову на електричну. Акумулявання енергії можна здійснювати електрохімічними, тепловими та гідравлічними установками. Гідроагрегати ГАЕС (рис. 3.1) у період мінімального навантаження системи працюють як помпа і заповнюють водою верхню водойму, а у піковий період електроспоживання агрегати генерують електроенергію, використовуючи накопичений запас води. Тобто робота ГАЕС не залежить від водності року, бо використовують ту саму воду, переміщуючи її із одного басейну в інший за потребою. У помповому режимі ГАЕС споживає від енергосистеми порівняно дешеву електроенергію під час нічного мінімуму графіка навантаження системи і генерує дорогу електроенергію у періоди максимуму навантаження.



*a*



*Рис. 3.1. Схема (а) та загальний вигляд гідроакумулювальної електростанції (б)*

Відношення кількості енергії, виробленої у генераторному режимі, до кількості енергії, спожитої у помповому режимі, визначає ККД ГАЕС. Перші ГАЕС мали ККД не більше ніж 40 %, а у сучасних – 70–75 %.

Отже, функції ГАЕС в енергосистемі такі: покриття піків навантаження; підвищення мінімального навантаження енергосистеми; швидкодійне аварійне резервування потужності; джерело реактивної потужності та енергії; сприяння поліпшенню режимів роботи теплових та атомних станцій; мінімальний вплив на довкілля.

До переваг ГАЕС належить також порівняно низька вартість будівельних робіт. ГАЕС вигідно компонувати разом із вітровими ЕС.

За режимом роботи ГЕС поділяють на такі, що працюють: паралельно з енергосистемою; ізольовано на окремого споживача; у сукупності (паралельно) з іншими джерелами (дизельною, сонячною чи вітровою станцією) на окремого споживача.