



ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГАЕС ДЛЯ ПОКРИТТЯ НАПІВПІКІВ НАВАНТАЖЕННЯ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ

доповідь на VII Міжнародній конференції гідроенергетиків

«Сталий розвиток гідроенергетики, як основа мобільності та маневреності ОЕС України»

В статті розглядається питання проєкт Ладизинської ГАЕС, робота якої в турбінному режимі розрахована в напівпіковій зоні добового графіка навантаження енергосистеми, що дозволяє зменшити установлену потужність в турбінному режимі ГАЕС, збільшує його тривалість протягом доби і знімає необхідність встановлення прямих агрегатів — турбін.

Ключові слова: гідроакumuлююча електростанція, енергосистема, графік навантаження.

Робота гідроакumuлюючих електростанцій (ГАЕС) в об'єднаних енергосистемах типово розглядається в різних фахових джерелах [1–5], а саме в режимі вирівнювання добового графіка навантаження енергосистеми. Додатково вказується можливість роботи ГАЕС для підтримання частоти, у якості джерела реактивної потужності, аварійного і навантажувального резерву. Робота ГАЕС з оборотними агрегатами в енергосистемі в турбінному режимі триває в середньому 3–5 годин на добу, а в насосному режимі — 5–8 годин.

За цих умов добовий графік навантаження енергосистеми при введенні в її роботу ГАЕС має наступний вигляд, Рис. 1.

З Рис. 1 зрозуміло, що ГАЕС працюють в гостро піковій частині добового графіка навантаження енергосистеми в турбінному режимі та в найбільш провальній зоні в насосному режимі. За рахунок більшої тривалості глибоких провалів навантаження у порівнянні із короткою тривалістю гострих піків спостерігається необхідність забезпечення більшої установленої потужності в турбінному режимі у порівнянні із насосним режимом. Для ГАЕС з оборотними агрегатами така невідповідність у тривалості та значеннях навантажень призводить до виникнення дефіциту потужності в турбінному режимі ГАЕС

$$N_{\text{деф.т}}^{\text{ГАЕС}} = N_{\text{макс}}^{\text{ЕС}} - N_{\text{об.агр.т}}^{\text{ГАЕС}}, \text{ млн. кВт} \quad (1)$$

де $N_{\text{макс}}^{\text{ЕС}}$ — максимальна потужність в енергосистемі, млн. кВт; $N_{\text{об.агр.т}}^{\text{ГАЕС}}$ — потужність оборотних агрегатів ГАЕС в турбінному режимі, млн. кВт.

Для покриття дефіциту потужності в турбінному режимі на значення $N_{\text{деф.т}}^{\text{ГАЕС}}$ підбирають додатково прямі агрегати — гідротурбіни. Типовим прикладом такої ГАЕС є Київська ГАЕС з установленою потужністю в турбінному режимі 235,5 МВт та в насосному режимі 129 МВт. З шести агрегатів Київської ГАЕС три є оборотними радіаль-

но-осьовими насос-турбінами та три є прямими радіально-осьовими турбінами. Причому, останні задіяні тільки під час роботи в турбінному режимі 3–4 годин на добу. З економічної точки зору, використання обладнання протягом нетривалого періоду є неефективним використанням основних фондів ГАЕС, що диктується потребами енергосистеми, а не економічною ефективністю самої ГАЕС.

Вирішення питання зменшення капіталовкладень в обладнання ГАЕС шляхом відмови від додаткового встановлення прямих агрегатів можна реалізувати, розраховуючи роботу ГАЕС в напівпіковій зоні добового графіка навантаження енергосистеми. В проєкті Ладизинської ГАЕС (Рис. 2), що розглядався на кафедрі гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин Національного університету водного господарства та природокористування, вирівнювання добового графіка навантаження енергосистеми роботою ГАЕС розглядався в турбінному режимі при спільній роботі вже існуючих ГАЕС і таких, що будуються (Рис. 3). Це дозволило розрахувати добовий графік навантаження ГАЕС при частковому вирівнюванні добового графіка навантаження енергосистеми (Рис. 4) з більш тривалим і меншим за значенням навантаженням в турбінному

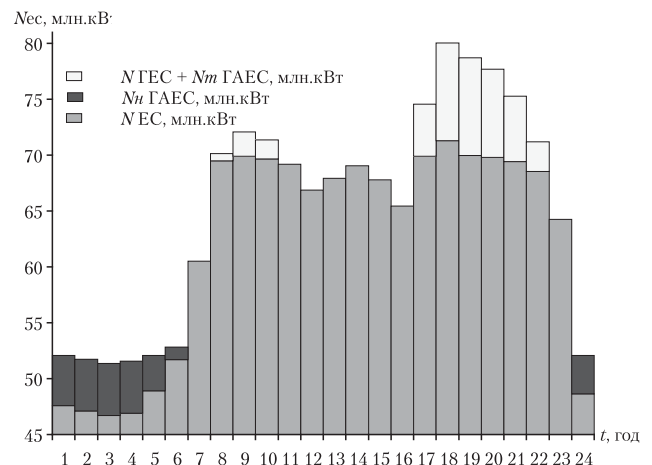


Рис. 1. Добовий графік навантаження об'єднаної енергосистеми Півдня України (дані на 1990 рік)

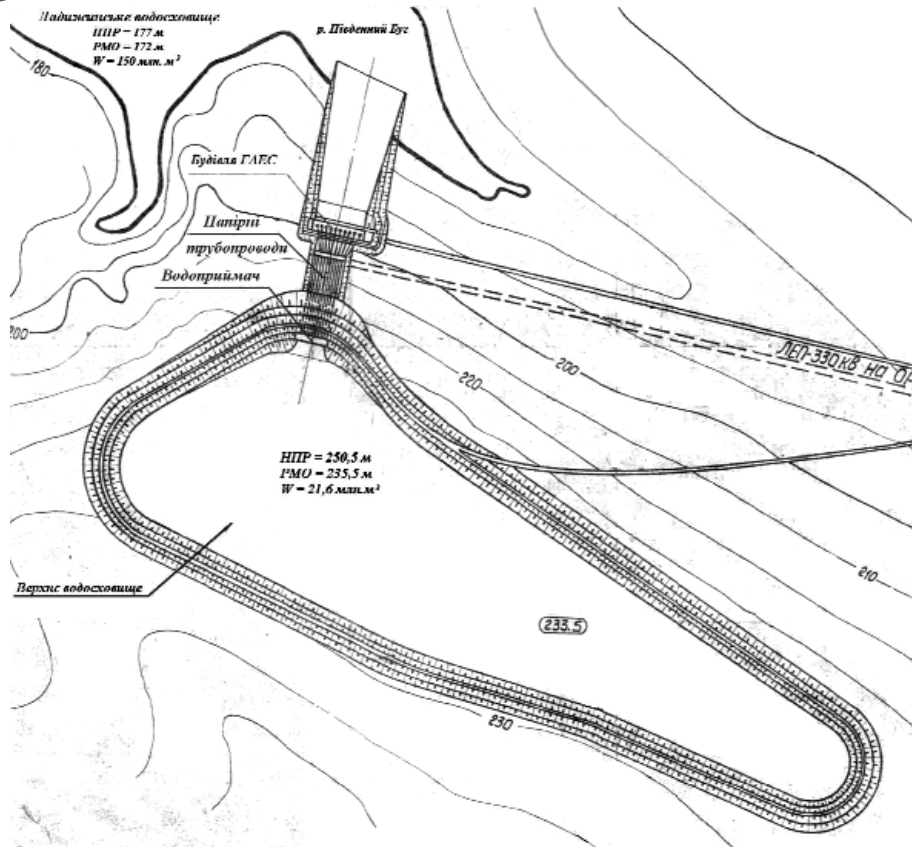


Рис. 2. План споруд в проекті Ладжинської ГАЕС

режимі (9 год і 337,4 МВт) та менш тривалим, але з більшим за значенням навантаженням в насосному режимі (7 год і 644,3 МВт).

Підбір типу радіально-осьових насос-турбін РОНТ 75 проводився на основі виконаних водно-енергетичних розрахунків, а їх кількості — на основі техніко-економічного порівняння варіантів будівлі ГАЕС з різною кількістю оборотних агрегатів за методом порівняльної економічної ефективності. Враховуючи, що основними складовими вартості ГАЕС, які залежать від кількості агрегатів, є вартість основного силового обладнання (насос-турбіни, двигуна-генератора, трансформатора), будівельної частини будівлі ГАЕС (укла-

дання бетону, виїмки ґрунту), а також вартість замінюючих скорочення довжини пригреблевої будівлі ГАЕС бетонних гребель, то на попередніх стадіях проектування (в дипломному проектуванні) можна обмежитись врахуванням лише вищевказаних складових витрат.

Критерієм оптимальності варіантів, що порівнюються, за методом порівняльної економічної ефективності є мінімум сумарної питомої вартості агрегатного блока ГАЕС на 1 МВт встановленої потужності $B_{\text{сум.пит}}$

$$B_{\text{сум.пит}} = B_{\text{пит.обл}} + B_{\text{пит.буд}} \Rightarrow \min. \quad (2)$$

У залежності (2) питома вартість обладнання

$$B_{\text{пит.обл}} = B_{\text{сум.обл}} / N_m, \quad (3)$$

де $B_{\text{сум.обл}} = B_{\text{насос-турбіни}} + B_{\text{двигуна-генератора}} + B_{\text{трансформатора}}$ — сумарна вартість обладнання, у.о.; N_m —

потужність агрегату в турбінному режимі, МВт.

Питома вартість будівельних робіт визначається як

$$B_{\text{пит.буд}} = B_{\text{буд}} / N_m, \quad (4)$$

де $B_{\text{буд}} = W_{\text{бл}} \cdot B_{\text{бет}}$ — вартість агрегатного блока ГАЕС, у.о.; $W_{\text{бл}}$ — об'єм бетону в блоці ГАЕС, м³; $B_{\text{бет}}$ — укрупнений показник вартості бетону $B_{\text{бет}}$, у.о./м³.

Усі розраховані показники приведені в Табл. 1.

За даними таблиці представлені графіки $B_{\text{сум.пит}} = f(Z_{\text{агр}})$ (Рис. 5), які відображають визна-

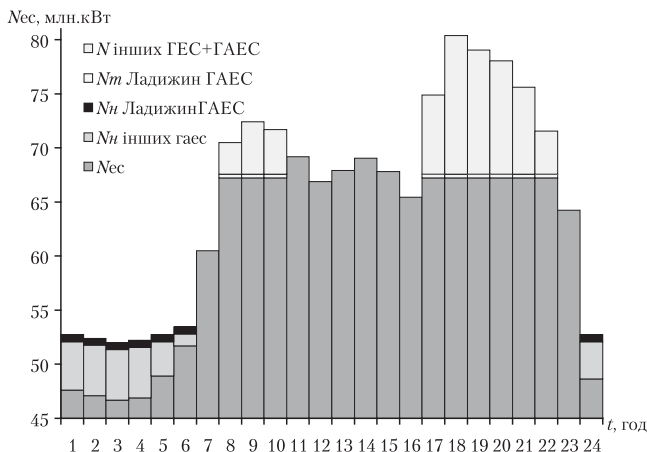


Рис. 3. Добовий графік навантаження енергосистеми за участі в покритті напівпиків навантаження в проекті Ладжинської ГАЕС

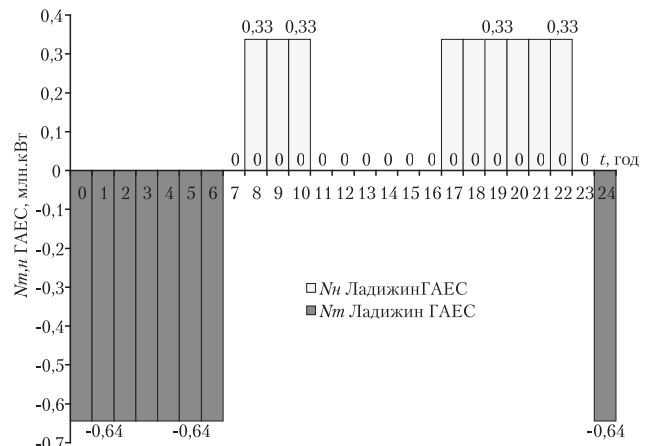


Рис. 4. Добовий графік навантаження Ладжинської ГАЕС (за знак «-» відповідає значенням насосного режиму)

Таблиця 1. Дані для визначення оптимальної кількості агрегатів ГАЕС $Z_{\text{опт}}$

№	Параметр	Одиниці вимірювання	Кількість агрегатів			
			2	3	4	5
1	Потужність насос-турбіни	N_m , МВт	323,12	228,40	188,76	152,90
2	Приведена витрата (розрахункова)	Q'_I , м ³ /с	347,87	228,4	203,22	164,61
3	Діаметр робочого колеса (розрахунковий)	D_I , м	7,81	6,60	6,01	5,40
4	Діаметр робочого колеса (стандартний)	D_I , м	7,85	6,6	6,0	5,4
5	Частота обертів (розрахункова)	n , об/хв	93,14	114,07	131,72	147,26
6	Частота обертів (синхронна)	n_0 , об/хв	115,4	136,4	150,0	166,7
7	Маса насос-турбіни	G_T , т	1650	830	650	500
8	Маса двигуна-генератора	G_G , т	1350	1030	900	800
9	Маса трансформатора	G_{Tr} , т	265	230	220	195
10	Вартість насос-турбіни	B_T , тис.у.о.	1023,0	522,9	442,0	360,0
11	Вартість двигуна-генератора	B_G , тис.у.о.	1343,3	1007,3	869,4	769,6
12	Вартість трансформатора	B_{Tr} , тис.у.о.	255	220	175	160
13	Сумарна вартість обладнання	$B_{\text{обл}}$, тис.у.о.	2621,3	1750,2	1486,4	1289,6
14	Вартість будівельних робіт	$B_{\text{буд}}$, тис.у.о.	1102,15	820,63	616,55	552,26
15	Питома вартість обладнання	$B_{\text{пит.обл}}$, тис.у.о./МВт	8,11	7,66	7,87	8,43
16	Питома вартість будівельних робіт	$B_{\text{пит.буд}}$, тис.у.о./МВт	3,41	3,59	3,27	3,61
17	Сумарна питома вартість блоку ГАЕС	$B_{\text{сум.пит.}}$, тис.у.о./МВт	11,52	11,26	11,14	12,05

чення за умовою $B_{\text{сум.пит}} \Rightarrow \min$ оптимальної кількості оборотних агрегатів ГАЕС $Z_{\text{опт}}$.

Отже, за критерієм мінімуму сумарної питомої вартості агрегатного блока ГАЕС на 1 МВт встановленої потужності $B_{\text{сум.пит}}$, у.о./МВт оптимальна кількість агрегатів ГАЕС складає $Z_{\text{опт}} = 4$ агрегати.

Остаточно в проекті Ладижинської ГАЕС за водноенергетичними та техніко-економічними розрахунками було прийнято 4 агрегати насос-турбіни типу РОНТ 75 з діаметром робочого колеса $D_1 = 6,0$ м, синхронною частотою обертів $n_0 = 150$ об/хв, висотою відсмоктування $H_S = -24,76$ м.

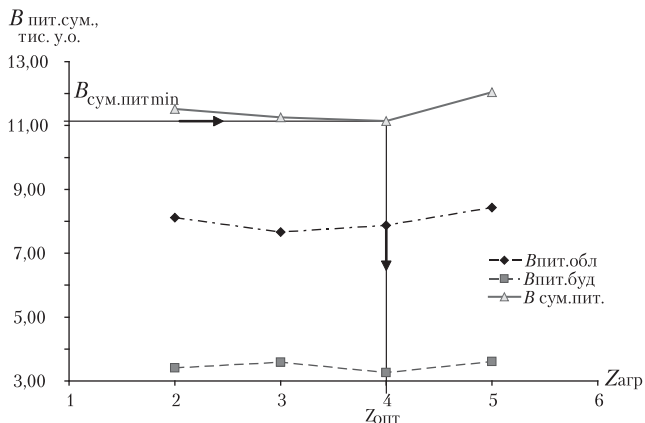


Рис. 5. Графік для визначення оптимальної кількості агрегатів ГАЕС за питомою сумарною витратою по блоку $B_{\text{сум.пит.}}(N) = f(Z_{\text{агр}})$

Висновки.

1. При проектуванні ГАЕС розглядаються переважно потреби енергосистеми і її позитивні ефекти. Економічна ефективність самої ГАЕС як окремого енергетичного підприємства визначається вже після прийняття рішення про режим роботи ГАЕС в добовому графіку навантаження енергосистеми.

2. Для зменшення вартості будівництва ГАЕС необхідно розглядати різноманітні варіанти вирівнювання добового графіка навантаження енергосистеми.

3. Розрахунок роботи ГАЕС в турбінному режимі в напівпіковій зоні графіка навантаження енергосистеми дозволяє уникнути необхідності встановлення прямих агрегатів, що значно зменшує вартість та об'єми будівельних робіт ГАЕС.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Енергетика: история, настоящее и будущее*. Т. 4. Возобновляемая энергетика. Функционирование и развитие энергетики в современном мире. — Киев, 2010. — 612 с.
2. *Синюгин В.Ю., Магрук В.И., Родионов В.Г.* Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике/ В.Ю.Синюгин, В.И. Магрук, В.Г. Родионов. — М.: ЭНАС, 2008. — 358 с.
3. *Гидроэнергетика: Учебник для вузов/ Под ред. В.И. Обрезкова*. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 512 с.
4. *ГАЭС / Под ред. Л. Б. Шейнмана*. — М.: Энергия, 1978. — 184 с.
5. *Гидроэлектрические станции / Под ред. В.Я. Карелина, Г.И. Кривченко*. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 464 с.

© Яковлева О.М., 2016