



УДК 621.311.214

**ЯКОВЛЕВА-ГАВРИЛЮК О.М.**, канд. техн. наук, доцент,  
Національний університет водного господарства  
та природокористування, м. Рівне

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГІДРОАКУМУЛЮВАННЯ В УКРАЇНІ

Приводиться розрахунок на повне вирівнювання добового графіка навантаження енергосистеми роботою гідроакмулюючих електростанцій із врахуванням технічно можливого коефіцієнта корисної дії сучасних ГАЕС на рівні 0,76. Наведені параметри можливих майбутніх об'єктів ГАЕС для вирішення задачі повного вирівнювання навантаження об'єднаної енергосистеми України.

**К л ю ч о в і с л о в а:** гідроенергетика, гідроакмулююча електростанція, об'єднана енергосистема, добовий графік навантаження енергосистеми, інтегральна крива енергії, водоїма.

**Г**ідроакмулювання в сучасних об'єднаних енергосистемах світу є найбільш дешевим і технологічно простим способом забезпечення надійності роботи потужних агрегатів АЕС і ТЕС, завдяки 200% можливості маневреності оборотних гідроагрегатів [1, 2]. Визнаний у світі 25% рівень участі потужностей ГЕС і ГАЕС в енергосистемі для забезпечення її надійності, з них тільки доля участі ГАЕС повинна складати 10–12%. Крім того, досвід таких країн як Норвегія, Бразилія, Канада, Австрія у забезпеченні потужностей, переважно ГЕС, показує, що можна максимально наблизити виробництво електроенергії на вимогу споживача.

Аналіз диспетчерської інформації ДП "Національна енергетична компанія "Укренерго" за 2014–2017 роки [3] виявив, що найвищий пік навантаження в об'єднаній енергосистемі (ОЕС) України спостерігався 31 січня 2014 р. о 18:00, коли мінусова температура січня перевищила середньобаторічну на 9 °С.

Як видно з Рис. 1, в базовій частині графіка працюють атомні електростанції (АЕС), теплові електростанції (ТЕС) та енергогенеруючі компанії теплових електростанцій (ГК ТЕС). Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) становлять зовсім незначну частку в загальному навантаженні.

Доля участі ГЕС і ГАЕС у генерації потужності ОЕС України взимку 2014 року в із середини до кінця січня знизилась з 13% до 6%. На сьогоднішній день коливається близько 11%. Як зазначено вище, такий рівень участі ГЕС і ГАЕС не достатній для за-

безпечення безаварійної роботи мало маневрених агрегатів АЕС і ТЕС.

Найбільш бажаним для надійної роботи енергосистеми є повне вирівнювання добового графіка навантаження енергосистеми роботою ГАЕС, коли рівні навантаження енергосистеми між мінімальним і максимальним значеннями поділені на піки і провали навантаження відповідно до коефіцієнта корисної дії ГАЕС. На сучасних ГАЕС можна досягнути значень ККД в межах 0,72–078 [2]. Останні проекти Канівської ГАЕС і Ташлицької ГАЕС ПАТ "УКРГІДРОПРОЕКТ" [4] розраховані на ККД 0,76.

Метою даного дослідження є розрахунок сумарних потужностей ГАЕС для повного вирівнювання добового графіка навантаження ОЕС України без врахування виконання додаткових режимних функцій [2, 5]. Задача повного вирівнювання добового графіка навантаження вирішується за допомогою побудови інтегральної кривої енергії (ІКЕ) енергосистеми  $N^{EC} = f(E^{EC})$  та графіка зв'язку рівнів навантаження енергосистеми від ККД ГАЕС  $N^{EC} = f(\eta^{ГАЕС})$  у наступній послідовності. Записуються рівні навантаження від 0 до  $N_{max}$ , що встановлюються в енергосистемі протягом доби  $N_i^{EC}$ , тис. МВт. Обчислюються прирости потужності між рівнями

$$\Delta N_i^{EC} = N_i^{EC} - N_{i-1}^{EC}, \text{ тис. МВт} \quad (1)$$

де  $N_i^{EC}$ ,  $N_{i-1}^{EC}$  – потужність в енергосистемі відповідно в даній точці і в попередній, тис. МВт.

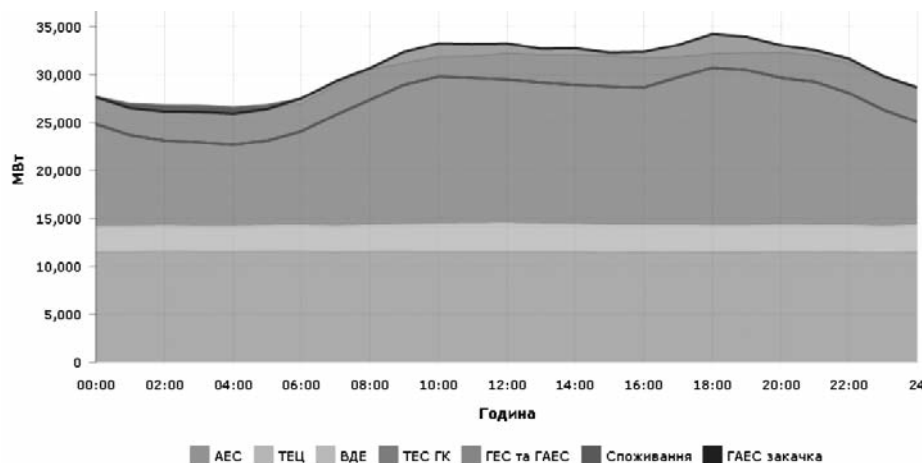


Рис. 1. Добовий графік навантаження ОЕС України на 31.01.2014 р. (адаптовано з [3])

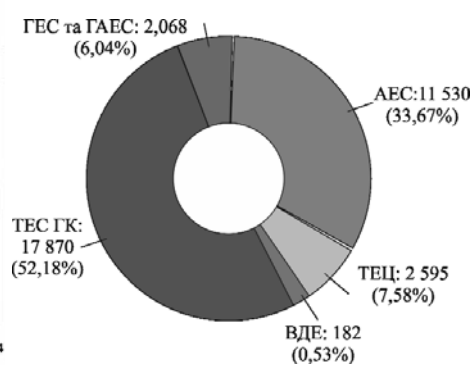


Рис. 2. Структура генерації навантаження ОЕС України в пік о 18:00 31.01.2014 р. (адаптовано з [3])





За добовим графіком навантаження (Рис. 3) визначається тривалість кожного з рівнів навантаження  $\Delta t_p$  год. Обчислюються прирости енергій між рівнями навантаження

$$\Delta E_i^{EC} = \Delta N_i^{EC} \cdot t_i^{EC}, \text{ млн. кВт-год}, \quad (2)$$

та координати ІКЕ

$$E_i^{EC} = E_{i-1}^{EC} + \Delta E_i^{EC}, \text{ млн. кВт-год}, \quad (3)$$

де  $E_{i-1}^{EC}$  – координата ІКЕ в попередній точці, млн. кВт-год;  $\Delta E_i^{EC}$  – приріст енергії в даній точці, млн. кВт-год.

Визначається значення енергії розряду ГАЕС при кожному рівні навантаження

$$E_{pi}^{EC} = E_{\max}^{EC} - E_i^{EC}, \text{ млн. кВт-год}, \quad (4)$$

де  $E_{\max}^{EC}$  – максимальна координата ІКЕ, млн. кВт-год;  $E_i^{EC}$  – координата ІКЕ в даній точці, млн. кВт-год.

Визначається значення енергії заряду ГАЕС при кожному рівні навантаження

$$E_{zi}^{EC} = N_i^{EC} \cdot 24 - E_{pi}^{EC}, \text{ млн. кВт-год}. \quad (5)$$

Розраховується ККД ГАЕС при кожному рівні навантаження

$$\eta_i^{GAEC} = E_{pi}^{EC} / E_{zi}^{EC}. \quad (6)$$

Результати розрахунку координат ІКЕ наведені

Таблиця 2. Розрахунок координат ІКЕ енергосистеми  $N^{EC} = f(\eta^{GAEC})$  та графіка зв'язку рівнів навантаження енергосистеми від ККД ГАЕС  $\eta^{GAEC} = f(N^{EC})$

Параметр	Кімери точок																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$N_i^{EC}$ тис.МВт	0	26,644	26,845	26,863	26,934	27,014	27,521	27,738	28,751	29,322	29,823	30,688	31,679	32,346	32,365	32,394	32,558	32,756	32,806	33,091	33,215	33,304	33,304	33,304	33,958	34,245
$\Delta N_i^{EC}$ тис.МВт	0	26,644	0,201	0,018	0,071	0,080	0,507	0,217	1,013	0,571	0,501	0,865	0,991	0,667	0,019	0,029	0,164	0,198	0,050	0,262	0,023	0,124	0,056	0,033	0,654	0,287
$\Delta t_p$ год	0	24	23	22	21	20	19	18,88	17,31	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$\Delta E_i^{EC}$ млн. кВт-год	0,000	639,456	4,623	0,396	1,491	1,600	9,633	4,097	17,537	9,707	8,016	12,975	13,874	8,671	0,228	0,319	1,640	1,782	0,400	1,834	0,138	0,620	0,224	0,099	1,308	0,287
$E_i^{EC}$ млн. кВт-год	0,000	639,456	644,079	644,475	645,966	647,566	657,199	661,296	678,833	688,540	696,556	709,531	723,405	732,076	732,304	732,623	734,263	736,045	736,445	738,279	738,417	739,037	739,261	739,360	740,668	740,955
$E_{pi}^{EC}$ млн. кВт-год	740,955	101,499	96,876	96,480	94,989	93,389	83,756	79,659	62,122	52,415	44,399	31,424	17,550	8,879	8,651	8,332	6,692	4,910	4,510	2,676	2,538	1,918	1,694	1,595	0,287	0,000
$E_{zi}^{EC}$ млн. кВт-год	0,000	0,201	0,237	0,450	0,770	3,305	4,416	11,191	15,188	19,196	26,981	36,891	44,228	44,456	44,833	47,129	50,099	50,899	55,353	55,767	58,123	59,243	59,936	74,324	80,925	
$\eta^{GAEC}$							1,165	0,476	0,201	0,195	0,186	0,142	0,098	0,089	0,048	0,046	0,033	0,029	0,027	0,004	0,000					

Таблиця 1. Добове навантаження ОЕС України на 31.01.2014 р. (за даними диспетчерської інформації [3])

Рівні навантаження	Години доби																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$N_i^{EC}$ тис.МВт	27,738	27,014	26,863	26,845	26,644	26,934	27,521	29,322	30,688	32,365	33,271	33,215	33,304	32,756	32,806	32,346	32,394	33,091	34,245	33,958	33,068	32,558	31,679	29,823	28,751

в Табл. 2. За графіком зв'язку ГАЕС  $\eta^{GAEC} = f(N^{EC})$  при визначеному рівні ККД ГАЕС знаходимо рівень регулювання  $N_{pez} = 31093,2$  МВт, який поділяє добовий графік навантаження на піки і провали (Рис. 3).

При цьому дані сумарного навантаження роботи усіх ГАЕС в енергосистемі в турбінному і насосному режимах приводяться в Табл. 3.

За даними Табл. 3 максимальна встановлена потужність в турбінному режимі при повному вирівнюванні становить 3 152 МВт, а в насосному – 4 499 МВт.

В результаті обчислення площ піків навантаження в енергосистемі необхідна енергія розряду усіх ГАЕС при повному вирівнюванні добового графіка навантаження енергосистеми становить  $E_{p\text{пв}} = 25,751$  млн. кВт-год. За даними основних характеристик об'єктів Київської, Канівської, Ташлицької, Дністровської гідроакмулюючих електростанцій, розроблених ПАТ "УКРГІДРОПРОЕКТ" [4], сумарне добове значення енергії розряду усіх ГАЕС України при експлуатації на повну потужність становитиме  $E_{p\text{чв}} = 12,738$  млн. кВт-год, що дає можливість тільки часткового вирівнювання добового графіка навантаження ОЕС України. Проте, враховуючи, що перекачування води між верхнім і нижнім басейнами ГАЕС практично не залежить від об'єму транзитного стоку ріки, то розбудова верхніх басейнів ГАЕС біля існуючих водосховищ ГЕС, що вже експлуатуються

[6], є перспективним напрямом нарощення регулюючих потужностей в енергосистемі України.

На кафедрі гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин Національного університету водного господарства та природокористування розглядалися проекти Ладжинської, Клебан-Бикської і Ломачинської гідроакмулюючих електростанцій, основні характеристики яких наведені в Табл. 4.

Як видно за даними Табл. 4, додатково сумарний добо-

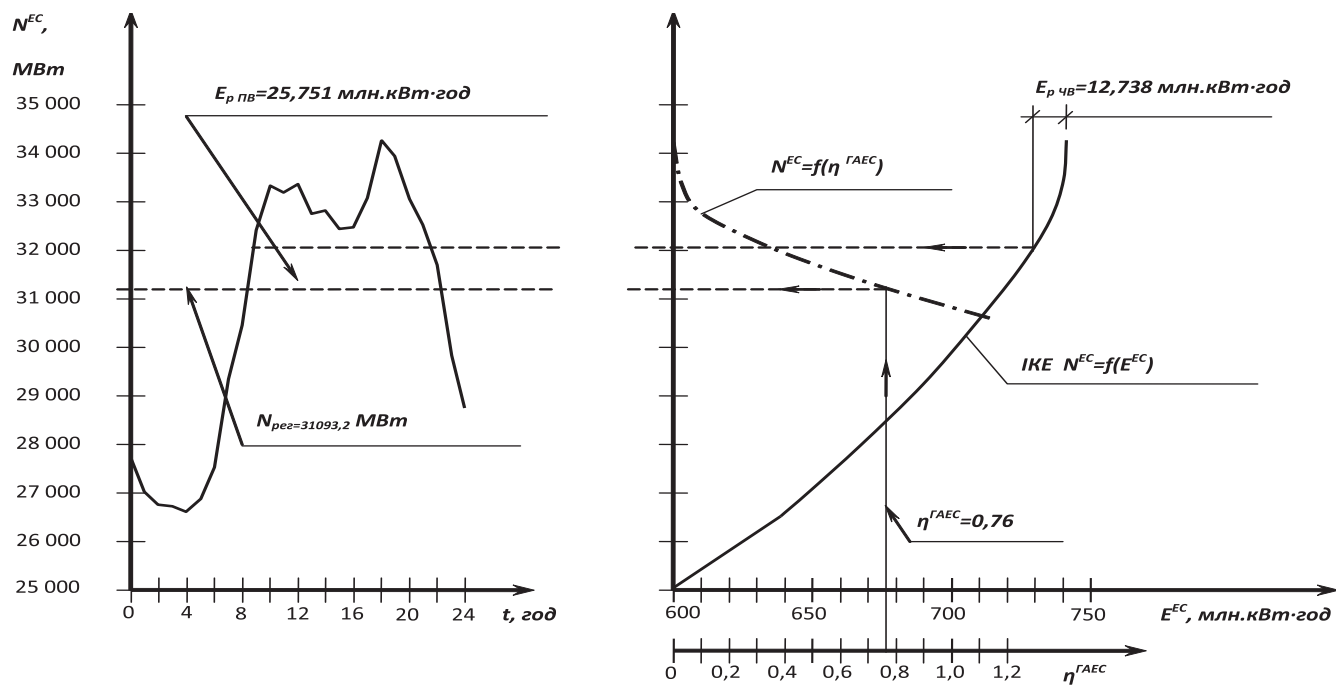


Рис. 3. Повне вирівнювання добового графіка навантаження енергосистеми  $N^{EC} = f(t)$

вий виробіток електроенергії 3-х ГАЕС сягає 12,573 млн. кВт-год, що дозволить досягнути повного вирівнювання добового графіка навантаження ОЕС України.

**Висновки**

1. Прийняті проекти ГАЕС України при запуску цих об'єктів на повну потужність дозвлять провести часткове вирівнювання добового графіка навантаження об'єднаної енергосистеми України.

2. Збільшення частки забезпечення потужностей енергосистеми ГЕС і ГАЕС дозволяє забезпечити безаварійну роботу потужних агрегатів АЕС і ТЕС, а також генерацію потужностей на вимогу споживача.

3. В приведених розрахунках повного вирівнювання добового графіка навантаження ОЕС України не враховано робота вже існуючих ГЕС і ГАЕС, що дозволяє перевести їх потужність в напівбазу графіка навантаження, тим самим скоротити обсяги використання ТЕС, що працюють на найбільш вартісних видах палива.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. *Енергетика: история, настоящее и будущее*. Т.4. Возобновляемая энергетика. Функционирование и развитие энергетика в современном мире. – Киев, 2010. – 612 с.  
 2. *Синюгин В.Ю., Магрук В.И., Родионов В.Г.* Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике. – М.: ЭНАС, 2008. – 358 с.

Таблиця 3. Сумарне навантаження роботи усіх ГАЕС в енергосистемі в турбінному і насосному режимах

Навантаження	Години доби																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$N^{ГАЕС т}$ , тис.МВт	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,272	2,178	2,122	2,211	1,663	1,713	1,253	1,301	1,998	3,152	2,865	1,975	1,465	0,586	0,000	0,000
$N^{ГАЕС н}$ , тис.МВт	3,555	4,079	4,230	4,248	4,449	4,159	3,572	1,771	0,405	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,270	2,342	

Таблиця 4. Основні характеристики можливих майбутніх об'єктів ГАЕС

Назва ГАЕС	Корисний об'єм верхнього басейну, млн.м <sup>3</sup>	Розрахунковий напір в турбінному режимі, м	Добовий виробіток електроенергії (еквівалентний корисному об'єму верхнього басейну), млн. кВт-год
Ладизинська (р.Півд.Буг, Вінницька обл., нижній басейн – водосховище Ладизинської ГЕС)	21,6	72,03	3,773
Клебан-Бикська (нижній басейн – Клебан-Бикське водосховище, Донецька обл.)	13,3	114,27	3,686
Ломачинська (р.Дністер, нижній басейн – водосховище Дністровської ГЕС-1)	14,3	147,49	5,115
Сума			12,573

3. <https://ua.energy/diyalnist/dyspetcherska-informat-siya/doboviy-grafik-vyrobnytstva-spozhyvannya-e-e/>  
 4. <http://www.uhp.kharkov.ua/ua/projects-gaes>  
 5. Яковлева О.М. Перспективи використання ГАЕС для покриття напівпіків навантаження в енергосистемі// Гідроенергетика України. – 2016. – №1–2.. – С. 59–61.  
 6. Яковлева О.М. Обґрунтування напорів ГАЕС при використанні водосховищ каскаду ГЕС у якості басейнів// Гідроенергетика України. – 2016. – № 3–4. – С. 68–70.