

УДК 621.311.2:621.221.4

Ю.О. ВІХОРЕВ, канд. техн. наук (Інститут загальної енергетики НАН України, Київ)

ПЕРСПЕКТИВНІ ЕКОНОМІЧНІ ГЕС-ГАЕС КОМПЛЕКСНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розглянуто можливість спорудження в Україні економічних ГЕС-ГАЕС із припливністю у верхові водосховища, які можуть також брати участь у захисті від повеней прилеглих територій.

У світі накопичено величезний досвід спорудження та експлуатації ГАЕС. Відомо, що ГАЕС є ефективним, концентрованим і гарантовано керованим засобом перетворення базисної електроенергії на більш дорожу пікову. Тож будівництво ГАЕС триває. Втім, останнім часом на розвиток гідроакмулювання почали впливати нові фактори, котрі водночас сприяють і стримують спорудження ГАЕС, підвищуючи вимоги до їх властивостей з економічності та маневреності як об'єкта. До таких факторів належить, зокрема, введення доволі великих потужностей поновлюваних джерел енергії без гарантованої з прогнозою (в експлуатації) забезпеченості енергоресурсу, зниження концентрації потужностей на ГЕС через екологічні обмеження, а в деяких країнах ще й вичерпання економічно доцільного гідроенергопотенціалу.

До стримуючих факторів належить збільшення використання в електроенергетиці газу і подорожчання органічного палива, скорочення спорудження АЕС, підвищення маневрових властивостей ТЕС і частково АЕС. Накопичено системний досвід економічних взаємовідносин і впровадження споживачів-регуляторів. Необхідність заходів зі зниження антропогенного впливу енергетики на навколишнє середовище призвела до переоцінки економічно доцільного гідроенергопотенціалу, почалися процеси спорудження ГЕС, які раніше вважалися недоцільними.

Міждержавна інтеграція енергосистем і поява матеріалізованих оперативних ринків електроенергії спричиняє необхідність змушеного притягнення ГАЕС до оперативного керування потужністю і частково частотою (вторинне регулювання). Це потребує підвищення їх маневрових властивостей, але знижує економічність як об'єкта [1], що у свою чергу, вимагає підвищення економічності гідроакмулюючих станцій.

Проблеми гідроакмулювання в українській енергетиці дискутувалися у джерелах [2, 3, 4, 5].

Споруджувані ГАЕС вирішують задачу покриття пікових навантажень на досить великий термін часу. Етапні вводи агрегатів враховують відновлення умов заряду та підвищення економічності ТЕС. Але лише для Канівської ГАЕС є час для

вирішення задач із підвищення її економічності та мобільності. Ця ГАЕС може мати значно гнучкіші режимні властивості та умови заряду за рахунок резервного об'єму верхового водосховища.

В Україні, безперечно, доцільно використовувати гідроенергопотенціал спорудженням нових ГЕС. Оскільки ж він є відносно невеликим, з'явиться необхідність у спорудженні нових ГАЕС. Для цих станцій уже сьогодні варто передбачити вирішення завдання підвищення внутрішньої економічності, а також значною мірою маневрових і мобільних властивостей, які матимуть у подальшому матеріалізовану системну цінність. Певна річ, що за можливості слід вирішувати соціальні та водогосподарчі задачі.

Внутрішньостанційною характеристикою довершеності ГАЕС як об'єкта є своєрідний коефіцієнт корисної дії – співвідношення енергії турбінного режиму та енергії заряду, тобто показник ефективності перетворення енергії.

Для традиційних "чистих" ГАЕС (об'єм заряду води у принципі дорівнює розрядові за будь-якого режиму) можливості підвищення економічності вкрай обмежені – зниження втрат напору і довершеність обладнання. Додаткові витрати окуповуються довгостроковою експлуатацією. Але для нових ГАЕС можливі інші рішення.

Як відомо, енергетичні параметри будь-якого гідроенергооб'єкта визначаються можливими витратами води і напорами. Певна річ, мали з'явитися ідеї спорудження більш економічних комплексів ГАЕС і ГЕС-ГАЕС з можливістю роботи в турбінних режимах із напорами, які перевищують напір насосних [6].

У США побудовано ГАЕС, що працює з різними напорами. Вона має комплексне призначення. Під час повені, за форсованого нижнього водоймища та відносно знижених напорах сезонно заряджаються верхні водосховища, з'єднані каналами. У меженні періоди за рахунок раніше накопиченої води ГАЕС може працювати з більш тривалими турбінними режимами та з підвищеними напорами. Додаткові витрати води в турбінному режимі використовуються з метою підвищення гарантованого рівня водозабезпечення

розташованих у долині невеликої ріки міст і потужного промислового вузла. У маловодний період часу зростають витрати води відносно невеликої річки на водогосподарчі цілі, отже забезпеченість малої ГЕС, розташованої нижче річкою, збільшується.

Зазначена ГАЕС є прикладом дорогого об'єкта комплексного призначення, де водогосподарчі цілі виправдовують додаткові капіталовкладення і сезонні витрати енергії на заряд водосховищ, які повернуться в меженні періоди.

Для реалізації ідеї [6] в умовах України можливо використання меандр, тобто закрутів річок, з великими ухилами, в тому числі відносно малих річок. Попередній аналіз перспективних майданчиків у регіоні Карпат виявив можливість спорудження таких ГЕС-ГАЕС. Але для них буде характерною значна протяжність водоводів. Тож, якщо додати до цього додаткові витрати на турбінні, насосні або обертаючі агрегати та необхідність спорудження трьох водоймищ (верхового і двох у руслі річки), первісні витрати можуть виявитися завеликими. Таким чином, потрібний ретельний техніко-економічний аналіз на основі об'єктивних попередніх геодезичних і геологічних даних.

Найбільш перспективним для спорудження такої ГЕС-ГАЕС є майданчик на р. Дністер поблизу поселення Незвисько на кордоні Івано-Франківської та Тернопільської областей. Тут можливо звести ГЕС-ГАЕС з напором 110-130 м та з різницею напорів у турбінному і насосному режимах 10-15 м (середньорічна витрата води р. Дністер у створі 130 куб. м/сек).

Для умов України більш перспективними є економічні ГЕС-ГАЕС з припливністю у верхове водоймище. Припливність може забезпечуватися за рахунок перекиду стоку в верхове водоймище або спорудження водоймища поблизу гирла гірського водотоку. Енергетична ціна припливності у верхове водоймище для означених ГЕС-ГАЕС є великою і докорінно перетворюватиме енергетичні властивості об'єкта. Збільшується час турбінного режиму – режим ГЕС (вода може накопичуватися понад 18 годин), додатково збільшується напір. Проявляється підвищення ККД гідромашин у більш тривалих турбінних режимах.

Природна припливність у верхове водоймище впливає на режим ГАЕС подвійно. По-перше, накопичена вода може використовуватися додатково в турбінному режимі. По-друге, іноді можуть скорочуватися об'єми води, які щоденно закачуються у верхове водоймище. Обидва режими

можливо використовувати залежно від сезонних витрат води у верхове водоймище.

На нижньому водосховищі має споруджуватися мала контркеруюча ГЕС для регулювання стоку нижче річкою аж до режиму стоку, що сезонно існував до спорудження ГАЕС. При спорудженні лише малої ГЕС на таких водотоках їх гідроенергопотенціал вкрай невеликий. Отже, лише за умови тандему ГЕС-ГАЕС сумарна потужність комплексу зростатиме в декілька разів.

Для річок Західної України водоймища комплексу слід цілеспрямовано використовувати для зрізування піків паводкових витрат води. Це дуже серйозна задача. В подібних створах, наприклад у Закарпатті, зникає потреба спорудження так званих "сухих" водоймищ, пропонувані деякими фахівцями з метою боротьби з повенями. Такі водоймища споруджувалися наприкінці ХІХ сторіччя, в тому числі на водогосподарчі потреби – в'язання плотів і сплав лісу. Але нині створення водоймищ без енергетичного використання є нераціональним. А подальша добудова на існуючих водоймищах енергооб'єктів потребує значних додаткових капіталовкладень.

У Закарпатті уже здійснено попередній пошук та аналіз перспективних майданчиків для створення економічних комплексів ГЕС-ГАЕС. Поки це лише попередні дані. Для обґрунтування з припустимою точністю техніко-економічних показників і, насамперед, капіталовкладень, необхідні цілеспрямовані гідрологічні, геодезичні та геологічні пошукові роботи.

Щодо перекиду стоку найбільш перспективними є майданчики в межиріччі рік Середня Ріка, Шопурка та Косівська, де різниця рівнів сягає 80-120 м. Протяжність тунелю для перекиду стоку у верхове водоймище може становити 1,0-1,5 км. Більш чисельні потенційні майданчики для спорудження ГЕС-ГАЕС з річковою припливністю у верхове водосховище. Так, для пошукових проектних робіт можуть розглядатися кілька майданчиків закарпатських річок Брустуриянка, Мокранка, Теремля, Біла Тиса, верхів'я Тиси. Їх притоки мають на ділянках поблизу гирла ухили 30-60 м на кілометр.

Певна річ, це доволі малі водотоки з різними сезонними витратами води, зі своєрідними характеристиками забезпеченості та умовами весняних і зливових повеней.

Серед цих майданчиків проведено попередній аналіз комплексу ГЕС-ГАЕС на р. Мокранка поблизу поселення Руська Мокра та гирла притоку Яновець. Причому цей потенційний майдан-

чик характеризується найменшими гідрологічними характеристиками порівняно з іншими. Річний стік р. Яновець досягає лише 56 млн куб. м. Утім, гідрологічні та геодезичні умови дозволяють спорудити у створі Мокранки малу ГЕС потужністю до 5500 кВт зі зниженням наявної тривалості 3-4 місяці до 1400-2500 кВт через нерівномірності гідрографа, та МГЕС на річці Яновець потужністю 700-1000 кВт. Ці показники характеризують гідроенергопотенціал створів.

Попередній аналіз майданчика показав, що за топогеодезичними умовами можливе спорудження верхового водоймища в ущелині між гір у річищі р. Яновець без відторгнення цінних земель з напором стосовно можливої нижньої водойми до 90-110 м.

Слід відзначити, що попередні варіанти пропозиції становили потужність ГЕС-ГАЕС до 600 МВт. Але енергетичні показники варіанта ГЕС-ГАЕС з напором 100 м розраховувались з огляду на вкрай жорсткі обмеження щодо відторгнення земель у долині Мокранки, мінімальну протяжність нижнього водоймища через якомога малі витрати на відбудову доріг у складних геологічних умовах. Виявилось, що сумарна потужність ГАЕС знижується до 300-350 МВт.

Було оцінено об'єми і площі водоймищ за різної добової припливності різних імовірних забезпеченостей за періодами часу, а також коефіцієнти перетворення енергії з огляду на такі припливності у верхове водоймище.

Загальностанційний ККД гідроакумулювання, або коефіцієнт перетворення енергії, можна оцінити інтервально за виразом:

$$\eta_{ГА} = \frac{\sum E_p}{\sum E_3} = \frac{\sum \eta_T Q_T H_T \eta_H t_T}{\sum Q_H H_H t_H} = \sum \frac{\eta_T \eta_H H_T}{H_H V_{ГА}^p} (V_{ГА}^p + V_{ГЕС}^p),$$

де E_p – енергія розряду; E_3 – енергія заряду; η_T – ККД обертових машин у турбінних режимах; η_H – ККД обертових машин у насосному режимі; Q_T – витрата води у турбінних режимах; Q_H – витрата води в насосних режимах; H_T – середній напір у турбінних режимах; H_H – середній напір у насосних режимах; t_T – час роботи комплексу в турбінних режимах; t_H – час роботи комплексу в насосних режимах; $V_{ГА}^p$ – обсяг води у водоймищі, використовуваний у режимі розряду, отриманий за рахунок гідроакумулювання; $V_{ГА}^n$ – обсяг води, використовуваний у режимі заряду; $V_{ГЕС}^p$ – обсяг води природної припливності у верхове водоймище.

ККД обертових агрегатів бралися за показниками Київської ГАЕС.

Урахування припливності за середньо-багато-річним гідрографом р. Яновець показало, що в середньому коефіцієнт перетворення енергії комплексу ГЕС-ГАЕС зростає до 0,85 (у "чистих" споруджуваних ГАЕС – 0,68-0,70).

Для майданчика на рр. Терблї і Сухар (річний стік 82 млн куб. м) коефіцієнт перетворення енергії комплексу ГЕС-ГАЕС може сягати 1,2.

Таким чином, додаткова припливність малих водотоків у верхове водоймище за невеликих його витрат спроможна підвищити коефіцієнт перетворення енергії не менше, ніж на 20-30%, інколи й більше. Це, певна річ, досить попередні оцінки, але вони характеризують ціну припливності.

Слід зупинитися на особливостях повеневих періодів часу, які треба враховувати окремо.

Положення Карпат відносно центрів дії атмосферних фронтів та умов циркуляції вологи в атмосфері зумовлює випадання інтенсивних опадів, що спричиняє повені (іноді короткотермінові) на річках упродовж усього року. Поширеними є зливові дощі тривалістю до 1-1,5, іноді 3-4 доби, які викликають короткотермінові, але небезпечні повені, що можуть завдавати значної шкоди об'єктам господарської діяльності. Оподи, кількість яких становить 70-100 мм за добу, спостерігаються 3-6 разів на рік, а 30-50 мм ще частіше. Дощових паводків може бути 5-8, іноді 10-12 за рік. У холодний період найбільші витрати води формуються у період відлиг під впливом змішаного стоку, який утворюється від талого снігу і рідких опадів. Ефект припливності притоків досить значний навіть у разі короткочасного характеру повеней.

Інтенсивність підняття рівня води у верхів'ях річок становить іноді 1,5-2,3 м/добу, що ускладнюватиме оптимальне накопичення води у водосховищах ГЕС-ГАЕС і планове регулювання з метою зрізки повеневих притокових витрат води. Але навіть у такі періоди водосховища незначної ємності можуть стати ефективними регуляторами і дозволять зрізати пікові витрати води. У такому разі зворотні агрегати можуть працювати у турбінному режимі.

Планування регулювання стоку і режиму ГЕС-ГАЕС очікується достатньо складним і значною мірою визначатиметься точністю гідропрогнозів, що потребує впровадження приладових спостережень за рівнями води та швидкостями їх зміни. За появи можливих побоювань щодо появи повеневих витрат, комплекс має переходити в режим ГЕС для вивільнення ємності обох водосховищ, скиду частини води з нижнього водосховища з припустимими витратами.

Упродовж експлуатації в окремі роки та періоди великої водності частка виробітку електроенергії в режимі ГЕС може значно перевищувати прогнозні проектні показники.

Завищення потужності комплексу ГЕС-ГАЕС може спричиняти зниження внутрішньостанційної ефективності. Необхідна оптимізація основних енергетичних параметрів. Окрім того, на потужність істотно впливатимуть жорсткі обмеження площ водосховищ і витрати на компенсаційні спорудження у складних геологічних умовах.

Попередні оцінки показують, що це будуть комплекси відносно невеликої потужності (300-350 МВт) із внутрішньостанційними коефіцієнтами перетворення енергії – 0,85-1,3, напорами – 90-180 м та з агрегатами одиничної потужності – 50-75 МВт.

Для таких агрегатів реально досягти максимально задовільних для енергосистем мобільних властивостей з керованості потужністю та більш широку зону найвищих ККД. Це матиме особливе значення, дозволить не використовувати у процесах оперативного управління потужністю менш економічні ГАЕС, для яких ця задача попервах не передбачалася [1]. Крім того, необхідно

враховувати, що розташовані в Західній Україні гідроенергооб'єкти матимуть найвищу режимну чутливість до управління міждержавними контрактними обмінами потужністю.

При розробці агрегатів може бути використаний досвід створення і реконструкції обертових агрегатів для Київської ГАЕС, що дозволить зменшити вартість обладнання.

На сьогодні існують вкрай обережні та песимістичні прогнозні оцінки розвитку гідроенергетики в Україні. Проте слід мати на увазі, що попри величезні обмеження щодо капіталовкладень у реконструкцію та розвиток енергетики, розуміння пошуку шляхів підвищення економічності та керованості енергооб'єктів і систем на далеку перспективу необхідне.

Досвід країн Західної Європи, де гідроенергопотенціал вкрай обмежений і навіть відсутні майданчики для спорудження нових ГАЕС, свідчить, що для забезпечення режимної керованості за жорстких вимог до маневрених і мобільних властивостей оперативного резерву споруджуються концесійні об'єкти. Тому вказані майданчики можуть представляти інтерес для сумісного спорудження економічних ГЕС-ГАЕС.

1. Ю.О. Віхорев. Аналіз можливості експлуатації ГАЕС у режимах первинного та вторинного регулювання частоти та потужності // *Новини енергетики*. – 2002. – №5. – С. 36-40.

2. Чи потрібні Україні нові ГАЕС? / Ю.В. Щербина, О.І. Воєвода, К.Б. Денисевич, Д.О. Олєфір // *Енергетика та електрифікація*. – 2000. – №9. – С. 2-10.

3. Перспективы развития ГАЭС Украины / В.А. Осадчук, Ю.А. Ландау, С.И. Поташник, В.А. Чевычалов, В.М. Бабушкин, С.Ф. Артюр // *Енергетика та електрифікація*. – 2001. – №1. – С. 2-10.

4. А.Ф. Сидоров. Дополнительно об аргументах не в пользу сверхмощных ГАЭС // *Енергетика та електрифікація*. – 2001. – №1. – С. 15-17.

5. Ю.О. Віхорев. Про спорудження ГАЕС в енергооб'єднанні України // *Енергетика та електрифікація*. – 2001. – №1. – С. 11-14.

6. Л.А. Кароль, В.М. Рабинкий, Б.И. Силаев. Увеличение экономического потенциала водноэнергетических ресурсов с помощью гидроаккумулирования. – *Труды МЭИ. Энергетические и технологические установки*. – 1978. – Вып. 358. – С. 66-69.