



**РЯБЕНКО О.А.**<sup>1</sup>, докт., техн., наук, професор, зав. кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин, **ОСАДЧИЙ С.Д.**<sup>2</sup>, перш. заст. ген. директора ПАТ "Укргідропроект", **КЛЮХА О.О.**<sup>1</sup>, канд. техн., наук, **ТИМОЩУК В.С.**<sup>1</sup>, ст. викладач.

<sup>1</sup> Нац. університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

<sup>2</sup> ПАТ "Укргідропроект", м. Харків

## ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ГАЕС В УМОВАХ ВИНИКНЕННЯ ХВИЛЬ ПЕРЕМІЩЕННЯ

*Розглядається питання роботи ГАЕС в об'єднаній енергосистемі. Звертається увага на утворення хвильових процесів у верхній водоймі під час пуску, зупинки та роботи ГАЕС. Наводяться результати натурних досліджень при роботі першого агрегату в насосному режимі.*

*Ключові слова:* ГАЕС, висота хвиль, натурні дослідження, хвилі переміщення, енергосистема.

Однією з найважливіших тенденцій розвитку світової енергетики є інтенсивне використання гідроакуючих електростанцій (ГАЕС). Такі станції у періоди пікового та напівпікового навантаження енергосистеми працюють у турбінному режимі, використовуючи накопичену воду із верхньої водойми і виробляючи гостро дефіцитну електричну енергію у періоди провалів навантаження енергосистеми (базова частина) працюють у насосному режимі, подаючи воду у верхню водойму і споживаючи при цьому дешеву надлишкову електроенергію із енергосистеми (Рис. 1). Кількість працюючих в теперішній час таких станцій у світі становить 350 ГАЕС, а з врахуванням станцій, що будуються, проектується і намічені до будівництва, ця кількість оцінюється значенням в 500 ГАЕС [1, 2].

Широкому використанню ГАЕС сприяє наявність великої кількості важливих виробничих функцій, які виконують ці станції. До числа таких функцій необхідно віднести наступні:

- виробництво гостродефіцитної пікової і напівпікової електричної енергії;
- споживання дешевої базової електричної енергії;
- вирівнювання графіка навантажень енергосистеми;
- регулювання параметрів (потужності, частоти,  $\cos \phi$  та ін.) енергосистеми;
- надання системних послуг енергоринку;
- сприяння підвищенню надійності і стабільності роботи генеруючого обладнання АЕС і ТЕС шляхом забезпечення рівномірного режиму його роботи;
- компенсація реактивної потужності у розподільчих електричних мережах;
- використання ГАЕС для створення оперативного і аварійного резервів потужності енергосистеми [3–6].

Серед великої кількості позитивних рис ГАЕС необхідно особливо виділити таку важливу рису, як висока маневреність їх роботи (так само як і агрегатів ГЕС). Так час набору повної потужності агрегатів ГЕС і ГАЕС після їх зупинки становить 1–

2 хвилини, а при роботі їх агрегатів у режимі холостого ходу цей час дорівнює всього 15–30 секунд. Для порівняння зазначимо, що вказаний час становить для агрегатів АЕС (після їх зупинки) 390–660 хв., ТЕС – 90–180 хв., а для режиму "гарячого" стану АЕС – 60 хв., ТЕС – 20–50 хв.

Характерним прикладом суттєвого розширення функцій ГАЕС може слугувати режим роботи Загорської ГАЕС. Число пусків оборотних агрегатів цієї станції досягає 440 в місяць а в окремі періоди – біля 30 пусків за добу без врахування пусків агрегатів у режимі синхронного компенсатора. Кількість змін режимів роботи ГАЕС доходить до 4000–8000 за рік. Наприклад, ця кількість становить для ГАЕС Дракенсберг (ПАР) – 8000, Гільбоа (США) – 6000, Дінорвіг (Англія) – 5000 [2].

Світовими лідерами в будівництві і використанні ГАЕС є США та Японія, в яких наразі експлуатується 36 і 34 таких станцій відповідно. Характерно, що у США, Японії, Німеччині, Італії, Франції, Швейцарії налічується біля 200 діючих ГАЕС. В Україні зараз експлуатується Київська (це перша ГАЕС у бувшому СРСР), Ташлицька і

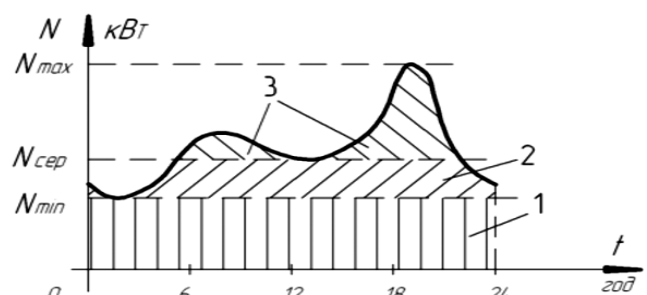


Рис. 1. Графік добового навантаження енергосистеми: 1 - базова, 2 - напівпікова, 3 - пікова частини

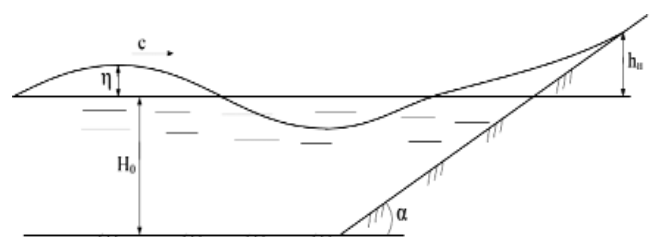


Рис. 2. Схема накоплення водних хвиль на уклі

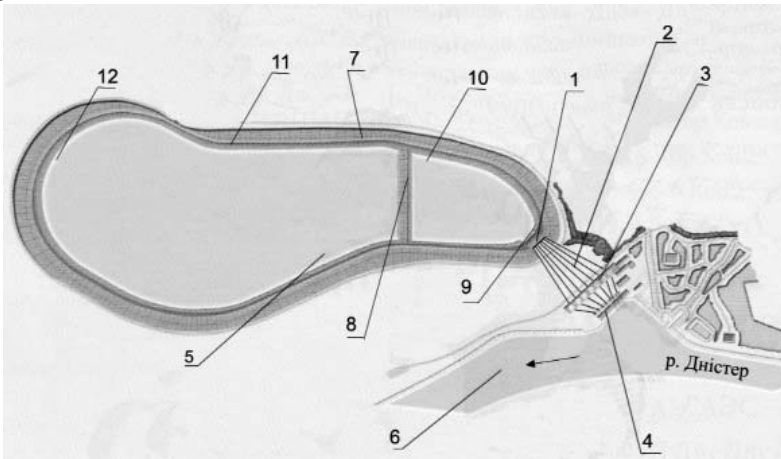


Рис. 3. План основних споруд Дністровської ГАЕС: 1 – водоприймач, 2 – напірні водоводи, 3 – будівля ГАЕС, 4 – водовипуск, 5 – верхня водойма, 6 – нижня водойма, 7 – огорожувальна дамба, 8 – тимчасова перегороджувальна дамба, 9-12 – місце розташування датчиків №1-4 відповідно

Дністровська станція такого типу. Після введення в експлуатацію усіх 7 блоків установлена потужність Дністровської ГАЕС у генераторному режимі становитиме 2268 МВт і за цим показником вона стане найпотужнішою ГАЕС у Європі і п'ятою у світі. Планом розвитку гідроенергетики України на період до 2026 року передбачається будівництво Канівської ГАЕС.

Під час пуску, зупинки і зміни потужності агрегатів ГАЕС у верхній водоймі та відвідному каналі станцій формуються неусталені гідравлічні режими водного потоку з утворенням хвиль переміщення. Характеристики таких хвиль (разом з подібними характеристиками вітрових хвиль) необхідно враховувати при визначенні відміток верха огорожуючих споруд верхньої водойми ГАЕС, при виборі типу і розмірів кріплення укосів земляних дамб, а також при виконанні розрахунків міцності та стійкості споруд.

Характерно, що неусталений рух води виникає при всякій зміні витрати гідроагрегатів і розвивається на тлі безперервної зміни рівня між НПР і РМО, яка є специфічною рисою гідравліки верхніх водойм ГАЕС. Тому, як на етапі проекту-

вання об'єкту, так і на етапах його будівництва і експлуатації дуже важливим є розуміння динаміки процесів, що відбуваються у водоймах. Особливе значення мають критичні режими роботи об'єкта з можливими катастрофічними наслідками: переповнення водойми, перелив води через огорожувальні дамби внаслідок хвильових процесів, розмив дна і т.п. Схема накопчення хвилі переміщення на укис зображена на Рис. 2.

Визначення параметрів таких гідравлічних режимів є надзвичайно складною науковою проблемою, яка вирішується шляхом математичного (чисельного) та фізичного (гідравлічного) моделювання. Використовувані методи

такого моделювання включають велику кількість різноманітних гіпотез, допущень, спрощень, емпіричних коефіцієнтів та ін., наявність яких негативно впливає на точність отримуваних результатів. За таких умов проміжні і кінцеві результати моделювання потребують верифікації шляхом співставлення з даними лабораторних і натурних досліджень подібних об'єктів.

Особливої цінності при цьому набувають результати натурних досліджень, які автоматично враховують весь комплекс діючих факторів – закони руху рідини, описувані диференціальними рівняннями в частинних похідних, особливості роботи агрегатів ГАЕС у турбінному і насосному режимах, геометрію верхнього та нижнього водосховищ, вплив вітрових хвиль тощо [7]. Вибір використовуваних типів контрольно-вимірювальної апаратури при проведенні натурних досліджень повинен враховувати всі названі фактори і забезпечити необхідну точність отримуваних результатів. Натурні дослідження були проведені у верхній водоймі Дністровської ГАЕС (Рис. 3).

Серед різних типів КВА, встановленої на Дністровській ГАЕС, можна виділити таку апаратуру, що може бути використана для визначення коливальних рівнів води у верхній і нижній водоймах Дністровської ГАЕС під час роботи станції [8,9]: датчики тиску мембранного типу VEGAWELL72, які встановлені у верхньому і нижньому б'єфах; датчики тиску струнного типу 4500S-350kPa (дистанційні п'єзометри). Датчики останнього типу розміщені на динамічній осі руху води від водоприймача до огорожувальної дамби у верхній водоймі на ПК63+60 (№2), ПК-52+01 (№3), ПК-38+01 (№4). Датчики № 2-4 були запроектовані та додатково встановлені для вимірювання характеристик хвиль переміщення у водоймі під час роботи станції [10]. Значення висот

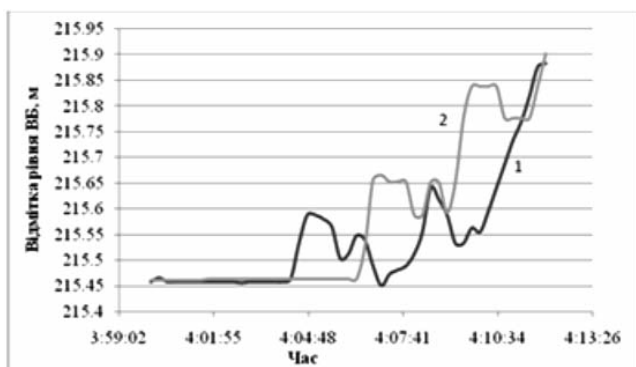


Рис. 4. Графік зміни рівнів води у верхній водоймі Дністровської ГАЕС під час пуску першого агрегату в насосному режимі та синхронному записі даних з датчиків: 1 – датчик №1, 2 – датчик №2



хвиль за допомогою датчика № 1 можна отримувати в автоматичному режимі, оскільки він підключений до системи збору на головному щиті управління (ГЩУ). Після встановлення датчика №2 були отримані результати при синхронному вимірюванні сигналів перших двох датчиків (Рис. 4), але внаслідок відсутності центральної системи збору дані фіксувались у ручному режимі.

З Рис. 4 видно, що хвилі переміщення, які утворюються під час пуску агрегату в насосному режимі, поширюються від водоприймача по водоймі та фіксуються датчиками №1 та №2 (віддал між датчиками близько 700 м) і мають близькі значення за величиною.

Під час пуску першого агрегату в насосному режимі утворюються хвилі переміщення висотою до 15 см, які зафіксовані датчиком №1 та через 140 секунд – датчиком № 2. Середня швидкість переміщення хвилі складає 5 м/с.

Після зупинки агрегату є характерне пониження рівня води в аванкамері з подальшим підвищенням та утворенням хвиль переміщення. З цього графіка випливає, що їх значення спочатку мають висоту більше 17 см, а потім поступово зменшуються. Такий процес утворення хвиль переміщення при зупинці агрегату є найбільш небезпечним, тому що рівень води у водоймі досягає найбільшого значення. Утворені хвилі поширюються по водосховищу та досягнувши огорожувальної дамби накочуються на ній. Основна суть даних досліджень полягає в тому, щоб не допустити переливання води через відмітку гребеня дамби. Оскільки значення висот утворених хвиль переміщення при роботі одного агрегату сягає більше 20 см, то при роботі більшої кількості гідротурбін слід очікувати збільшення висот хвиль переміщення.

З цих графіків пуску та зупинки агрегату можна зробити висновок, що утворені хвилі переміщення біля аванкамери зафіксовані датчиком №1 поширюються по водоймі та досягнувши місця розташування датчика №2 мають аналогічний характер. Час проходження хвиль між датчиками складає в середньому 1хв 45с. Під час руху хвиль переміщення від аванкамери до перегороджувальної дамби на ПК7+00 вони мають як певний затухаючий характер так і ефект накладання зі зворотними хвилями.

### Висновки.

1. В сучасних умовах росту споживання електроенергії, збільшення одиничної потужності агрегатів ТЕС і АЕС та дефіциту пікової потужності гідроакумуючі електростанції відіграють важливу роль в роботі енергетичних систем.

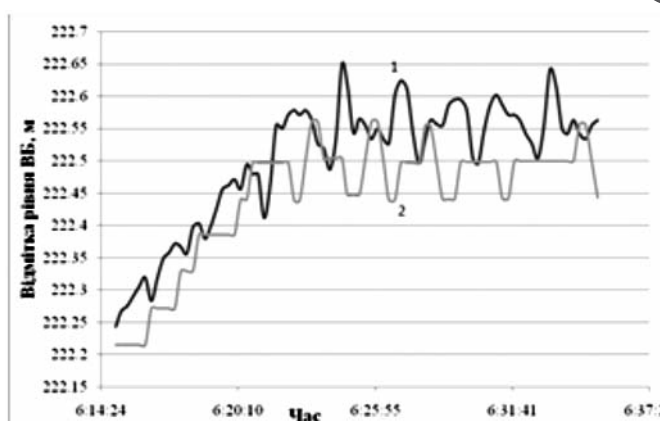


Рис. 5. Графік зміни рівнів води верхньої водойми Дністровської ГАЕС після зупинки першого агрегату в насосному режимі при синхронному записі даних з датчиків: 1 – датчик №1, 2 – датчик №2

2. Назначення відмітки гребеня огорожувальної дамби верхніх водойм ГАЕС при проектуванні та перевірка цієї відмітки під час експлуатації ґрунтується на врахуванні сумарної складової хвиль переміщення та вітрових хвиль.

3. Вдосконалення методик розрахунків параметрів хвиль у верхніх водоймах ГАЕС повинно ґрунтуватись на результатах натурних досліджень з використанням комплексу сучасної контрольно-вимірювальної апаратури.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Ландау Ю.А.* Развитие атомной энергетики и ГАЭС // Гидроэнергетика Украины. – 2006. – №4. – С.18–22.
2. *Тихомирова Н.В.* ГАЭС на развивающемся энергорынке: инновации и инвестиции // Гидротехническое строительство. – 2005. – № 6. – С.30–37.
3. *Титко А.И., Ахременко В.Л.* Пути развития электрогенерирующего оборудования на инновационной основе в современных условиях // Гидроэнергетика Украины. – 2011. – №1. – С.32–38.
4. *Кузьмин В.В., Шевченко В.В.* Анализ нагрузочных режимов синхронных компенсаторов // Гидроэнергетика Украины. – 2003. – №1. – С. 48–53.
5. *Рябенко О.А., Осадчий С.Д., Клюха О.О., Тимошук В.С.* Роль ГАЭС в энергозабезпеченні України. 14-а Міжнародна науково-практична конференція "Ресурси природних вод Карпатського регіону". - Львів, – 2015. – С.117-120.
6. *Елистратов В.В., Кудряшева И.Г., Мирошникова Ю.А.* Выбор режимных параметров ГАЭС с учетом особенностей их работы в энергосистеме // Гидротехническое строительство. – 2014. – №11. – С.22-27.
7. *Ryabenko A.A., Klyuha O.A., Tymoshchuk V.S., Halych O.A., Poplavskiy D.M.* Innovative tendencies in work management of energy systems by using HPSPP // X International Conference "Strategy of Quality in Industry and Education", Varna Bulgaria: Proceeding. – 2014. – pp.141–150.
8. *Руководство по эксплуатации VEGAWELL72 4..20 mA/Hart.* VEGA Grieshaber KG, Schiltach/Germany, 2008 – 48 с.
9. *Instruction Manual Model 4500 Series Vibrating Wire Piezometer,* Geokon, 2011, – 29ps.
10. *Отчет о научно-исследовательской работе №2-128.* Натурные исследования ветровых волн и волн перемещения в верхнем водоёме Днестровской ГАЭС при работе первых двух агрегатов при полном заполнении водоема (заключительный), НУВГП – Ровно, 2014. – 163 с.