

**С.Ф. АРТЮХ**, д-р техн. наук, проф, НТУ «ХПІ»;  
**І.І. ЧЕРВОНЕНКО**, студент НТУ «ХПІ»

### ШАХТНІ ГІДРОАКУМУЛЮЮЧІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ПІДВИЩЕНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ РОБОТИ ГІДРОАГРЕГАТІВ

В даній роботі розглядаються питання пов'язані з будівництвом гідроакumuлюючих електростанцій (ГАЕС) з підземним басейном на базі відпрацьованих рудних шахт та підвищення ефективності їх роботи. Обґрунтована необхідність створення нового екстремального регулятора ККД

В данной работе рассматриваются вопросы связанные со строительством гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) с подземным бассейном на базе отработанных рудных шахт и повышение эффективности их работы. Обоснована необходимость создания нового экстремального регулятора КПД.

This paper addresses issues related to the construction of pumped storage plants (PSP) with an underground swimming pool on the basis of waste ore mines and increase their efficiency. The necessity of creating a new regulator of extreme efficiency.

Гідроакumuлюючі електростанції на найближчі роки є не тільки ефективним, але і єдино реальним для масового впровадження в енергетиці видом акumuлюючих установок. Саме цим пояснюється широкий інтерес до їх будівництва енергетиків всього світу. На сьогоднішній день гідроакumuлювання широко впроваджується в багатьох розвинених країнах світу. Загальне число ГАЕС що експлуатуються і споруджуються у світі складає близько 300, а їх сумарна потужність перевищує 100 ГВт, що в майже два рази перевищує встановлену потужність всіх електростанцій України.

Необхідність будівництва ГАЕС, крім того, пояснюється ще й тим, що у великих енергосистемах, де більша частина енергії генерується, як правило, на ТЕС і АЕС, відчувається гострий дефіцит маневрених потужностей.

Нижче розглядається можливість і доцільність будівництва ГАЕС на базі відпрацьованих рудних шахт, що дозволить знизити витрати на будівництво ГАЕС з підземним басейном. Одночасно розглядаються питання, пов'язані з підвищенням ефективності роботи цих електростанцій при роботі зі змінними напорами.

Гідроакumuлюючі електростанції мають цілий ряд переваг перед звичайними ГЕС. Вони дозволяють здійснювати:

- Покриття напівпікової і частково пікової частини графіка навантаження.

- Зменшення провалів навантаження в нічні, а при необхідності в денні години.

- Покращення режиму роботи теплових і атомних електростанцій.

Крім того, їх можна використовувати, як швидкодіючий оперативний резерв енергосистеми, та для регулювання потужності і навантаження енергосистем. З метою регулювання міжсистемних перетоків. Вони виробляють або споживають реактивну потужність, регулюють напругу і частоту в енергосистемі, підвищують надійність роботи енергосистеми в цілому.

Найбільш поширеними є ГАЕС поверхневого типу. Що ж стосується ГАЕС з підземним басейном, то вони менш поширені, оскільки однією з головних проблем при спорудженні подібної ГАЕС є необхідність будівництва в міцних породах на значній глибині спеціального басейну великого об'єму.

Уникнути цієї проблеми, на нашу думку, можна якщо використовувати як нижній басейн ГАЕС виробки покинутих рудних шахт, зокрема однією з реальних шахт. Така ідея була виказана в 80-ті роки минулого сторіччя радянськими гідроенергетиками, але не була доведена до кінця і так залишилась не реалізованою в [1]. Нами пропонується побудувати таку ГАЕС на базі однієї із шахт Криворізького басейну. Розріз по такій ГАЕС можна представити так, дивись рис.1.

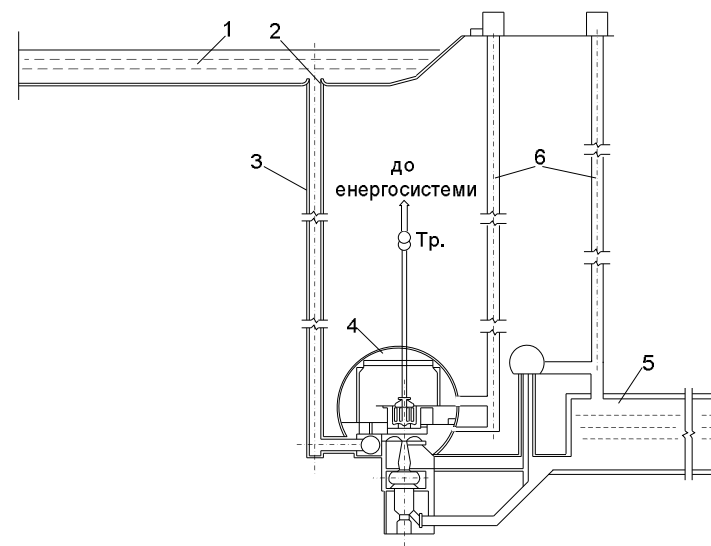


Рис.1 – Технологічна схема шахтної ГАЕС: 1 – верхній басейн; 2 – водоприймач; 3 – шахтний водогін; 4 – машинний зал; 5 – нижній басейн; 6 – вентиляційна шахта

Як видно з цього розрізу, як нижній басейн ГАЕС застосовується покинута виробка, над якою розташовується машинний зал станції де встановлюються її гідроагрегати і допоміжне обладнання. Вертикальна залізобетонна шахта, по якій здійснювались раніше спуск і підйом обладнання та клітей для транспортування людей, пропонується використовувати для спуску гідромеханічного та електротехнічного обладнання на місце монтажу і для забезпечення вентиляції устаткування, яке розташоване в машинному залі.

Як показують виконані розрахунки, найбільша економічність таких ГАЕС буде досягнута при напорі 800 - 1200 м. Особливістю ГАЕС є те, що і в режимі їх «зарядки» і в режимі їх «розрядки», напір спрацьовується від 10 до 40 метрів. Шахтна ГАЕС в цьому питанні не є винятком.

Але, як видно на залежності ККД від напору, дивись рис. 2, традиційно найбільш ефективний режим роботи гідроелектричної станції досягається тільки при номінальному значенні напору, а при його зміні ККД гідроагрегатів знижується.

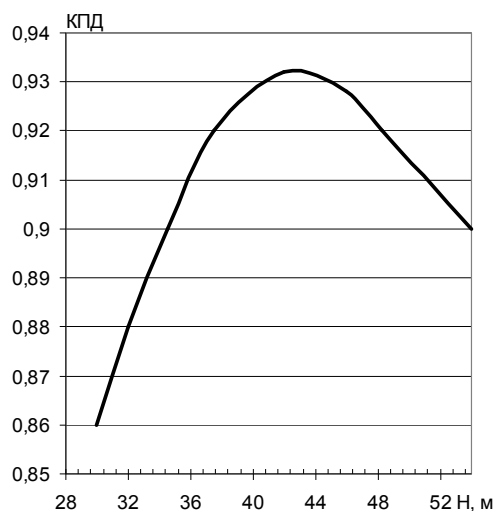


Рис. 2 – Залежність ККД від напору

Це пов'язано з тим, що ККД турбіни оберненопропорційний напору і витраті води через агрегат при постійному моменті на валу турбіни і синхронній частоті обертання турбіни.

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta; \quad (1)$$

$$\eta_T = \frac{M \cdot n}{\gamma \cdot Q \cdot H}, \quad (2)$$

де  $P$  – потужність ГАЕС, кВт;  $Q$  – витрати води через турбіни, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – напір, м;  $\eta$  – ККД обладнання;  $M$  – обертальний момент на валу турбіни, Нм;  $n$  – частота обертання турбіни, хв.<sup>-1</sup>;  $\gamma$  – густина води, г/см<sup>3</sup> або кг/м<sup>3</sup>.

Проаналізувавши всі параметри руху потоку на виході з направляючого апарату та в середині робочого колеса, нехтуючи втратами енергії в проміжку між направляючим апаратом та робочим колесом і підставляючи ці величини у рівняння Ейлера можна вирішити його відносно витрат  $Q$  в [2].

Тоді:

$$Q = \frac{q \cdot H \cdot \eta_T + r_2^2 \cdot \omega^2}{\omega \cdot \left[ \frac{r_0 \cdot \cos \alpha_0}{a_0 \cdot b_0 \cdot c_0} + K_2 \cdot r_2 \cdot \operatorname{ctg}(180 - \beta_2) \right]}, \quad (3)$$

де  $\alpha_0$  – кут між векторами кругової та абсолютної швидкості;  $a_0, b_0, c_0 = F$  – площа перерізу на вході в робоче колесо нормаль до напрямку руху потоку;  $\beta_2$  – кут проекції відносної швидкості рідини на виході робочого колеса;  $r_0, r_1, r_2$  – радіуси, що визначаються відповідними конструктивними параметрами турбіни.

В результаті аналізу аналітичної залежності ККД від напору та витрати води, наведених вище, можна зробити висновок, що при зміні напору, ККД може бути підвищений при відповідному значенні витрати для різної частоти обертання турбіни, дивись рис. 3.

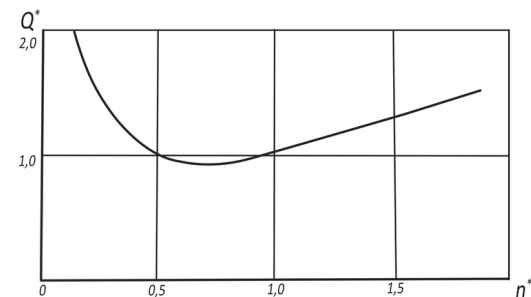


Рис. 3 – Залежність витрат води від частоти обертання гідроагрегату.

На підставі цих залежностей, а також приймаючи до уваги універсальні характеристики, дивись Рис. 4, оберненої гідротурбіни ОРО 75/5219 –50, показана можливість підвищення ККД вищезазначеного гідроагрегату в межах реального коливання напору. Результати виконаних розрахунків представлені на рис.5.

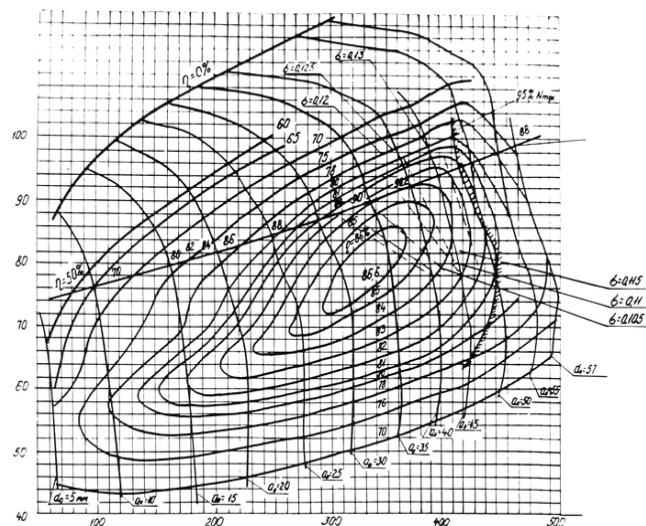


Рис. 4 – Універсальні характеристики ОРО 75/5219 – 50. Турбінний режим

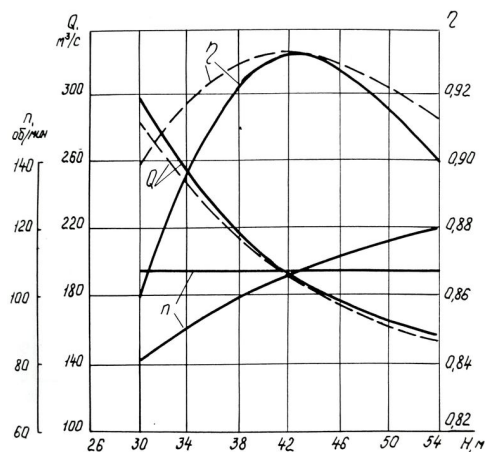


Рис. 5 – Залежності ККД, частоти обертання та витрат води від напору

Як видно з наведеного рисунку, у згаданій вище турбіні, яка буде працювати з несинхронною частотою обертання при коливанні напору, можна реально підвищити ККД від 4 до 5%.

При цьому виникає проблема, яка зводиться до того, що при будь-якій несинхронній частоті обертання гідроагрегату частота струму на шинах станції повинна бути 50 Гц. Цього можна досягти, якщо встановити на ГАЕС силовий тиристорний перетворювач і включити його в електричну схему блоку, або ж замінити традиційний синхронний генератор на асинхронізований генератор, який має дві обмотки збудження: одна з яких розташована в повздовжній, а інша в поперечній вісях. Живляться вони змінною напругою частоти ковзання. Обмотка в поперечній осі живиться синусоїдальною напругою, а в повздовжній – косинусоїдальною. В результаті чого обмотки створюють в загальному випадку магнітне поле, швидкість обертання якого дорівнює різниці синхронної швидкості і швидкості обертання ротора. При цьому напрям руху цього поля виявляється таким, що сумарна швидкість повинна бути рівна синхронній. Таким чином магнітне поле ротора в незалежності від швидкості обертання ротора завжди буде мати швидкість рівну синхронній.

У зв'язку з цим, враховуючи, що сучасні регулятори гідротурбін підтримують одну єдину частоту обертання, рівну номінальній, виникає необхідність розробки спеціального регулятора, який не тільки врівноважував би момент рушійний і момент опору, забезпечуючи сталий режим роботи, але і мінімізував би при цьому відповідну величину витрати води, забезпечуючи оптимальний ККД в цьому режимі. Запропонована структурна схема такого регулятора, показана на рис. 6.

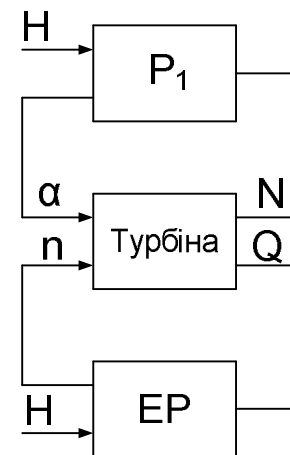


Рис. 6 – Принципова схема екстремального регулятора ККД

Приймаючи до уваги все вищезазначене можна зробити такі висновки:

1 Підтверджено доцільність і можливість будівництва підземної ГАЕС на базі однієї з закинутих шахт Криворізького рудного басейну з напорами 1000 - 1200 метрів.

2 Проведено аналіз вибору гідротехнічного та електромеханічного обладнання для будівництва таких ГАЕС. Науково доведено можливість підвищення ефективності роботи гідроагрегатів при змінних напорах шляхом введення режиму роботи гідроагрегату із змінною частотою обертання.

3 Науково доведено необхідність створення нової системи регулювання гідротурбін, яка буде забезпечувати підтримку потужності та екстремальне регулювання ККД турбіни.

4 Необхідно провести дослідження сталих і динамічних режимів гідротурбін, які живляться водою із загального трубопроводу.

**Список літератури:** 1. *Чеснаков С.А.* Шахтные ГАЭС на базе отработанных горных. Обзорная информация / *С.А.Чеснаков, Л.Б. Шейнман* // Информэнерго.– 1985. – Сер. 2. вып.6. – 44с. 2. *Артюх С.Ф.* Анализ целесообразности агрегатов электростанции в режиме переменной частоты вращения / *С.Ф. Артюх* // Энергохозяйство за рубежом. – 1988. – №3. – С.30 – 33.

*Поступила в редколлегию 30.03.2012*