

**УДК 621.224**

**Артюх С. Ф., д.т.н, професор, Червоненко І. І., аспірант**  
(НТУ «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)

## **ШАХТНІ ГАЕС І ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ РОБОТИ**

**В роботі розглянуті можливості влаштування ГАЕС з використанням існуючих підземних виробок закритих рудних шахт. Обґрунтовані параметри таких гідроакумулюючих електростанцій. Ключові слова: гідроакумулююча електростанція, шахта.**

Останнім часом закриття вугільних та рудних шахт, пов'язане з їх затопленням, провалами ґрунтів, накопиченням вибухонебезпечних газів та з вичерпністю корисних копалин, створюють для України серйозну проблему, яка потребує негайного рішення. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми для відпрацьованих рудних шахт, може бути будівництво підземних гідроакумулюючих електростанцій з використанням, як нижнього басейну ГАЕС вироблених рудних копалин.

У великих енергосистемах, де значна частина електроенергії виробляється на теплових та атомних електростанціях, відчувається гострий дефіцит маневрених потужностей. Тому останнім часом гідроакумулюючі електростанції викликають велику зацікавленість у енергетиків. Це пояснюється тим, що на найближчі роки ГАЕС є не тільки ефективним, а і єдиною реальною для масового впровадження в енергетиці видом акумулюючих установок.

На сьогоднішній день гідроакумулювання широко впроваджується в багатьох розвинених країнах світу. Загальна потужність ГАЕС, що експлуатуються і споруджуються у світі, перевищує 100 ГВт. Окремо треба виділити підземні ГАЕС. Таких електростанцій налічується близько 300, сумарною потужністю понад 50 млн. кВт.

Однією з головних проблем при спорудженні ГАЕС з підземним басейном є необхідність будівництва в міцних породах на значній глибині спеціального басейну великого об'єму, машинного залу та тунелів.

На нашу думку цієї проблеми можна уникнути, якщо використовувати як нижній басейн підземної ГАЕС виробки закритих рудних шахт. Така ідея була виказана в 80-ті роки минулого сторіччя радянськими гідроенергетиками, але не була доведена до кінця і так залишилась не реалізованою [1]. Майданчиком для такої ГАЕС може стати

одна з реальних законсервованих шахт Криворізького залізорудного басейну. Розріз по такій ГАЕС можна представити так (Рис. 1).

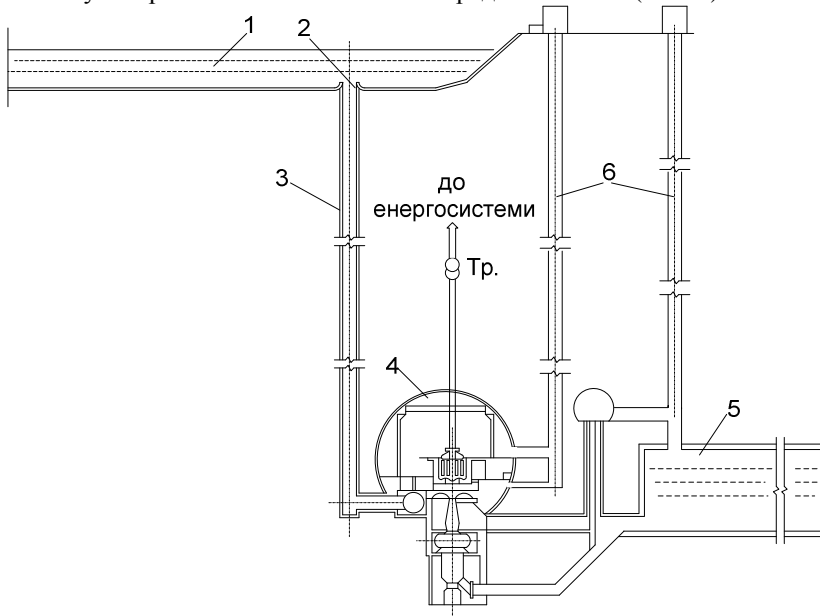


Рис. 1. Технологічна схема шахтної ГАЕС

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 використовуються закинуті виробки, над якими розташовується машинний зал станції де встановлюються її гідроагрегати і допоміжне обладнання. Вертикальна залізобетонна шахта, по якій раніше здійснювались 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.

Особливістю шахтних ГАЕС, як і будь-яких високонапірних гідроелектричних станцій, є те, що і в турбінному режимі їх роботи і в насосному режимі, напір спрацьовується від 5 до 10 метрів. Але, як видно на залежності ККД від напору (Рис. 2), традиційно найбільш ефективний режим роботи гідроелектричної станції досягається тільки при номінальному значенні напору і витрат воді, а при їх зміні ККД гідроагрегатів знижується.

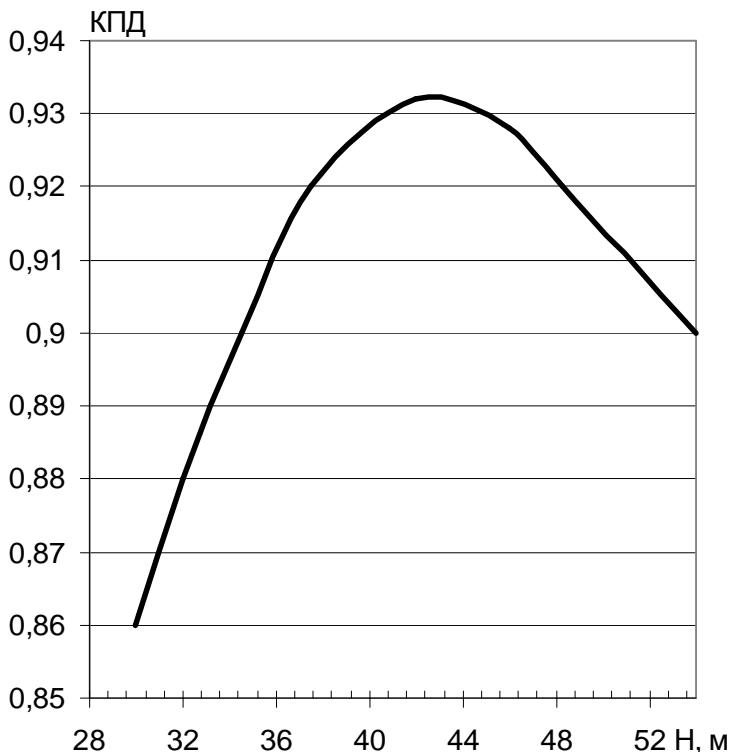


Рис. 2. Залежність ККД від напору

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 направля-

ючого 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  $Q$  [2].

Тоді:

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

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 (Рис. 3).

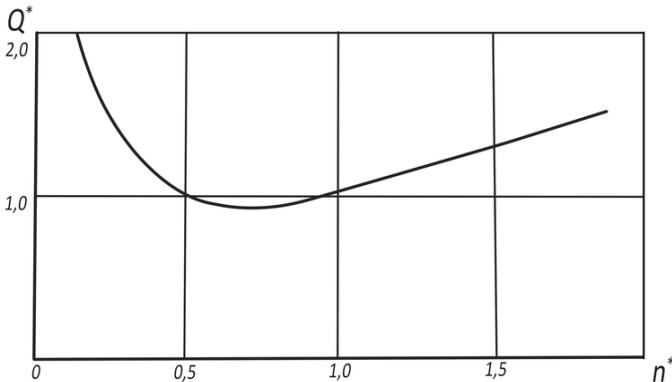


Рис. 3. Залежність витрат води від частоти обертання гідроагрегату при  $H = \text{const}$

На підставі цих залежностей, а також приймаючи до уваги універсальні характеристики (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.

Як видно з наведеного рисунку, у згаданій вище турбіни, яка буде працювати з несинхронною частотою обертання при коливанні напору, можна реально підвищити ККД від 2 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 поперечної осі живиться синусоїдальним напругою, а в повздовжній – косинусоїдальним. 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.

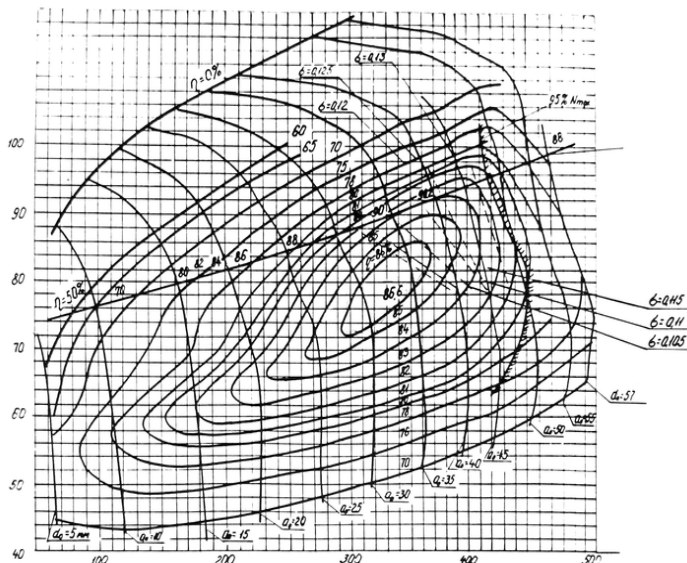


Рис. 4. Універсальні характеристики ОРО 75/5219 – 50. Турбінний режим

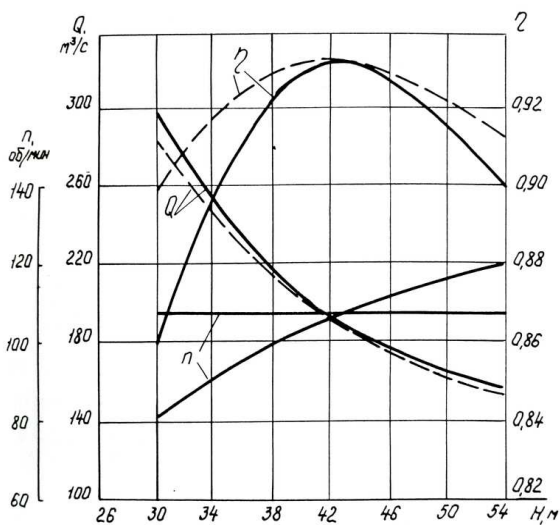


Рис. 5. Залежності ККД, частоти обертання та витрат води від напору

Приймаючи до уваги все вищезазначене можна зробити висновок про доцільність і можливість будівництва підземної ГАЕС на базі однієї з закритих шахт Криворізького рудного басейну.

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

Рецензент: д.т.н., професор Рябенко О. А. (НУВГП)

---

**Artyukh S. F., Doctor of Engineering, Professor, Chervonenko I. I., Post-graduate Student** (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv)

### **MINING STORAGE PLANT AND WAYS TO INCREASE THE EFFECTIVENESS OF THEIR WORK**

**In this work the possibility of installation of the HPSP using closed existing underground workings ore mines. Substantiated parameters of pumped storage power stations.**

**Keywords: Hydroelectric power station, mine.**

---

**Артюх С. Ф., д.т.н., профессор, Червоненко И. И., аспирант** (НТУ «Харьковский политехнический институт», г. Харьков)

### **ШАХТНЫЕ ГАЭС И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ РАБОТЫ**

**В работе рассмотрены возможности устройства ГАЭС с использованием существующих подземных выработок закрытых рудных шахт. Обоснованы параметры таких гидроаккумулирующих электростанций.**

**Ключевые слова: гидроаккумулирующая электростанция, шахта.**

---