

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕТІКАННЯ ЕНЕРГІЇ МІЖ  
ВУЗЛАМИ ГІДРОАКУМУЛЮЮЧОЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ ІЗ ЗАМКНУТИМ ЦИКЛОМ  
ВИКОРИСТАННЯ РОБОЧОГО ТІЛА

Головко В. М., д.т.н., проф., e-mail: [golovkovm@ukr.net](mailto:golovkovm@ukr.net)  
Семененко Р. Ю., аспірант, e-mail: [semenenko.roman@lil.kpi.ua](mailto:semenenko.roman@lil.kpi.ua)  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Актуальність дослідження.** Покращення енергетичних характеристик гідроакумулюючих електроустановок при мінімальних конструкційних змінах завжди було пріоритетним напрямком досліджень у відновлюваній енергетиці. Особливо якщо зауважити, що у сучасній фото- та вітроенергетиці через стохастичність та нестабільність добового надходження енергії однієї з найважливіших є задача акумулювання електроенергії та її зберігання. Накопичування енергії в періоди пікового виробництва та її споживання мережею під час пікових навантажень дозволяє забезпечити надійне та стале постачання енергії різних джерел, що в кінцевому підсумку зменшить викиди вуглецю і сприятиме енергетичній безпеці. Залежність потужності на валу турбіни від гідродинамічних характеристик лопаті та характеристик потоку води відомі і втілені у вигляді діючих інженерних рішень[1]. Також відомо, що скид води гідравлічної турбіни встановлюється вище рівня води нижнього б'єфу, за рахунок цього вода має певну залишкову кінетичну та потенційну енергію[2]. Робота присвячена вдосконаленню математичної моделі автономної гідроакумулюючої електроустановки з замкнутим циклом використання робочого тіла за рахунок використання залишкової енергії води скинутої гідротурбіною.

**Мета досліджень** полягає у визначенні співвідношень енергетичних показників складових частин автономної гідроакумулюючої електроустановки з замкнутим циклом використання робочого тіла шляхом імітаційного математичного моделювання характеру протікання динамічних процесів в ній.

**Основні матеріали та методи досліджень.** Методи дослідження – математичне моделювання процесів перетікання енергії між вузлами гідроакумулюючої установки за допомогою програми MATLAB/SIMULINK. Для імітації процесів перетворення енергії та перетікання води між резервуарами в системі автономної гідроакумулюючої станції побудована модель, що містить наступні елементи:

- модель фотоелектричної станції – імітаційне джерело потужності, що отримуючи основні характеристики фотоелектростанції вираховує значення миттєвої інсоляції на похилу площину (сонячні панелі) та генерує сигнал, що відповідає потужності відпуску електрики споживачеві;
- модель споживача електричної енергії, яка генерує поточне значення електричної потужності, що споживається, враховуючи прогнозований графік навантаження, ймовірнісну складову, а також поточний стан електричної мережі;
- модель верхнього та нижнього резервуарів, отримана шляхом складання балансу витрати води (1) та його накладання на морфометричні характеристики резервуарів для отримання поточного об'єму води:

$$V(t) = V_{\text{поч}} \pm \int Q_{\text{вб}} dt, \quad (1)$$

де  $V_{\text{поч}}$  – початковий об'єм водосховища, м<sup>3</sup>;

$Q_{\text{вб}}$  – витрата води бака-акумулятора, м<sup>3</sup>/с,

- модель турбіно-генераторного блоку який спираючись на потреби у генерації електроенергії, гідромеханічні характеристики турбіни та електромеханічні характеристики генератора розраховує миттєву витрату води, споживану агрегатом із верхнього резервуару;

- модель гідравлічного тарану, яка, спираючись на дані про витрату воду на виході із гідротурбіни, рівень води у резервуарах, розраховує потік води накачаної до верхнього та скинутої нижнього водосховища
- модель багатоагрегатної насосної станції, яка дозволяє при вхідних величинах рівня води у нижньому резервуарі, верхньому резервуарі та електричної потужності від ФЕС отримати витрату води через насоси, кількість насосів що працюють, ККД насосів.



Рисунок 1 – Блок-схема автономної гідроакumuлюючої установки з замкнутим циклом використання робочого тіла

Імітаційна математична модель дозволяє моделювати роботу електростанції на будь-якому часовому проміжку, з будь-яким споживачем, гідроагрегатом, фотоелектростанцією. На прикладі невеликого домогосподарства із денним споживанням 117.5кВт\*год, гідроагрегатом типу «Каплан» зі встановленою потужністю 50кВт, двома водосховищами об'ємом 20 000м<sup>3</sup> та ФЕС площею 152м<sup>2</sup> було досліджено динаміку зміни основних енергетичних показників установки.

**Висновки.** Було вдосконалено математичну моделі автономної гідроакumuлюючої електроустановки з замкнутим циклом використання робочого тіла шляхом шляхом використання залишкової енергії води скинутої гідротурбіною. Модель було простестовано на прикладі домогосподарства із фотоелектростанцією (джерело енергії), гідроакumuлюючого агрегату та гідравлічного тарану (насос що використовує кінетичну енергію потоку води на скиді гідротурбіни). В результаті аналізу витрати води крізь основні блоки установки встановлено, що в середньому гідротурбіна для покриття навантаження споживає воду на рівні 0.051м<sup>3</sup>/с та короткочасно 0.095м<sup>3</sup>/с для покривання пікових годин. Кількість води закачаною гідравлічним тараном, становить 14-16 %, що дозволяє зменшити встановлену потужність електричних насосів, збільшити запас води та відповідно рівень забезпеченості споживача на ~15%. В літні дні спостерігається значний надлишок сонячної енергії що підтверджується насиченням верхнього водосховища вже о 15:00. В зимовий період спостерігається відключення гідротурбіни через нестачу води у верхньому резервуарі. У період з 49го дня по 312 день він на 100% забезпечений енергією, з 312 по 49 дні від 45%-100%. Модульність насосної станції дозволяє утримувати ККД насосів на рівні понад 0.7 впродовж 94% часу роботи а також збільшити загальну к-сть накачаної за рік води на 24%.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Concept of Accumulation of Energy from Photovoltaic and Wind Power Plants by Means of Seawater Pumped Hydroelectric Energy Storage / P. Vasko et al. 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, 17–19 April 2019. 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/ess.2019.8764167>
2. Twaróg B. Modelling a pumped storage power plant on the example of the Porąbka Żar power plant. Technical Transactions. 2023. Vol. 2023, no. 1. P. 1–16. URL: <https://doi.org/10.37705/techtrans/e2023001>