

Підтримання балансу шахтних вод поствугільних регіонів за рахунок фотоелектричної генерації

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.086>

С.В. Василець

Кафедра автоматизації, електротехнічних та
комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та
природокористування
м. Рівне, Україна
s.vasylets@nuwm.edu.ua

К.С. Василець

Кафедра автоматизації, електротехнічних та
комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та
природокористування
м. Рівне, Україна
k.s.vasylets@nuwm.edu.ua

В.В. Ільчук

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
v.v.ilchuk@nuwm.edu.ua

Анотація—Запропоновано метод оцінювання оптимальної встановленої потужності фотоелектричної станції для живлення головного водовідливу закритої шахти. В якості критерія оптимізації обрано наближення до нуля річного сальдо по оплаті за електроенергію. Такий підхід суттєво знизить навантаження на бюджет громади. Реалізації електростанції оптимальної конфігурації забезпечить підтримання балансу шахтних вод поствугільних регіонів та знизить імовірність підтоплення, провалів ґрунту, заболочення земель.

Ключові слова—водовідлив; насос; фотоелектрична станція; оптимізація потужності; закрыта шахта.

I. АКТУАЛЬНІСТЬ ПИТАННЯ

Деокупація східних регіонів України запустить процес їх трансформації відповідно до Державної програми [1]. Масове неконтрольоване затоплення шахт призводить до суттєвих екологічних проблем. Досвід закриття шахт у Польщі свідчить про підвищення рівня та погіршення якості підземних вод [2]. Також це збільшує імовірність провалів ґрунту, підтоплення будівель, заболочування угідь.

Дієвим способом підтримання підземних вод на допустимому рівні є продовження роботи головних водовідливів після закриття шахт. Найбільшу частку у структурі витрат при такому підході займає вартість електроенергії, оскільки загальна потужність двигунів може перевищувати декілька МВт, час роботи – до 10 годин на добу, висота підйому води – до 1000 м [3]. Це обумовлює актуальність пошуку шляхів зниження витрат на роботу насосних агрегатів шахт, що працюють в режимі водовідливу.

Відомо спосіб зниження (до 25%) вартості відкачування шахтних вод шляхом ввімкнення

насосів у час найнижчої ціни на електроенергію [3]. Проте відсутність відповідності між необхідним часом для відкачування всього обсягу водозбірника та періодом найнижчої ціни знижують ефективність такого способу. Також можливе розташування гравітаційних накопичувачів енергії в стовбурах закритих шахт [4] та обладнувати у підземних виробках сховища із стисненим повітрям [5], де можна накопичувати дешеву електроенергію з подальшим використанням для відкачування води. Проте, накопичений обсяг енергії є недостатнім для функціонування головного водовідливу. Перспективним шляхом мінімізації енергоспоживання головного водовідливу є обладнання фотоелектричної станції (ФЕС). Наприклад, розрахунки для шахт Північного Онтаріо, Канада, визначають ефективність такого підходу [6].

Більшість відомих рішень щодо використання сонячної енергії для перекачування води орієнтовані на незначні потужності у порівнянні з шахтними насосами. Це обмежує їх впровадження на закритих вугільних підприємствах. Крім того, найкращим рішенням для закритих шахт може бути зниження до нуля фінансових витрат на відкачування підземних вод, оскільки ні громади, ні центральний бюджет не готові до таких видатків. Це обумовлює необхідність розроблення методики визначення оптимальної, за критерієм наближення до нуля вартості електроенергії, потужності ФЕС для живлення головної водовідливної установки закритої шахти.

Мета – підвищення ефективності підтримання балансу шахтних вод поствугільних регіонів за рахунок оптимізації потужності фотоелектричної станції за критерієм наближення до нуля вартості електроенергії.

II. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження здійснюються з використанням Simulink-моделі головного водовідливу шахти «Білицька» (м. Добропілля, Україна) горизонту 500 м з двома відцентровими багатоступінчатими насосами ЦНС300-600, які обладнані двигунами ВАО2-560LA4 (800 кВт, 6 кВ). Водоприплив становить 200–250 м³/год і при моделюванні представляється реалізацією випадкового процесу. Додаткова Simulink-модель використовується для оцінювання енергоспоживання насосів за кожну годину протягом року. При цьому враховується зміна рівня води у водозбірнику, комутації двигунів насосів апаратурою автоматизації.

Розглядається випадок використання фотоелектричних модулів SunPower SPR-P19-405-COM. Величина сонячної інсоляції протягом року визначалася за даними Photovoltaic Geographical Information System. Моделювання генерації ФЕС здійснювалося з використанням програми System Advisor Model, зокрема фотоелектричні модулі були описані 5-параметричною моделлю, інвертор PVS-166-TL-POWER-MODULE-1-US (multi-string, 166 кВт) – моделлю Inverter CEC Database. Під час оброблення результатів імітаційного експерименту використовувалися статистичні критерії Колмогорова-Смирнова, Кохрена, Ст'юдента, Фішера. Оцінювання параметрів регресії здійснювалося з використанням метода найменших квадратів.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Живлення насосів головного водовідливу від ФЕС, генерація якої має нестабільний характер, вимагає або наявності накопичувача енергії при роботі в автономному режимі, або під'єднання до електромережі. Перший випадок потребує облаштування дороговартісного акумуляторного накопичувача. Варіант під'єднання до мережі є більш економічним, через що обирається для аналізу. Це визначає наявність двостороннього обміну енергією між системою електропостачання насосів, до складу якої входить ФЕС, та енергосистемою. Вартість електроенергії, що споживається з мережі, визначається ринковими цінами, а місячний надлишок, що віддається до мережі, – «зеленим» тарифом. Тому в якості параметра оптимізації встановленої потужності ФЕС обрано відносне значення річного сальдо по оплаті за електроенергію, в якості базової величини прийнята повна вартість електроенергії, що споживається за рік для відкачування води без урахування фотоелектричної генерації. Критерій оптимізації встановленої потужності ФЕС полягає у наближенні до нуля річного сальдо.

Для оцінювання значень параметрів математичної моделі, що визначає зв'язок між значеннями параметра оптимізації та встановленою потужністю фотоелектричної станції, проведено імітаційний експеримент. Гіпотеза про лінійний вид регресії визнана статистично необґрунтованою при

рівні значущості 0,05. За методом найменших квадратів знайдено оцінки коефіцієнтів параболічної залежності [7]. Для рівня розузгодження $\pm 0,01$ в.о. при межах потужностей [3,1235; 3,1861] МВт визначено межі [351; 358] для загальних кількостей ланок послідовно з'єднаних фотомодулів. При цьому кожна ланка включає 22 модуля. При середній кількості ланок 355, ФЕС оптимальної конфігурації для заданих умов включає 16 інверторів, що обладнані 21 ланкою модулів кожен, та одного інвертора з 19 ланками. Оптимальна встановлена потужність ФЕС дорівнює 3,1640 МВт.

Повна вартість електроенергії, що споживається водовідливом шахти «Білицька» за рік, оцінюється математичним сподіванням 289 тис. грн. при середньоквадратичному відхиленні 877 грн. За наявності ФЕС оптимальної конфігурації річне сальдо по оплаті оцінюється середньою величиною 1139 грн. при стандартному відхиленні 674 грн.

IV. ВИСНОВКИ ТА НАПРЯМОК ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Встановлена можливість вираження параболічною регресією залежності річного сальдо вартості електроенергії для роботи головного водовідливу шахти від встановленої потужності фотоелектричної станції. Незначна ширина довірчих інтервалів, яка не перевищує 1 %, та інтервалів прогнозування (1,5 %) дозволяють оптимізувати конфігурацію станції безпосередньо за лінійною регресією. Дослідження функціонування системи електропостачання оптимальної конфігурації підтвердили наявність значущого економічного ефекту від впровадження фотоелектричної генерації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Кабінет Міністрів України. (2021, вересень 22). Концепція Державної цільової програми справедливої трансформації вугільних регіонів України на період до 2030 року. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1024-2021-%D0%BF#n11>
- [2] E. Janson, G. Gzyl, and D. Banks, "The occurrence and quality of mine water in the Upper Silesian Coal Basin, Poland," *Mine Water and the Environment*, vol. 28, 2009, pp. 232–244. <https://doi.org/10.1007/s10230-009-0079-3>
- [3] Разумний Ю. Т., Рухлова Н. Ю., Рухлов А. В. Энергоэффективная работа водоводливной установки вугільної шахти. Науковий вісник Національного гірничого університету. Вип. 2. 2015. pp. 74–79. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2015_2_13
- [4] T. Morstyn, M. Chilcott, and M. D. McCulloch, "Gravity energy storage with suspended weights for abandoned mine shafts," *Applied Energy*, vol. 239, 2019, pp. 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.226>
- [5] C. Saigustia, and S. Robak, "Review of potential energy storage in abandoned mines in Poland," *Energies*, vol. 14(19), 2021, pp. 1–17. <https://doi.org/10.3390/en14196272>
- [6] K. Trajani, and D. L. Millara, "Floating photovoltaic arrays to power the mining industry: a case study for the McFaulds lake (Ring of Fire)," *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 35(3), 2016, pp. 898–905. <https://doi.org/10.1002/ep.12275>
- [7] S. Vasylets, K. Vasylets, "Determining optimal rated power of a photovoltaic station for mine dewatering," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6(8(120)), 2022, pp. 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267034>