

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ ГРАВІТАЦІЙНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ УКРАЇНИ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Анотація

Виконано аналіз конструктивних особливостей, технічних характеристик та специфіки застосування гравітаційних систем накопичення енергії різних типів, на основі чого обґрунтовано найбільш перспективні з них для застосування в електричних мережах України. Запропоновано критерій для кількісної оцінки ефективності застосування гравітаційних систем накопичення енергії, який враховує технічні й економічні показники роботи систем накопичення та їх вплив на електричні мережі.

Ключові слова: система накопичення енергії, гравітаційний накопичувач, електрична мережа, критерій ефективності, маневровість, графік навантаження, надійність електропостачання.

Abstract

The analysis of constructive features, technical characteristics and specifics of application of gravitational energy storage systems of various types is executed, on the basis of what the most perspective of them for application in electrical networks of Ukraine is grounded. A criterion for quantitative assessment of the efficiency of gravity energy storage systems, taking into account the technical and economic performance of the storage systems and their impact on the electrical networks, is proposed.

Keywords: energy storage system, gravity storage, electrical network, efficiency criterion, flexibility, load schedule, reliability of electricity supply.

Вступ

В даний час в світі активно розвиваються технології акумулювання енергії, в результаті чого стають досить поширеними різні типи систем накопичення енергії (СНЕ), які використовуються в побутові, комунальному секторі, транспортних системах, а також в енергетиці для вирішення великого спектру завдань [1-3]. З огляду на світовий досвід впровадження та експлуатації гравітаційних СНЕ [4-6] можна стверджувати, що такі системи мають певні переваги в порівнянні з іншими, завдяки чому добре зарекомендували себе при роботі в електричних мережах різного класу напруги і мають великий потенціал для використання в Україні.

Метою даної роботи є розробка техніко-економічного критерію ефективності застосування гравітаційних СНЕ для аналізу перспектив їх застосування в електричних мережах України.

Результати досліджень

Виконаний аналіз характеристик, особливостей функціонування та розрахунку основних параметрів, що визначають ефективність роботи, для гравітаційних СНЕ різного типу. З урахуванням особливостей ландшафту, вимог щодо спорудження та умов подальшої експлуатації були виділені типи гравітаційних СНЕ, що мають найкращі перспективи для впровадження в електричних мережах України. Це СНЕ, розміщені у вертикальній шахті, в гірському масиві або котловані, на залізничних коліях, а також гідравлічні.

Визначений вплив кожної з гравітаційних СНЕ, що розглядаються, на режими роботи електричної мережі, а також на навколишнє середовище для різних умов експлуатації. Одержана інформація дає можливість визначати оптимальні параметри для гравітаційних СНЕ різних типів залежно від ряду факторів, серед яких географічні умови, наявність необхідних ресурсів та інших.

Для вирішення завдання порівняння декількох гравітаційних СНЕ різних типів, що можуть експлуатуватись в однакових умовах, доцільно виконати кількісну оцінку ефективності застосування гравітаційних СНЕ в електричних мережах. В якості критерію для порівняння пропонується використовувати техніко-економічний показник, який враховує особливості накопичення і зберігання енергії, а також впливу кожної системи накопичення на електричну мережу і навколишнє середовище:

$$K_{ef}(i) = w_C C(i) + w_{C_{nr}} C_{nr}(i) + w_{\eta_{ES}} \eta_{ES}(i) + w_{E_{ES}} E_{ES}(i) + w_{V_r} V_r(i) + w_{t_{dmax}} t_{dmax}(i) + w_{K_{lsir}} K_{lsir}(i) + w_{\Delta P} \Delta P(i) + \sum_{m=1}^M w_{R_m} \cdot R_m(i), \quad (1)$$

де $C(i)$ – загальні фінансові витрати на впровадження гравітаційної СНЕ i -го типу; $C_{nr}(i)$ – сумарні витрати на обслуговування і ремонт гравітаційної СНЕ в період її експлуатації; $\eta_{ES}(i)$ – КПД гравітаційної СНЕ; $E_{ES}(i)$ – значення накопиченої енергії для СНЕ; $V_r(i)$ – маневровість гравітаційної СНЕ; $t_{dmax}(i)$ – максимальна тривалість розряду СНЕ; $K_{lsir}(i)$ – коефіцієнт нерівномірності графіка сумарного навантаження споживачів в електричній мережі; $\Delta P(i)$ – сумарні втрати електроенергії при передачі споживачам в електричній мережі; $R_m(i)$ – показник надійності електричної мережі; $w_C, w_{C_{nr}}, w_{\eta_{ES}}, w_{E_{ES}}, w_{V_r}, w_{t_{dmax}}, w_{K_{lsir}}, w_{\Delta P}, w_{R_m}$ – вагові коефіцієнти, що враховують важливість відповідних технічних і економічних факторів, що визначають специфіку функціонування гравітаційної СНЕ в розглянутих умовах експлуатації, а також їх вплив на режими роботи електричних мереж.

Використання розробленого критерію ефективності застосування гравітаційних СНЕ дозволило провести розрахунки для аналізу перспектив використання таких накопичувачів в різних регіонах України, яким характерні різні географічні та природні характеристики (рельєф місцевості, наявність водних ресурсів, особливості видобутку корисних копалин та ін.).

Висновки

1. Визначено, що найбільш перспективними для використання в електричних мережах України є гравітаційні СНЕ, розміщені у вертикальній шахті, в гірському масиві або котловані, на залізничних коліях, а також гідравлічні.

2. Розроблено техніко-економічний критерій для кількісної оцінки ефективності застосування гравітаційних СНЕ в електричних мережах, який враховує витрати на створення, підключення та обслуговування кожного типу гравітаційних СНЕ, особливості накопичення і зберігання енергії, специфіку їх впливу на електричні мережі.

3. Визначено діапазони значень розробленого техніко-економічного критерію, що дозволило обґрунтувати доцільність застосування гравітаційних СНЕ конкретного типу в заданих умовах експлуатації, які визначаються географічними, кліматичними, економічними та іншими факторами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Zhang F. Assessment of the effectiveness of energy storage resources in the frequency regulation of a single-area power system / F. Zhang, Z. Hu, X. Xie, J. Zhang, Y. Song // *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 32(5). – 2017. – P. 3373-3380.

[2] Bauer T. Molten Salt Storage for Power Generation / T. Bauer, C. Odenthal, A. Bonk // *Chemie Ingenieur Technik*, vol. 93, no. 4. – 2021. – P. 534-546.

[3] Dovgalyuk O., Saidov S., Yakovenko I. Application of Energy Storage Systems at the Traders Work on the Ukraine Energy Market. *2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 2019, pp. 250-253, doi: 10.1109/MEES.2019.8896474.

[4] De la Torre S., Aguado J. A., Abreu-Caracuel L. Optimal Operation of an Energy Storage System Based on Gravitational Energy Using a Dedicated Railway System. *2019 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/VPPC46532.2019.8952252.

[5] Berrada A., Loudiyi K., Gravity Energy Storage. San Diego, USA: Elsevier Science, 2019, 186 p.

[6] Ruoso A. C. Storage Gravitational Energy for Small Scale Industrial and Residential Applications / A. C. Ruoso, N. R. Caetano, L. A. O. Rocha // *Inventions*, vol. 4. – 2019. – P. 64.

Довгалюк Оксана Миколаївна — кандидат технічних наук, професор, кафедра передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, e-mail: Dovgalyuk_O@khi.edu.ua

Яковенко Іван Сергійович — аспірант, кафедра передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, e-mail: i.c.jakovenko@gmail.com