

**В. О. Кочмарук**  
**Є. А. Тихолаз**  
**В.О. Лесько**  
**В. В. Нетребський**

## **ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ**

Вінницький національний технічний університет

### ***Анотація***

*Тут розповідається про системи накопичення електричної енергії (СНЕ), які дозволяють оптимізувати виробництво електроенергії за рахунок вирівнювання графіка потужності та завдяки цьому забезпечити підвищення надійності виконання планового графіку видачі потужності ВДЕ в мережу.*

**Ключові слова:** розподільчі електричні мережі (РЕМ), системи накопичення електричної енергії (СНЕ), відновлювальні джерела енергії (ВДЕ).

### ***Abstract***

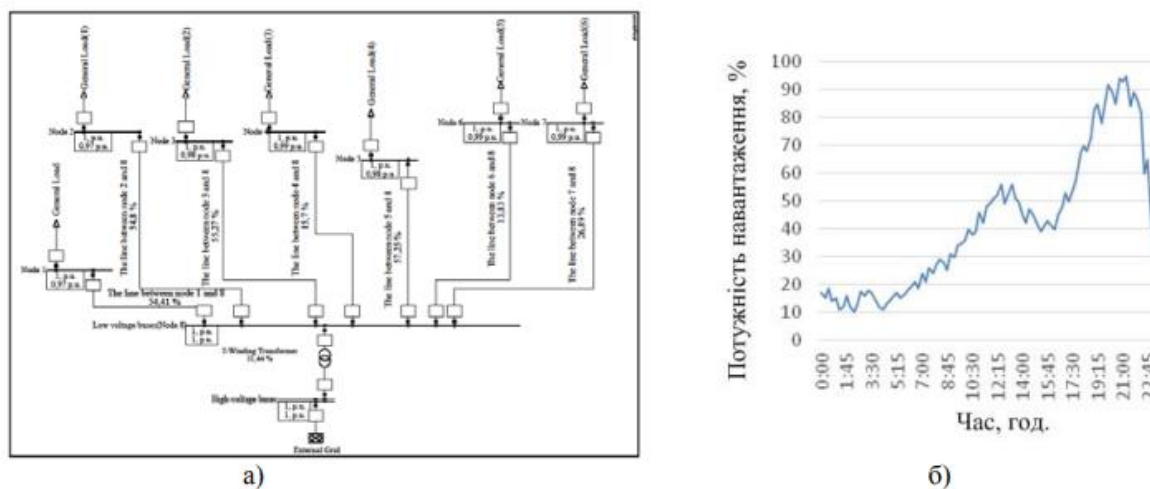
Here we talk about electric energy storage systems which allow you to optimize electricity production due to the equalization of the power schedule and, thanks to this, to ensure increased reliability of the planned schedule of RES power delivery to the network.

**Key words:** electrical distribution networks, electrical energy storage systems, renewable energy sources

### **Вступ**

Розподільчі електричні мережі (РЕМ) є унікальною і важливою ланкою в електроенергетичній системі, ефективність роботи якої визначає надійність та якість електропостачання споживачів. РЕМ виконуються на класи напруги 0,4-35 кВ, мають значну протяжність, до них підключається велика кількість споживачів з мінливими та нестаціонарними графіками споживання електроенергії. Це призводить до великих втрат потужності в таких електричних мережах у порівнянні з живлячими і системоутворюючими мережами, які виконуються на більш високі класи напруги. Тенденцією розвитку РЕМ в останні роки є збільшення кількості джерел розподіленої генерації, до яких відносяться відновлювальні джерела енергії (ВДЕ). Вони підключаються безпосередньо до РЕМ і характеризуються значною залежністю генерації від кліматичних умов і стану навколишнього середовища. Для вирішення цієї проблеми в світі все частіше використовуються різні системи накопичення електричної енергії (СНЕ), які дозволяють оптимізувати виробництво електроенергії за рахунок вирівнювання графіка потужності та завдяки цьому забезпечити підвищення надійності виконання планового графіку видачі потужності ВДЕ в мережу. Слід підкреслити, що використання СНЕ з метою нівелювання нерівномірної роботи генеруючих потужностей ВДЕ для енергосистеми України є шляхом розвитку, який затверджений державною енергетичною стратегією [1]. Аналіз розвитку сучасних технологій зберігання енергії та їх використання для створення СНЕ показує, що потужність і кількість таких систем значно збільшуються як в світі, так і в Україні. Це свідчить про своєчасність і актуальність дослідження питання застосування СНЕ в електричних мережах для підвищення ефективності їх роботи. Для підвищення ефективності роботи електричної мережі 0,4 кВ, розташованої в міській зоні, були передбачені заходи з встановлення СНЕ. До даної електричної мережі підключені комунальні, адміністративні, побутові та промислові споживачі з дуже різними добовими графіками навантаження. Схема та визначений графік сумарного навантаження споживачів досліджуваної РЕМ представлені на рис. 1. З урахуванням цієї інформації був визначений графік сумарної потужності, що надходить із зовнішньої енергосистеми в досліджувану електричну мережу для покриття отриманого графіка споживання навантаження. Для зниження втрат потужності в досліджуваній РЕМ доцільно використовувати СНЕ різних типів, в тому числі й маховики, оскільки серед споживачів є такі, що дозволяють використовувати кінетичну енергію їх руху. У зв'язку з цим важливим завданням є визначення типу та місця підключення систем накопичення енергії в

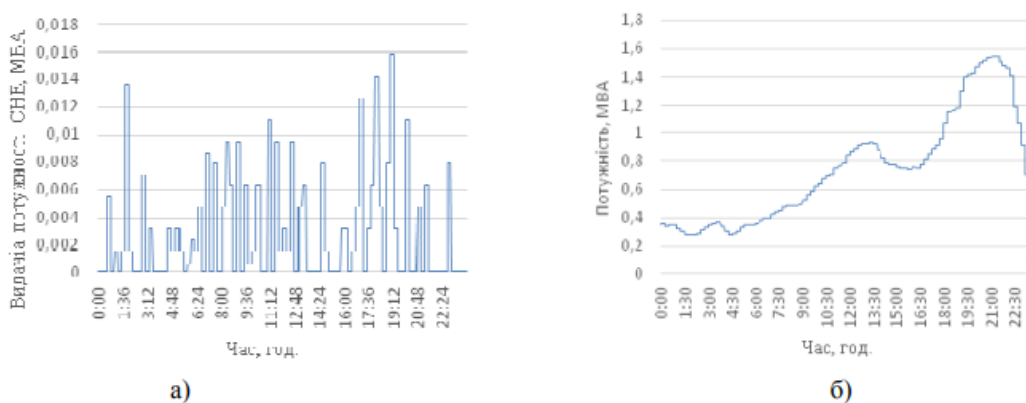
досліджуваній розподільній електричній мережі. Було обґрунтовано, що підключення СНЕ на шинах 0,4 кВ у вузлах мережі, в яких безпосередньо підключені навантаження є більш доцільним у порівнянні з іншими варіантами розташування накопичувачів. Це вузли 1-5 в представленій схемі досліджуваної РЕМ. Для кожного з вузлів навантаження окремо визначався тип СНЕ, серед яких були застосовані акумуляторні батареї та маховики. Потужність кожної СНЕ становила 0,04 МВт



а – схема досліджуваної РЕМ, б – сумарне навантаження споживачів досліджуваної РЕМ

Рисунок 1 – Характеристика досліджуваної розподільної мережі

Після підключення накопичувачів енергії в досліджуваній РЕМ змінюється графік потужності, яка надходить з енергосистеми для покриття навантаження споживачів у мережі. Були побудовані графіки видачі потужності СНЕ для кожного з вузлів розглянутої РЕМ, на основі яких одержаний сумарний графік видачі потужності СНЕ в мережу (рис.2 а). На основі цього графіку було отримано сумарний графік споживання потужності з енергосистеми після підключення в РЕМ вибраних СНЕ, який показаний на рис. 2 б.



а – сумарний графік видачі потужності СНЕ в РЕМ, б – графік потужності, яка надходить з енергосистеми до РЕМ

Рисунок 2 – Характеристика потужності в досліджуваній РЕМ після встановлення СНЕ

Для аналізу функціонування досліджуваної РЕМ з використанням програмнообчислювального комплексу DigSILENT PowerFactory [2] було виконано моделювання параметрів режимів роботи досліджуваної мережі в характерних режимах. Аналіз результатів моделювання показав, що вимоги до параметрів режиму та якості електричної енергії в досліджуваній мережі виконуються.

## Висновки

Застосування обраних СНЕ дозволяє знизити втрати потужності в досліджуваній РЕМ на 4,7 %. Таким чином, застосування СНЕ в РЕМ дозволяє знизити пікові навантаження на трансформатори підстанцій, що сприяє зменшенню втрат потужності в мережі та підвищує ефективність і надійність роботи електричних мереж [3,4].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Энергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>.
2. DigSILENT PowerFactory. – URL: <http://regimov.net/content.php/81-programm>.
3. Пат. 147437 UA, МПК H02J 3/24. Спосіб оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи [Текст] / П. Д. Лежнюк, В. В. Нетребський, В. О. Комар, В. О. Лесько, О. В. Сікорська (Україна). – № u 2020 08300 ; заявл. 14.12.2020 ; опубл. 05.05.2021, Бюл. № 18. – 12 с. : кресл.
4. Lezhniuk P., Komar V., Lesko V., Netrebskyi V., Malogulko Yu., Sikorska O. Electricity consumption and renewable energy sources generation schedules coordination in electric networks for balance reliability increasing. Energy facilities: management and design and technological innovations : collective monograph. 2022. Chap. 2. P. 42-75.

**Кочмарук Володимир Олександрович** — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, група 2ЕЕ-20б, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Тихолаз Євгеній Андрійович** — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, група 1ЕС-22б, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Лесько Владислав Олександрович** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Науковий керівник: **Нетребський Володимир Васильович** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [netrebskiy@ukr.net](mailto:netrebskiy@ukr.net)

*Kochmaruk V.* - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

*Tykholaaz Y.* - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine;

*Lesko V.* - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), docent, Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine.

Supervisor: Netrebskiy V. – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), docent, Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: [netrebskiy@ukr.net](mailto:netrebskiy@ukr.net)