

П. Д. Лежнюк<sup>1</sup>  
О. О. Рубаненко<sup>1</sup>  
І. О. Гунько<sup>1</sup>

## КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ СЕКЦІОНОВАНИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*Ознакою сьогодення є стрімкі темпи розбудови об'єктів відновлювальної енергетики в світі та в Україні зокрема. Щодо Вінницької області, то вона лідирує в розбудовуванні фотоелектричних станцій (ФЕС). Відомо, що такі електричні станції під'єднують безпосередньо до шин розподільних електричних мереж (РЕМ), які проектувались за умов централізованого електропостачання. Таким чином лінія, яка працювала в радіальному режимі, перетворюється на лінію з двобічним живленням. Отже, виникають задачі оптимізації схем та перетоків потужності в ній для підвищення надійності електропостачання споживачів, поліпшення якості електроенергії. З метою зменшення втрат електричної потужності в розподільних електричних системах шляхом керування генеруванням сонячних електростанцій та малих гідроелектростанцій (ГЕС) запропоновано коригувати потоки потужності так, щоб розрахункова точка потякорозділу в лінії електропередачі відповідала місцю секціонування в ній, шляхом зміни потужності генерування наявних в мережі керованих відновлювальних джерел енергії (ВДЕ)—ГЕС. Також авторами розроблено та описано можливості програмного забезпечення інтелектуальної підтримки диспетчера розподільних мереж, яке дає змогу визначити яким з наявних комутаційних апаратів доцільно розмикати контури в розподільній мережі з ВДЕ. Показано, як це програмне забезпечення дозволяє дослідити можливості зсуву точки потякорозділу у вузол, де встановлений комутаційний апарат, для зменшення втрат потужності шляхом зміни потужності генерування ГЕС та/або ФЕС. В програмі передбачено і повідомлення диспетчеру розподільних мереж, якщо параметри режиму відхилятимуться від їх нормованих значень. Програма інтегрована в автоматизовану систему керування генеруванням потужності ГЕС.*

**Ключові слова:** розподільні електричні мережі, секціонування, втрати електроенергії, відновлювальні джерела енергії, автоматизована система керування.

### Вступ

Ознакою сьогодення є стрімкі темпи розвитку відновлюваної енергетики у світі та в Україні: сонце, вітер, біоресурси тощо. Встановлена потужність генерування таких станцій з кожним роком зростає. Так, за даними щорічного звіту Renewables Global Status Report 2019 стрімкого розвитку у світі набуває сонячна енергетика, потужності якої на кінець 2018 року склали 505 ГВт, а на кінець 2019 року – 590 ГВт, що вказує на світовий приріст на 17 % (рис. 1) [1], [2].

Щодо нашої країни, то частка відновлювальної енергетики щороку зростає. Відповідно до плану розвитку системи електропередачі на 2020—2029 роки, Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» передбачає збільшення частки ВДЕ в структурі генерування до 25 % у 2035 р. В 2018 р. встановлена потужність ВДЕ складала 1979 МВт, з них 1388 МВт ФЕС. Протягом 2019 р. відбулося стрімке зростання відновлювальної енергетики. Потужність ВДЕ зросла до 6328 МВт, з них ФЕС — 5014 МВт. В 2019 р. ВДЕ вироблено 5,8 млрд кВт-год. або 3,64 % від всієї виробленої електроенергії.

На сьогодні актуальним є оптимальне інтегрування ВДЕ в електричні мережі енергосистем. Створення сприятливих умов для розбудови ВДЕ вимагає розв'язання низки технічних та організаційних задач. Серед багатьох інших, до таких задач відноситься узгодження місць оптимального секціонування РЕМ, які експлуатуються як радіальні. Введення в них електростанцій, які використовують ВДЕ, переводить частину ліній електропередачі в режим роботи з двостороннім живленням.

Це змінює поточкорозподіл в мережі, що може призвести до збільшення втрат електроенергії в ній, якщо не оптимізувати місця під'єднання ВДЕ та їх потужність [3]—[5]. Для зменшення втрат електроенергії під час її транспортування також необхідно коригувати потоки потужності, що відповідають місцям секціонування РЕМ, які раніше вибирались тільки з умов забезпечення нормативів з надійності електропостачання.

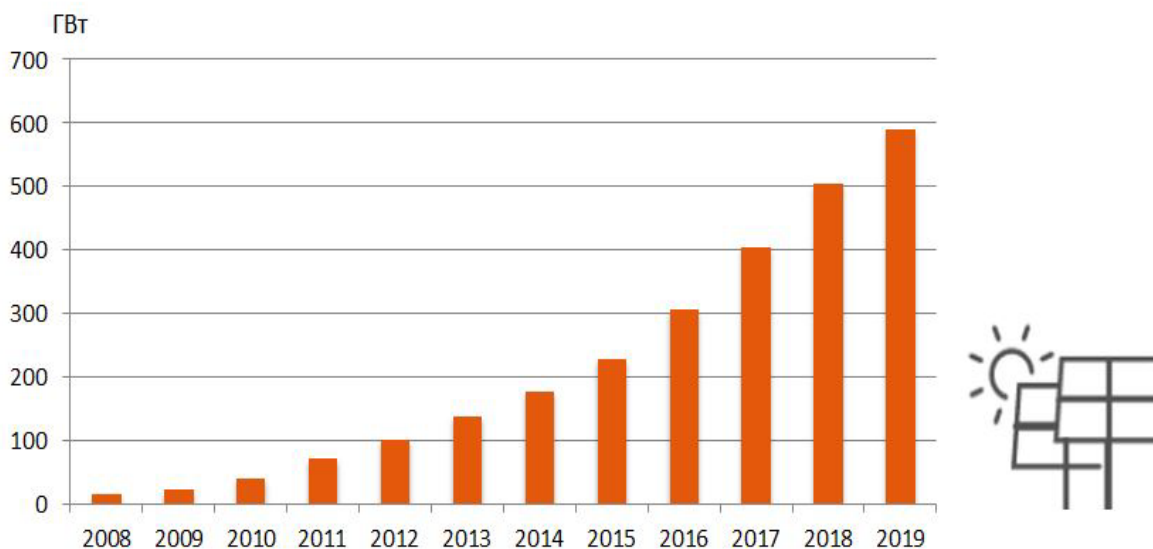


Рис. 1. Тенденція зростання встановленої потужності СЕС у світі

Актуальність дослідження підтверджується тим, що ці питання та проблеми розглядаються у низці зарубіжних статей. Так, зокрема у статті [6], автори показали актуальність дослідження проблем зміни топології розподільної мережі з ВДЕ з метою нормалізації напруг у вузлах схеми. В [7] автори розглянули можливість роботи мікромережі в автономному режимі та представили алгоритм пошуку таких автономних островів у розподільних мережах з урахуванням таких параметрів, як: навантаження у вузлах схеми, баланс потужності, напруги у вузлах. Метод регулювання напруги у розгалуженій розподільній мережі з ВДЕ описаний у роботі [8], він базується на алгоритмі спектральної кластеризації.

Також питання підвищення якості електроенергії та підвищення надійності електропостачання розглянуто в низці вітчизняних статей, зокрема у статтях [9]—[11], показано, що невідповідність роботи різних видів ВДЕ, наприклад, під час послідовного вмикання або вимикання може призвести до низькочастотних і високочастотних складових в струмах та напругах в розподільних мережах і бути однією з причин пошкодження обладнання мереж, в яких вони експлуатуються.

В наш час є чимало прикладів, коли збільшення встановленої, а тому і генерованої ФЕС потужності до 5 МВт (наприклад, вплив генерованої Цекинівською ФЕС потужності на напруги у вузлах мережі Ямпільських РЕМ АТ «Вінницяобленерго») призводить до понаднормового зростання напруги у споживачів і як результат — до пошкодження електричного обладнання.

Розподільні мережі України у більшості випадків є розімкненими, а не кільцевими. В таких мережах генерування ГЕС може виявитись сумірним зі споживаною потужністю. Тому керування генерованою потужністю ВДЕ, оптимізація потоків потужності в РЕМ з ВДЕ є актуальним завданням, покликаним забезпечити зменшення втрат електроенергії в електричних мережах, покращити якість електропостачання, зменшити пошкоджуваність обладнання та підтримувати балансову надійність.

*Метою роботи* є зменшення втрат електричної потужності в розподільних електричних системах шляхом узгодженого керування генеруванням сонячних електростанцій та малих гідроелектростанцій. Суть роботи полягає у дослідженні коригування потоків потужності так, щоб розрахункова точка поточкорозділу відповідала місцю секціонування РЕМ, шляхом зміни потужності генерування наявних в мережі керованих ВДЕ—ГЕС.

### Результати дослідження

Для розрахунку усталеного режиму РЕМ з ВДЕ математична модель за методом вузлових напруг адаптована до форми вихідних даних таких мереж, а також до розв'язуваних задач. Метод і відповідний алгоритм дозволяють розраховувати режими, коли схема мережі замкнена і розімкнена, але частина ліній (ті, що з ВДЕ) є лініями з двостороннім живленням. Причому окремі лінії електропередач (ЛЕП) можуть об'єднувати декілька різнотипних ВДЕ.

Математична модель в залежності від вихідних даних використовується у вигляді

$$\mathbf{Y}_y \dot{\mathbf{U}} = \mathbf{U}_d^{-1} \hat{\mathbf{S}} - \mathbf{Y}_6 U_6 \quad \text{або} \quad \mathbf{Y}_y \dot{\mathbf{U}} = \dot{\mathbf{J}} - \mathbf{Y}_6 U_6, \quad (1)$$

де  $\mathbf{Y}_y$  — матриця вузлових провідностей,  $\mathbf{Y}_6$  — матриця-стовпець вузлових провідностей відносно балансувального вузла з напругою  $U_6$ ,  $\hat{\mathbf{S}}$  — вектор спряжених комплексних потужностей вузлів,  $\mathbf{U}_d^{-1}$  — обернена діагональна матриця комплексів вузлових напруг,  $\dot{\mathbf{J}}$  — вектор вузлових струмів.

Потужності або струми у вузлах подаються як сума вузлових навантажень та генерування ВДЕ (ГЕС та ФЕС)

$$\dot{\mathbf{S}} = \dot{\mathbf{S}}_H - \dot{\mathbf{S}}_{Г ГЕС} - \dot{\mathbf{S}}_{Г ФЕС} \quad \text{або} \quad \dot{\mathbf{J}} = \dot{\mathbf{J}}_H - \dot{\mathbf{J}}_{Г ГЕС} - \dot{\mathbf{J}}_{Г ФЕС}. \quad (2)$$

Для дослідження впливу потужності генерування ВДЕ на втрати потужності в РЕМ і в її виділених фрагментах використовується алгоритм, в основу якого покладено матрицю розподілу втрат потужності по вітках схеми в залежності від потужності у її вузлах

$$\Delta \dot{\mathbf{S}}_B = \dot{\mathbf{T}} \cdot \dot{\mathbf{S}}, \quad (3)$$

де  $\Delta \dot{\mathbf{S}}_B$  — вектор втрат у вітках схеми, які визначаються потужностями  $\dot{\mathbf{S}}_H$ ,  $\dot{\mathbf{S}}_{Г ГЕС}$  і  $\dot{\mathbf{S}}_{Г ФЕС}$ .

Кожний рядок матриці  $\dot{\mathbf{T}}$  визначається як

$$\dot{\mathbf{T}}_i = (\dot{\mathbf{U}}_i \mathbf{M}_i) \mathbf{C}_i \dot{\mathbf{U}}_d^{-1}, \quad (4)$$

де  $\mathbf{M}$  — матриця з'єднань віток у вузлах,  $\dot{\mathbf{C}}_i$  —  $i$ -й рядок матриці розподілу струмів у вузлах  $\dot{\mathbf{J}}_H - \dot{\mathbf{J}}_{Г ГЕС} - \dot{\mathbf{J}}_{Г ФЕС}$  по вітках схеми.

Для фрагмента мережі з виділеними ГЕС вираз (3) перетворюється в

$$\Delta \dot{\mathbf{S}}_{B\phi} = \dot{\mathbf{T}}_\phi \cdot \dot{\mathbf{S}}_{Г ГЕС}, \quad (5)$$

де  $\dot{\mathbf{T}}_\phi = \mathbf{T}_{\phi a} + j\mathbf{T}_{\phi p}$  — матриця розподілу втрат потужності у фрагменті мережі.

Як правило, цікавить залежність втрат активної потужності та електроенергії від генерування ГЕС. Якщо на шинах ГЕС потужність збалансована таким чином, що вона не споживає і не генерує в мережу реактивну потужність, то вираз (5) для аналізу впливу ГЕС на втрати суттєво спрощується

$$\Delta \mathbf{P}_B = \mathbf{T}_{\phi a} \mathbf{P}_{Г ГЕС}. \quad (6)$$

Вирази (1)—(6) є математичною моделлю режимів РЕМ, яка дозволяє досліджувати вплив потужностей ГЕС на втрати потужності в них та визначати оптимальні за критерієм втрат генеровані потужності з урахуванням обмежень за напругою, пропускної здатності ЛЕП та встановленої потужності ГЕС.

Запропоновано доповнити відому трирівневу двоконтурну автоматизовану систему керування (АСК) блоком, який враховує та керує генерованою потужністю ГЕС в електричних мережах з урахуванням потужностей інших ВДЕ, приєднаних до мережі локальної електричної системи (ЛЕС). Відповідно до технологічного базису концепції Smart Grid АСК, структурна схема якої показана на рис. 2, передбачається двосторонній обмін інформацією між диспетчерським центром районного підприємства електричних мереж енергопостачальної компанії та локальними АСК опорних керованих ГЕС в РЕМ. Також здійснюється інформаційний обмін між локальними системами автоматичного керування ВДЕ, які умовно розташовані на третьому рівні керування генеруванням на підприємстві РЕМ енергопостачальної компанії і є одним з джерел живлення споживачів.

Згідно з рис. 2, отримана від ВДЕ інформація надходить в Центр оцінювання впливу ВДЕ на параметри режиму РЕМ, а далі, в залежності від результатів розрахунків оптимальної зміни потужності ВДЕ, формуються корегувальні впливи на ВДЕ.

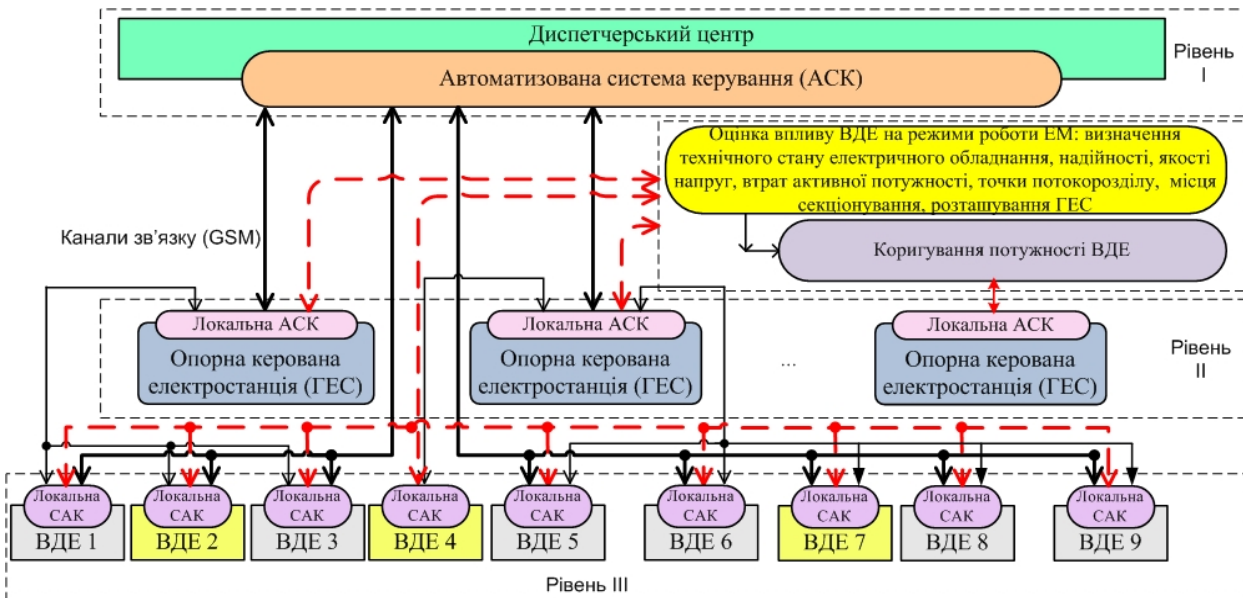


Рис. 2. Структурна схема АСК генерованою потужністю ГЕС

Ця схема керування складається з двох контурів. У першому контурі (головному) здійснюється автоматичне керування окремими ГЕС та комутаційними апаратами секціонування мереж (КАСМ) за допомогою пристроїв контролю і керування ГЕС.

Вектори спостереження  $y'$  для керування ГЕС і КАСМ формуються з телевимірів виділеної області корекції, в якій забезпечується часткова або повна спостережність. У другому контурі (адаптації) в залежності від міри порушення режиму РЕМ і за рішенням диспетчера РЕМ можуть виконуватись дії з переналадження пристроїв АСК ВДЕ або прямого керування параметрами ВДЕ. У останньому випадку пристрої АСК ВДЕ використовуються для узгодження каналу телемеханіки і схеми керування генераторами ГЕС, інверторами ФЕС і т. п.

Команди диспетчера для зміни генерованої потужності ФЕС, ГЕС та КАСМ реалізуються шляхом відповідної зміни складових вектора коригувальних дій. У випадку, коли оптимальне керування здійснюється автоматично, у контурі адаптації за повною інформацією про режим РЕМ визначаються потрібні коригувальні дії за допомогою зміни потужності, генерованої малими ГЕС.

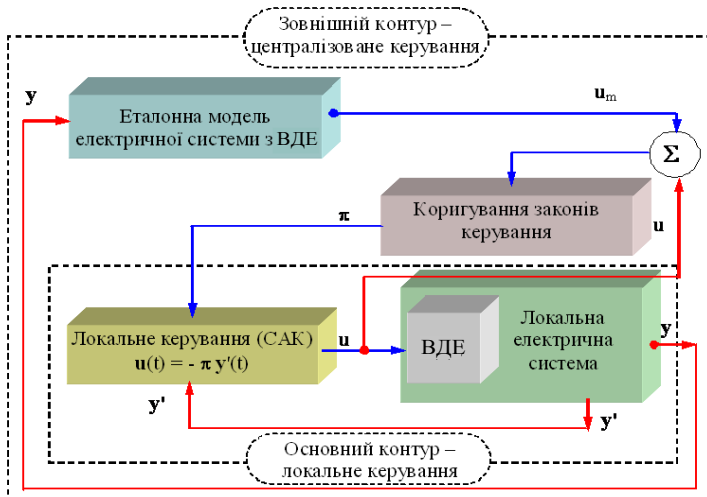


Рис. 3. Адаптивна система керування ВДЕ з еталонною моделлю

автоматичного керування (САК) підпорядковується автоматизованій системі керування та здійснюється за законом

$$u(t) = -\pi y(t), \tag{7}$$

коли коригувальні дії  $r$  на складові вектора керувальних впливів  $u$  набувають значення

$$r_i = \begin{cases} +\Delta u_{уст}, & \text{якщо } P_{*ГЕСi} \geq \delta P_{*ГЕСi}^+, \\ 0, & \text{якщо } \delta P_{*ГЕСi}^- < P_{*ГЕСi} < \delta P_{*ГЕСi}^+, \\ -\Delta u_{уст}, & \text{якщо } P_{*ГЕСi} \leq \delta P_{*ГЕСi}^-. \end{cases} \quad (8)$$

В (7) і (8):  $\mathbf{u}$  — вектор керувальних впливів;  $\mathbf{y}$  — вектор спостереження;  $\boldsymbol{\pi}$  — матриця коефіцієнтів пропорційності, які мають фізичний зміст критеріїв подібності;  $\Delta u_{уст}$  — добавка до уставки регулятора турбіни, в результаті дії якої потужність ГЕС вводиться в область оптимальності;  $\delta P_{*ГЕСi}^-$  і  $\delta P_{*ГЕСi}^+$  — допуски для потужності генерування  $i$ -ї малої ГЕС.

### Програмне забезпечення для визначення раціонального місця секціонування електричної мережі з ВДЕ

Програма призначена для визначення раціонального місця секціонування електричної мережі, в якій експлуатуються ВДЕ. За допомогою програми приймаються рішення, яким саме з наявних комутаційних апаратів розмикати мережу, з метою підвищення надійності електропостачання та зменшення втрат електроенергії в ній [12]. Екранна заставка програми показана на рис. 4.

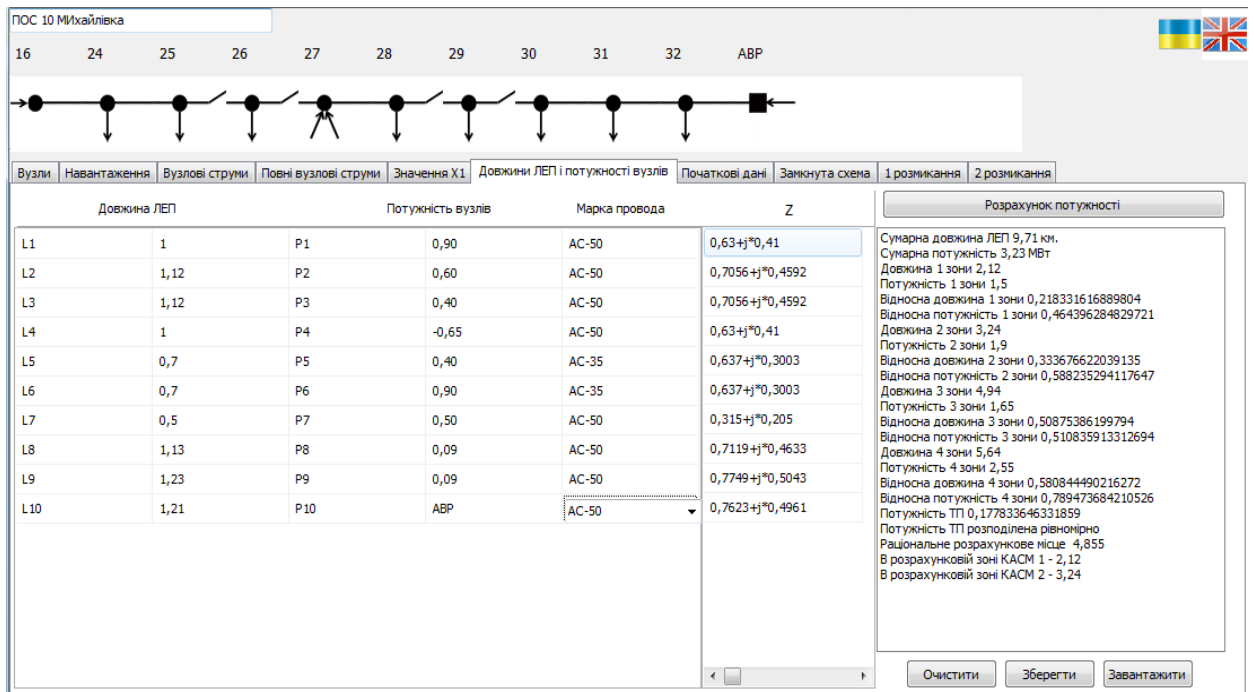


Рис. 4. Екрана заставка програми «Секціонування розподільних електричних мереж з ВДЕ»

У вкладці «Вузли» вводяться початкові дані досліджуваної схеми. В програмі також передбачено можливість завантаження заздалегідь підготовлених файлів в форматі txt, зручному для редагування та введення в інші програми з розрахунку усталених режимів. В верхній частині екранної заставки будується графічне зображення схеми, з усіма введеними користувачем вітками, вузлами та комутаційними апаратами. Для визначення раціонального місця секціонування мереж з ВДЕ необхідно також ввести потужності навантажень та генерування ВДЕ у вузлах схеми.

Результатами розрахунку є: сумарна довжина ЛЕП, сумарна потужність навантажень з урахування потужності генерування ВДЕ, абсолютні та відносні довжини зон від ввідного вимикача до місця встановлення наявного комутаційного апарата секціонування мереж, абсолютні та відносні потужності для кожної з цих зон.

Також в результатах розрахунку вказується довжина зони, рекомендованої для встановлення комутаційного апарата, тобто раціональне розрахункове місце. Відомо, що з вимог надійності електропостачання, коли відсутні КАСМ у рекомендованому місці, можна використовувати ті КАСМ, що знаходяться ближче до центра живлення. Тому в програмі порівнюються довжини зон кожного наявного в схемі КАСМ з рекомендованою довжиною та повідомляється, якими з



наявних КАСМ можна робити розмикання, не погіршуючи показники надійності електропостачання. Далі необхідно визначити яким КАСМ потрібно робити розмикання з метою зменшення втрат активної потужності. Тому у вкладку «Початкові дані» вводимо, згідно з вищенаведеною математичною моделлю, першу матрицю інцидентів, вектор-стовпець вузлових струмів та вектор-стовпець опорів віток схеми, результати розрахунку втрат показано на рис. 5. В програмі передбачена можливість перегляду проміжних результатів розрахунку, з метою визначення місця розрахункової точки поточкорозділу та впливу на неї зміни потужності генерування, згідно з рис. 4.

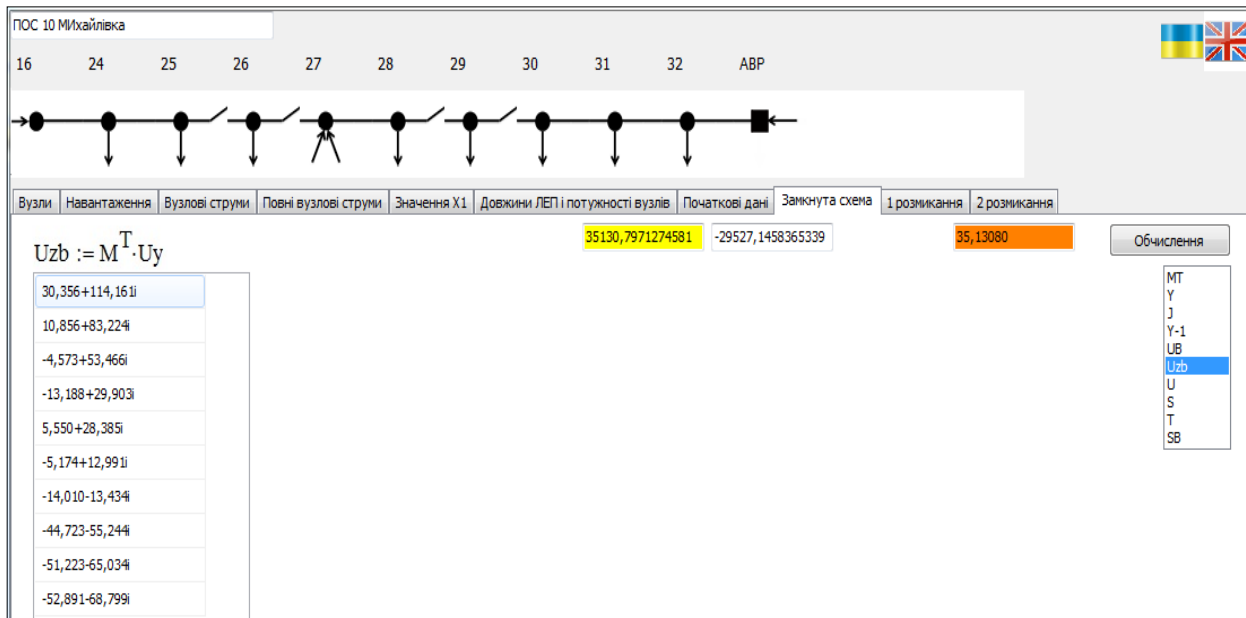


Рис. 5. Екрана заставка програми «Секціонування розподільних електричних мереж з ВДЕ»

Відповідно, у вкладках «Замкнута схема», «1 розмикання», «2 розмикання» відображаються результати розрахунку втрат у схемі до розмикання і після розмикання першим та другим КАСМ.

Також є можливість переглянути проміжні результати розрахунку та формули, за якими виконано обчислення. Отже, як результат роботи програми отримуємо значення втрат активної потужності у разі розмикання схеми різними КАСМ. Порівнявши ці результати, можна визначити, яким саме КАСМ потрібно робити розмикання для підвищення надійності електропостачання та зменшення втрат активної потужності.

## Висновки

Для зменшення втрат електричної потужності в розподільних електричних системах запропоновано оптимальне керування генеруванням малих гідроелектростанцій з урахуванням генерування ФЕС, відповідно до якого потрібно коригувати потоки потужності в лінії електропередач так, щоб розрахункова точка поточкорозділу в ній відповідала місцю секціонування шляхом зміни потужності генерування наявних в мережі ГЕС.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє дослідити можливості зсуву точки поточкорозділу у вузол, де встановлений комутаційний апарат, для зменшення втрат потужності шляхом зміни потужності генерування гідроелектростанцій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] International Renewable Energy Agency (IRENA), *IRENA (2019), Renewable capacity statistics 2019*, 2019, p. 47.
- [2] *Renewables 2018. Global Status Report*. [Electronic resource]. Available: [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652\\_GSR2018\\_FullReport\\_web\\_final\\_.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf).
- [3] П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, і Ю. В. Малогулко, «Оптимізація функціонування розосереджених джерел енергії в локальних електричних системах», *Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*, № 60, с. 68-77, 2014.
- [4] Petro Lezhniuk, et al., "The influence of distributed power sources on active power loss in the microgrid," *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, r. 93, nr 3/2017, pp. 107-112.

[5] Mahmoud Saleh, Yusef Esa, and Nwabueze Onuorah, "Optimal microgrids placement in electric distribution systems using complex network framework," in *6th International Conference on Renewable Energy Research and applications*, San Diego, USA, Nov. 5-8, 2017, pp. 1036-1040.

[6] Guido Cavraro, Andrey Bernstein, Vassilis Kekatos, and Yingchen Zhang, "Real-Time Identifiability of Power Distribution Network Topologies With Limited Monitoring," *IEEE Control Systems Letters*, vol. 4, no. 2, APRIL 2020, pp. 325-330.

[7] Hongwei Zhang, Lei Chen, Hualei Wang, Yuanyuan Zhao, Longlong Chen, and Bo Duan, "Island Partition of Distribution Network with Microgrid and Distributed Generation Based on Floyd-Warshall Algorithm," in *2018 International Conference on Smart Grid and Electrical Automation*, pp. 29-33.

[8] Ding, Q. Zhang, S. Hu, Q. Wang, and Q. Ye, "Clusters partition and zonal voltage regulation for distribution networks with high penetration of PVs," in *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 12, no. 22, pp. 6041-6051, 2018. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2018.6255>

[9] П. Д. Лежнюк, і І. О. Гунько, «Вплив розосереджених джерел енергії на оптимальний потікорозподіл в електричних мережах,» *Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*, № 18 (1190), с. 86-91, 2016.

[10] P. Lezhnyuk, V. Komar, S. Kravchuk, and D. Sobchuk, "Mathematical modeling of operation quality of electric grid with renewable sources of electric energy (2018) Proceedings," in *the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2017*, 2018-January, pp. 324-327.

[11] П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, і І. О. Гунько, «Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС,» *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*, № 2, с. 134-145, 2015.

[12] П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, і І. О. Гунько, «Комп'ютерна програма "Визначення раціонального місця секціонування розподільної електричної мережі з відновлюваними джерелами енергії",» *Свідчення про реєстрацію авторського права на твір № 83073*. Державна служба інтелектуальної власності України. 23.11.2018.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 3.03.2020

**Лежнюк Петро Дем'янович** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій та систем, e-mail: lezhpd@gmail.com ;

**Рубаненко Олена Олександрівна** — канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри електричних станцій та систем;

**Гунько Ірина Олександрівна** — канд. техн. наук, старший викладач кафедри електричних станцій та систем. Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**P. D. Lezhniuk<sup>1</sup>**  
**O. O. Rubanenko<sup>1</sup>**  
**I. O. Hunko<sup>1</sup>**

## Control of Sectioning Distributed Power Grids with Renewable Energy Sources

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

*A sign of today is the rapid pace of development of renewable energy facilities in the world and in Ukraine in particular. As for the Vinnitsia region, it occupies a leading position in the construction of photovoltaic power plants (PPPs). PPPs connect directly to the buses of the distribution power grids (DPGs), that designed under the conditions of centralized power supply. In this way, the radial line is converted to a double-sided line. Therefore, there are problems with the optimization of circuits and power flows in it to improve the reliability of electricity supply to consumers, improve the quality of electricity. This paper is the proposed method of control the generation of PPPs and small hydropower plants (HPP) in order to reduce the power losses in the DPG. It is proposed to control the power flows so that the calculated flow point in the transmission line corresponds to the sectioning point in it, by changing the generation capacity of the available managed renewable energy sources (RES) — HPP. The authors have also developed and described the capabilities of Intelligent Support for Distribution Power Grids Manager software, which makes it possible to determine which of the existing switchgear is appropriate to open circuits in the RES DPGs. It is shown how this software allows investigating the possibility of shifting the flow point to the node where the switchgear is installed to reduce the power loss by changing the power generation of the hydroelectric power plants and/or PPPs. The program also provides a message to the DPGs dispatcher in case the mode parameters deviate from their normalized values. The program is integrated into an automated system for controlling the generation of HPPs.*

**Keywords:** distributed power grids, sectioning, electricity losses, renewable energy sources, automated control system.

**Lezhniuk Petro D.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Electric Stations and System, e-mail: lezhpd@gmail.com ;

**Rubanenko Olena O.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Doctoral Student of the Chair of Electric Stations and System;

**Hunko Iryna O.** — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Electric Stations and System

**П. Д. Лежнюк<sup>1</sup>**  
**Е. А. Рубаненко<sup>1</sup>**  
**И. А. Гунько<sup>1</sup>**

## **Управление режимами секционированных распределительных сетей с возобновляемыми источниками энергии**

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*Для нашего времени характерны стремительные темпы развития объектов возобновляемой энергетики в мире и в Украине в частности. Винницкая область, занимает лидирующие позиции по развитию фотоэлектрических станций (ФЭС). Известно, что такие электрические станции подключаются непосредственно к шинам распределительных электрических сетей (РЭС), которые проектировались в условиях централизованного электроснабжения. Таким образом линия, которая работала в радиальном режиме, превращается в линию с двусторонним питанием. Соответственно возникают задачи оптимизации схем и потоков мощности в ней для повышения надежности электроснабжения потребителей, улучшения качества электроэнергии. С целью уменьшения потерь электрической мощности в распределительных электрических системах путем управления генерированием солнечных электростанций и малых гидроэлектростанций (ГЭС) предложено корректировать потоки мощности так, чтобы расчетная точка потокораздела в линии электропередач отвечала месту секционирования в ней, путем изменения мощности генерирования имеющихся в сети управляемых возобновляемых источников энергии (ВИЭ) — ГЭС. Также авторами разработаны и описаны возможности программного обеспечения интеллектуальной поддержки диспетчера распределительных сетей, позволяющие определить которым из имеющихся коммутационных аппаратов целесообразно размыкать контуры в распределительной сети с ВИЭ. Показано, как это программное обеспечение позволяет исследовать возможности смещения точки потокораздела в узел, где установлен коммутационный аппарат, для уменьшения потерь мощности путем изменения мощности генерации ГЭС и/или ФЭС. В программе также предусмотрено сообщение диспетчеру распределительных сетей в случае, если параметры режима отклонятся от их нормативных значений. Программа интегрирована в автоматизированную систему управления генерированием мощности ГЭС.*

**Ключевые слова:** распределительные электрические сети, секционирование, потери электроэнергии, возобновляемые источники энергии, автоматизированная система управления.

**Лежнюк Петр Демьянович** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электрических станций и систем, e-mail: lezhpd@gmail.com ;

**Рубаненко Елена Александровна** — канд. техн. наук, доцент, докторант кафедры электрических станций и систем;

**Гунько Ирина Александровна** — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры электрических станций и систем