

## ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ

УДК 622.235

С. П. Денисюк, д.т.н., проф., Д. Г. Дерев'янюк, асист., К. Ю. Суменко, студ.,  
(НТУУ «КПІ»)

### ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ З РОЗОСЕРЕДЖЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ

---

S. P. Denysiuk, D. G. Derevianko, K. J. Sumenko (National Technical University  
of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

### MAIN FEATURES OF ASSESMENT OF QUALITY OF POWER SUPPLY IN LOCAL ELECTROTECHNICAL SYSTEMS WITH DISTRIBUTED GENERATION

*Проаналізовано особливості побудови локальних електротехнічних систем в рамках концепції Smart Grid. Досліджено особливості оцінки впливу джерел розосередженої генерації на процеси в локальних електротехнічних системах. Дано визначення якісної оцінки процесів в локальних електротехнічних системах.*

**Ключові слова:** локальна система, електротехніка, джерела РГ, якість електропостачання.

*Проанализированы особенности построения локальных электротехнических систем в рамках концепции Smart Grid. Исследованы особенности оценки влияния источников рассредоточенной генерации на процессы в локальных электротехнических системах. Дано определение качественной оценки процессов в локальных электротехнических системах.*

**Ключевые слова:** локальная система, электротехника, источники РГ, качество электроснабжения.

*The features of building of local electrical systems within the concept of Smart Grid are explored. The features of impact assessment of distributed generation sources in the processes of local electrical systems are shown. The definition of quality assessment processes in the local electrical systems is given.*

**Keywords:** local system, electrical DG sources, quality of power supply.

**Вступ.** Одним із пріоритетних напрямків впровадження в Україні принципів побудови енергетики сталого розвитку є модернізація енергетичних систем на основі Smart Grid технологій. Такі технології включають в якості невід'ємної складової впровадження інтелектуальних систем вимірювання та керування енергетичними потоками з використанням пристроїв силової електроніки (СЕ), а також значну частку децентралізації електропостачання за рахунок впровадження джерел розосередженої генерації (РГ), часто заснованих на нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) [1].

За кордоном активно використовуються різні підходи до практичної реалізації концепції Smart Grid – інтелектуальних систем, ведуться роботи щодо їх комплексного впровадження [2,3,4]. Мікроенергосистеми (Microgrid) були запропоновані в якості мережевої архітектури розподільних мереж в рамках концепції Smart Grid, здатних повною мірою використовувати вигоди від інтеграції великого числа джерел РГ малої потужності (загальною потужністю до 1 МВт) в системах розподілу електроенергії низької напруги для забезпечення необхідного рівня якості електропостачання споживачів [3].

Системи Microgrid включають в себе розподільні мережі низької напруги з джерелами РГ, акумулюючими пристроями і керованими навантаженнями, що працюють підключеними до основної мережі живлення або в острівному режимі, керовано, скоординованим чином.

Водночас аналіз розподілу споживання електроенергії по галузях економіки свідчить про велику частку споживання енергії саме локальними об'єктами, які являють собою локальні електротехнічні системи, та обумовлює актуальність вирішення питань енергоефективності саме для них [5,6].

До локальних об'єктів у промисловості, наприклад, відносяться електротехнічні системи електротермічних та електрозварювальних установок, установок з механічною та хімічною дією струму або поля на матеріал обробки, а також магнітодинамічні насоси та установки, електропостачання яких повинно забезпечуватися з заданим рівнем надійності та якості.

Одним з різновидів систем Microgrid є локальні електротехнічні системи – ЛЕС, з розосередженими джерелами енергії та децентралізованою архітектурою, які виявляють більшу гнучкість в керуванні, вони дозволяють децентралізовано керувати та розподіляти керуючі впливи між багатьма зворотними зв'язками, не покладаючись на централізовану ієрархію. Особливістю ЛЕС в рамках систем Microgrid є ширший діапазон режимів роботи системи та орієнтація ЛЕС на тривалий острівний режим роботи, підтримання якого забезпечується складною структурою системи керування (СК) та розосередженою структурою генерації, побудованою на базі НВДЕ.

Особливості побудови таких систем, вибір конкретних типів елементів та конфігурацій цих систем, визначаються їх функціональним призначенням, зокрема, вимогами забезпечення оптимального енергообміну, покращення якості електроенергії, вимогами до стійкості, надійності та ефективності роботи системи, потужністю, характером і місцем розташування джерел спотворень, типами і місцем розташування генераторів та навантажень системи, необхідністю досягнення оптимальних значень техніко-економічних показників (ТЕП) системи в цілому.

Вимоги, які висуваються до схем електропостачання ЛЕС різноманітні і залежать, насамперед, від вимог надійності, величини споживаної об'єктом потужності, а також віддаленості споживачів від джерел живлення електроенергії, наявності зон з забрудненими та агресивними середовищами, впливу самих ЛЕС на якість електричної енергії тощо. Джерела живлення слід

наблизити до об'єкту споживання, щоб зменшити кількість мережевих ланок та ступенів проміжної трансформації електроенергії та комутації в системі електропостачання в ЛЕС. Одним зі способів вирішення проблем програмно-апаратних засобів інтеграції джерел РГ в системи є побудова ЛЕС на основі децентралізованої архітектури з використанням НВДЕ. Це, з одного боку, зменшує кількість проміжних ланок між генерацією та споживанням, а також знижує кількість ступенів трансформації в ЛЕС, а з іншого може збільшити кількість факторів негативного впливу на якість електроенергії та процеси в ЛЕС.

Впровадження джерел РГ впливає на розподільні мережі в ЛЕС та перетворює їх на активні елементи. Це призводить до необхідності внесення змін (або перегляду та модернізації) у прийнятті стратегії керування, експлуатації та планування структури та режимів ЛЕС. При цьому їхній вплив може мати як позитивний, так і негативний характер, тому доцільно ретельно проаналізувати питання приєднання джерел РГ в ЛЕС. Більшість джерел РГ під'єднані до мережі за допомогою перетворювачів роду стуму. При підключенні ці перетворювачі повинні забезпечувати необхідну якість електричної енергії. Тим не менш, висока частота перемикання вентильних елементів в перетворювачах може зумовлювати додаткові гармоніки напруги та струму в ЛЕС та знижувати якість електричної енергії.

Встановлення джерел живлення РГ в ЛЕС неподалік від навантаження може змінювати напрямок потоків потужності [7]. Встановлення джерел РГ може як збільшувати, так і зменшувати втрати потужності в ЛЕС, що в основному залежить від місць розташування та потужності джерел РГ в ЛЕС, їхнього  $\cos\phi$ , а також від топології (конфігурації) ЛЕС тощо. Можна виділити два різновиди впливу РГ на напругу в ЛЕС: вплив на рівні напруги в усталеному режимі роботи ЛЕС та вплив РГ на коливання напруги в ЛЕС [8,9]. Встановлення джерел РГ у ЛЕС також має досить суттєвий вплив на якість електричної енергії [8,10,11]. Джерела РГ призводять до зростання дози флікера, джерела РГ можуть генерувати гармоніки вищих порядків, а також впливають на провали напруги, що здебільшого пов'язано із типом генератора [12,13].

При побудові ЛЕС враховується, що окремі типи перетворювачів електроенергії компенсують чи генерують спотворення, а самі навантаження можуть як генерувати спотворення, так і бути досить критичними до впливу різних факторів "неякості" електроенергії. Генеровані перетворювачами та окремими типами навантажень гармоніки, що відмінні від основної, а в окремих випадках і не кратні основній, суттєво дестабілізують нормальну роботу елементів ЛЕС так і самої системи в цілому. Тому в даних системах можуть використовуватися пристрої, наприклад, окремі класи перетворювачів, які усувають цей вплив, забезпечують електромагнітну сумісність (ЕМС) навантажень з генераторами або забезпечують високі рівні перешкодозахищеності. Необхідні рівні та алгоритми керування, множини

зовнішніх та внутрішніх сигналів керування (як для системи в цілому, так і її окремих елементів) визначають вибір типу СК як для перетворювачів, так і ЛЕС в цілому.

Відповідно до зазначених особливостей можна дати визначення ЛЕС як сукупності генеруючого електрообладнання обмеженої потужності (від 10 кВт до 10 МВт), розподільних мереж, перетворювачів та споживачів електроенергії, з'єднаних між собою та об'єднаних загальним режимом генерації, перетворення, розподілу та споживання електроенергії, що може працювати паралельно з загальною електричною мережею або окремо від неї. ЛЕС визначає тип мереж, які займають проміжне місце між традиційними електричними ланцюгами та електроенергетичною системою. На відміну від перших, ЛЕС характеризується різними інтервалами зміни напрямків протікання електроенергетичних процесів, існуванням великої кількості елементів з нестаціонарними, нелінійними та параметричними характеристиками. Щодо других – ЛЕС мають змінну структуру, що обумовлена режимом роботи і може змінюватися значну кількість разів на окремих інтервалах часу. Все це ускладнює оцінку процесів в ЛЕС. З одного боку, окремі елементи даних систем можна також представити як електричні мережі з ланкою генерації, а з другого, ЛЕС у загальному випадку можна розглядати як споживача електроенергії у складі електроенергетичної системи [1].

Для аналізу процесів у виділених системах необхідна якісна оцінка, що на практиці не може бути обмежена лише оцінкою якості електроенергії як основного продукту генерації та кінцевого споживання в ЛЕС. Адекватна оцінка процесів в ЛЕС можлива при врахуванні факторів, що відображають процеси різні за своєю природою і фізичною сутністю, тобто якість функціонування системи. Під функціонуванням ЛЕС слід розуміти сукупність її властивостей, що включають, крім економічності ще й надійність (живучість, безвідмовність і стійкість) та якість електроенергії.

Визначення якості електропостачання в ЛЕС, у першу чергу, повинно дозволити визначити рівень якості електроенергії різних конфігурацій однієї структури (комбінацій працюючих елементів) процесу електропостачання в ЛЕС. Справді, при вивченні способів оптимізації параметрів та структури мереж після порівняння багатьох варіантів рішень потрібно вибрати економічно найдоцільніший з них за умови, що якість енергопостачання принаймні знаходиться на тому ж рівні, що і якість енергопостачання в інших варіантах.

При забезпеченні оптимального функціонування ЛЕС важливо порівнювати і різні за технічною якістю умови електропостачання, розглядаючи їх економічну значимість (вартість). Ця величина, дозволяє порівнювати технічні рішення, навіть якщо вони мають різні рівні якості електроенергії. Необхідно, щоб підвищення якості електроенергії при переході від одного рішення до іншого було еталоном виграшу, який отримують

споживачі. Цей вигравш необхідно збалансувати з додатковими витратами, що дозволили б отримати покращення якості електроенергії.

Поняття якості електропостачання розглядалося в роботах [14, 15, 16] як сукупність властивостей системи електропостачання, які обумовлюють ступінь придатності забезпечення споживачів встановленої якості при необхідному рівні надійності, тобто поряд з якістю електроенергії якість електропостачання повинна характеризуватися надійністю. Згідно [17,18] якість електропостачання умовно поділяється на:

- комерційну якість, посилаючись на послуги, які пов'язані з постачальником, системним оператором і споживачем;
- надійність (безперервність) електропостачання, посилаючись на кількість і тривалість перерв електропостачання;
- якість напруги, посилаючись на технічні характеристики напруги, які можуть бути виміряні на стороні споживача.

Зважаючи на представлені визначення авторів та особливості функціонування ЛЕС можна дати наступне визначення якості електропостачання в ЛЕС з джерелами РГ – сукупність властивостей системи електропостачання ЛЕС, які обумовлюють забезпечення споживачів встановленої якості електричної енергії при необхідному рівні надійності, стійкості та економічності функціонування ЛЕС.

Інтегральний критерій якості електропостачання для ЛЕС повинен включати показники надійності, які враховують узгоджене зі споживачем число короткочасних відключень  $n_{\text{від}}$ , тривалістю відключень не більше  $t_{\text{від}}$  годин на рік, стійкість функціонування ЛЕС, а також вірогідність попадання рівня напруги в ЛЕС на затискачах найбільш віддаленого споживача, в нормований інтервал (як інтегральний показник якості електроенергії в ЛЕС).

В якості критеріїв економічності доцільно прийняти технологічні витрати електроенергії на її передачу в розрахунковий період; чисту приведену вартість ( $NPV$ ), як показник приведених витрат, пов'язаних з реалізацією технічного рішення (побудови ЛЕС).

Як приклад розглянемо задачу оптимізації параметрів ЛЕС для підвищення якості електропостачання, за 2-ма критеріями:

$$f(B, U) \rightarrow \text{opt}, \text{де:}$$

$B$  – приведені витрати пов'язані з реалізацією технічного рішення ЛЕС;  $U$  – значення напруги на затискачах найбільш віддаленого споживача, що повинні відповідати заданому рівню, згідно стандартів якості електроенергії. Кожен з критеріїв оптимізації може мати різну направленість оптимізації:

$$f(B) \rightarrow \text{min};$$

$$f(U) \rightarrow \text{max}.$$



Як видно, окремі критерії відносно величин  $V$ ,  $U$  можуть мати різне спрямування оптимізації, різну фізичну суть та можливість бути рівнозначними (без пріоритетів) та нерівнозначними. Також слід враховувати, що основною інформацією для розрахунку окремих критеріїв служать результати розрахунку усталеного режиму розподільної електричної мережі в ЛЕС і техніко-економічного розрахунку.

Щоб об'єднати окремі критерії різної фізичної суті та з різними шкалами вимірювання однією числовою характеристикою у відносних одиницях і тим самим виконувати операції над ними, визначати переваги різних критеріїв в заданих діапазонах їх зміни, відмовитися від використання вагових коефіцієнтів, звести задачу максимізації однієї групи критеріїв і мінімізації іншої групи до задачі максимізації корисностей за всіма критеріями, можна побудувати так звані функції корисності критеріїв. Вони являють оцінки відносної переваги критерію  $k$  в досягненні локальної мети. Критерій  $k_1$  переважає критерій  $k_2$  тоді і тільки тоді, коли корисність критерію  $k_1$  більше, ніж корисність критерію  $k_2$ :

$$k_1 > k_2 \rightarrow v(k_1) > v(k_2).$$

Побудова функції корисності за критеріями передбачає визначення меж зміни критеріїв,  $k_{i\min} \leq k_i \leq k_{i\max}$ ;  $i = 1, 2, \dots, m$ .

В умовах випадковості вихідних даних ефективність технічного рішення підвищення якості електропостачання в ЛЕС оцінюється за результатами розрахунків вектора критеріїв, що утворюють низку випадкових значень кожного критерію, які, будучи зваженими за ймовірностями, дають щільність розподілу ймовірностей випадкової величини  $k_i$  у заданому інтервалі  $k_{i\min} \leq k_i \leq k_{i\max}$ . Таким чином, оцінка якості електропостачання в ЛЕС повинна проводитися з урахуванням оптимальності рівнів критеріїв складових якості електропостачання в ЛЕС.

Складність протікаючих електромагнітних процесів обумовлена структурою генерації (з використанням джерел РГ на базі НВДЕ) та електроспоживання (різноманітність електротехнічних установок) в ЛЕС визначає необхідність більш якісної та багатоаспектної оцінки процесів. Якість електропостачання в ЛЕС доцільно оцінювати інтегральним показником з урахуванням стійкості, надійності функціонування, а також якості електричної енергії.

### Список використаних джерел

1. Денисюк С.П. Оцінка ефективності сумісної роботи розосереджених джерел генерації електроенергії, включаючи відновлювальні, в електроенергетичних системах / Денисюк С.П., Базюк Т.М., Дерев'янка Д.Г., – Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – №3(80). – С.54–59.

2. Дерев'яно Д. Г., Аналіз особливостей забезпечення стійкості та надійності систем з інтеграцією джерел розосередженої генерації / Дерев'яно Д. Г., Суменко К.Ю., Процько В.Г. // Матеріали конференції «Енергетика. Екологія. Людина». – 2013. – С. 432–439.
3. CIGRE, International Council on Large Electricity Systems, <http://www.cigre.org>.
4. Zhuikov V., Petergerya J. Intellectual systems to control energy generation and consumption in local objects // Proceeding of 2-nd Conference “Power Electronic Devices Compatibility” PEDC–2001. – Poland. – Zielona Gora: Technical University Press. – P. 208–212.
5. Береговський В.З., Адаптивне енергоефективне керування перетворювачами електричної енергії з урахуванням режиму споживання / Береговський В.З., Петергеря Ю.С. – Техн. електродинаміка. Темат. випуск “Силова електроніка та енергоефективність”. –2001. – Ч.3. – С.27–29.
6. Відновлювальні джерела енергії у локальних об'єктах / Ю.І. Якименко, Є.І. Сокол, В.Я. Жуйков, Ю.С. Петергеря, О.Л. Іванін. – К.: ІВЦ „Політехніка”, 2001. – 114 с.
7. Ackerman T., Knyazkin V. Interaction between distributed generation and the distribution network // Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia Pacific IEEE/PES. – 2000. – Vol. 2. – P. 1357–1362.
8. Кириленко О.В., Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах / Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. – Техн. електродинаміка. – 2011. – №1. – С.46–53.
9. Wang S. Distributed generation and its effect on distribution network system // Electricity Distribution – Part 1. 20th International conference and exhibition on. – 2009. – P. 1–4.
10. Dolezal J., Sautarius P., Tlustý J. The effect of dispersed generation on power quality in distribution system // Quality and Security of Electric Power Delivery Systems.CIGRE/IEEE PES International Symposium. – 2003. – P. 204-207.
11. Esposito G., Golovanov N., Lazarioiu C., Zaninelli D. Impact of Embedded Generation on the Voltage Quality of Distribution Networks // Electrical Power Quality and Utilisation, EPQU. – 2007. – Vol. 3. – № 1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.leonardo-energy.org/webfm\\_send/1079](http://www.leonardo-energy.org/webfm_send/1079).
12. Дерев'яно Д. Г., Аналіз особливостей підключення розосередженої генерації при побудові систем Microgrid / Дерев'яно Д. Г., Попик М.Ю. // Матеріали конференції «Енергетика. Екологія. Людина». –2013. – С. 348–357.
13. Baggini A.V. Handbook of Power Quality // Chichester, England; Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. – 2008. – 642 p.
14. Вороб'єв С.Ю. Вопросы повышения надёжности работы энергосистем/ Вороб'єв С.Ю. – Энергетик. – №3. – 2006.
15. Дьяков А.Ф. Проблемы надёжности и безопасности электроснабжения потребителей / Дьяков А.Ф. – Энергетик. – №2

16. Томилов В.В., Управление качеством продукции энергосистем. / Томилов В.В., Голубкова Р.Р., Еловенко В.Г. – СПб.: Изд.-во СПбГУЭФ, 2000. С.30 – 31.

17. European standard EN 50160 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, CENELEC TC 8X, 2006. NRS-048-2, Electricity Supply – Quality of Supply Part 2: Voltage characteristics, compatibility levels, limits and assessment methods.

*Стаття надійшла до редакції 23.03.2015 р.*

УДК 550.34.01, 622.235.535

**В. А. Лемешко**, инж., **В. В. Бойко**, д.т.н., **А. А. Кузьменко**, к.т.н., **Д. В. Хлевнюк**, аспирант (Институт гидромеханики НАН Украины)

## **ДИСКРЕТИЗАЦИЯ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА ОТ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА СМ-3 ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ВЗРЫВА**

**V. A. Lemeshko, V. V. Boiko, A. A. Kuzmenko, D. V. Khlevniuk** (Institute of Hydromechanics of NAS Ukraine)

### **SAMPLING ANALOG SIGNAL FROM A SEISMIC RECEIVER SM-3 DURING THE INDUSTRIAL EXPLOSION**

*Досліджена дискретизація аналогового сигналу, який був отриманий від сейсмічного приймача СМ-3 при проведенні промислового вибуху. Показані результати фільтрації цього сигналу.*

**Ключові слова:** дискретизація, сейсмічний датчик, промисловий вибух, цифровий фільтр.

*Исследована дискретизация аналогового сигнала, полученного от сейсмического приемника СМ-3 при проведении промышленного взрыва. Показаны результаты фильтрации этого сигнала.*

**Ключевые слова:** дискретизация, сейсмический датчик, промышленный взрыв, цифровой фильтр.

*The discrete of analog signal from seismic sensor SM-3 in time of industrial explosion is investigated. The results of filter this signal is showed.*

**Keyword:** discrete of time, seismic sensor, industrial explosion, digital filter.

**Введение.** Плотная застройка территории Украины, большое количество карьеров и постоянное стремление к повышению мощности массовых взрывов – вот основные предпосылки работ по увеличению точности результатов сейсмических замеров, ибо по ним, в конечном итоге, рассчитываются