

**О.Б. Бурикін**  
**Ю.В. Малогулко**  
**Ю.В. Семенюк**

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ НА БАЗІ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID**

Вінницький національний технічний університет

*У статті розглядаються окремі питання забезпечення процесу автоматизації оптимального керування схемами видачі потужності фотовольтаїчними електричними станціями в локальних електричних системах із застосуванням підходів притаманних концепції Smart Grid.*

**Ключові слова:** оптимальне керування, відновлювані джерела енергії, локальна електрична система, сонячна електростанція, інвертор, Smart Grid технології.

### **Вступ**

Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні сприяє вирішенню ряду екологічних, енергетичних, соціальних та економічних проблем, що мають важливе суспільне значення. Основними засадами державної політики у сфері альтернативних джерел енергії, відповідно до закону України «Про альтернативні джерела енергії», є нарощування обсягів виробництва та споживання енергії, виробленої відповідними джерелами, з метою економного використання традиційних паливно-енергетичних ресурсів. Однак, зростання частки розосередженого генерування у розподільних електричних мережах ускладнює процес балансування електроенергії. На сьогоднішній день, активно розвиваються вітрові та фотовольтаїчні електростанції, які мають імовірнісний характер виробництва електроенергії. В умовах збільшення частки таких електростанцій в енергобалансі об'єднаної енергосистеми України, набуває особливої актуальності задача автоматизації оптимального керування виробництвом електроенергії ВДЕ, які входять до складу локальних електричних систем (ЛЕС).

Це можливо з використанням Smart Grid технології, які є одними з найбільш багатообіцяючих і актуальних енергозберігаючих технологій [1], що базуються на активному використанні ВДЕ, пристроях накопичення енергії; використанні цифрових пристроїв для тарифікації з урахуванням рівня споживання; обліку споживання в масштабі реального часу; моніторингу стану мережевого обладнання; а також на впровадженні інформаційних засобів керування генеруванням, передачею, розподілом та обліком споживання електроенергії [2].

Розвиток ЛЕС, підвищення вимог до надійності та якості електропостачання разом зі збільшенням частки ВДЕ в загальному енергобалансі електроенергетичних систем визначають необхідність подальшого вдосконалення способів та засобів керування такими джерелами в умовах поступового переходу до концепції інтелектуальних електричних мереж (Smart Grid).

### **Розосереджені джерела енергії, як об'єкт керування**

Реалізація оптимального керування вимагає розроблення відповідного математичного забезпечення. Найкращі результати можна отримати, застосовуючи автоматизовані системи керування (АСК), в основу законів керування яких покладено аналітичні умови оптимальності, отримані на підставі дослідження фізичних процесів об'єкту керування [3,4].

Розглядаючи розосереджені джерела електроенергії, як об'єкт керування, їх поділяють за ступенем впливу випадкових процесів навколишнього середовища на:

– відновлювані джерела з умовно-керованим генеруванням – використовують відновлювані ресурси, але процес генерування суттєво змінний у часі, оскільки визначається стохастичними впливами навколишнього середовища (вітрові електростанції (ВЕС), сонячні електростанції (СЕС));

– відновлювані джерела з керованим генеруванням – використовують відновлювані ресурси, а процес генерування може бути стабілізований протягом певних періодів часу, співмірних з тривалістю доби, за рахунок керувальних впливів не пов'язаних зі значними (більше

30%) втратами первинного енергоносія (малі гідроелектростанції (МГЕС), геотермальні, біогазові установки тощо);

– невідновлювані джерела з керованим генеруванням – використовують традиційне або суміжне паливо, але забезпечують керованість процесу генерування (когенераційні установки (КГУ), парогазові та газотурбінні установки (ПГУ, ГТУ) та ін.).

При забезпеченні ефективної роботи умовно-керованих ВДЕ, наприклад сонячних електростанцій, зазвичай враховують їх вплив на надійність електропостачання споживачів та якість електроенергії відпущеної споживачам. Для забезпечення стійкості ЛЕС у періоди максимального (мінімального) споживання, або обмеженої пропускної здатності централізованої системи електропостачання, коли варіювання параметрів локального генерування може призводити до порушення обмежень на параметри режиму ЕС, актуальною є оптимізація режимів ВДЕ (на інтервалі часу  $[t_0; t_k]$ ) керованих джерел енергії  $P_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  (наприклад МГЕС) з урахуванням режимів умовно-керованих джерел з метою мінімізації відхилень від заданого централізовано графіка сукупного генерування  $P_{ВДЕ}(t)$  за заданих обмежень на первинні енергоресурси та характеристик ВДЕ [5]:

$$\int_{t_0}^{t_k} \frac{1}{2} \left( P_{ВДЕ}(t) - \sum_{i=1}^n P_i(t) \right)^2 dt \rightarrow \min . \quad (1)$$

При цьому має враховуватись прогнозна інформація щодо метеопараметрів, яка надається відповідною підсистемою АСК й дозволяє достатньо адекватно відтворювати стани умовно-керованих ВДЕ на період до чотирьох діб. За рахунок цього умовно-керовані та нестабільні джерела енергії типу ВЕС та СЕС в цільових функціях та обмеженнях задач оптимального керування можна представити математичним сподіванням часових залежностей генерування  $M_{ВЕС}\{P(t)\}$ ,  $M_{СЕС}\{P(t)\}$ ,  $t \in [t_0; t_k]$  [2].

Оскільки СЕС мають ймовірнісний характер генерування, то така їх особливість ускладнює організацію оперативного керування режимами ЛЕС внаслідок неможливості дотримання умовно-керованими ВДЕ заданого графіка видачі потужності.

Для узгодження графіків генерування СЕС з локальним електроспоживанням в роботі запропоновано вдосконалити спосіб оперативного коригування схеми приєднання інверторів, тобто зміни схеми видачі потужності до ЕМ [6]. На відміну від [6], у пропонованій схемі виконується оперативне коригування схеми приєднання сонячних панелей на постійному струмі, за допомогою реверсивних DC контакторів, які оснащені спеціальною дугогасильною камерою (рис.1).

Для дотримання заявленого графіку видачі потужності СЕС на регульовану систему шин підключається необхідна кількість сонячних панелей відповідно до поданої заявки на даний період доби. Надлишок виробленої електроенергії видається на акумуляторну батарею через контролер заряду, який підключено до іншої системи шин (СШ).

Структурна схема сонячної електростанції, що подана на рис. 1, дозволить оперативно узгоджувати графіки видачі потужності на одній з систем шин з локальним навантаженням за рахунок автоматичного перерозподілу потужностей з виходів сонячних панелей між секціями шин постійного струму. Для цього використовується мікропроцесорний пристрій локальної САК та канал зв'язку з оперативно-інформаційним комплексом ЛЕС, за яким з бази даних зчитуються поточні значення оптимальної потужності ВДЕ.

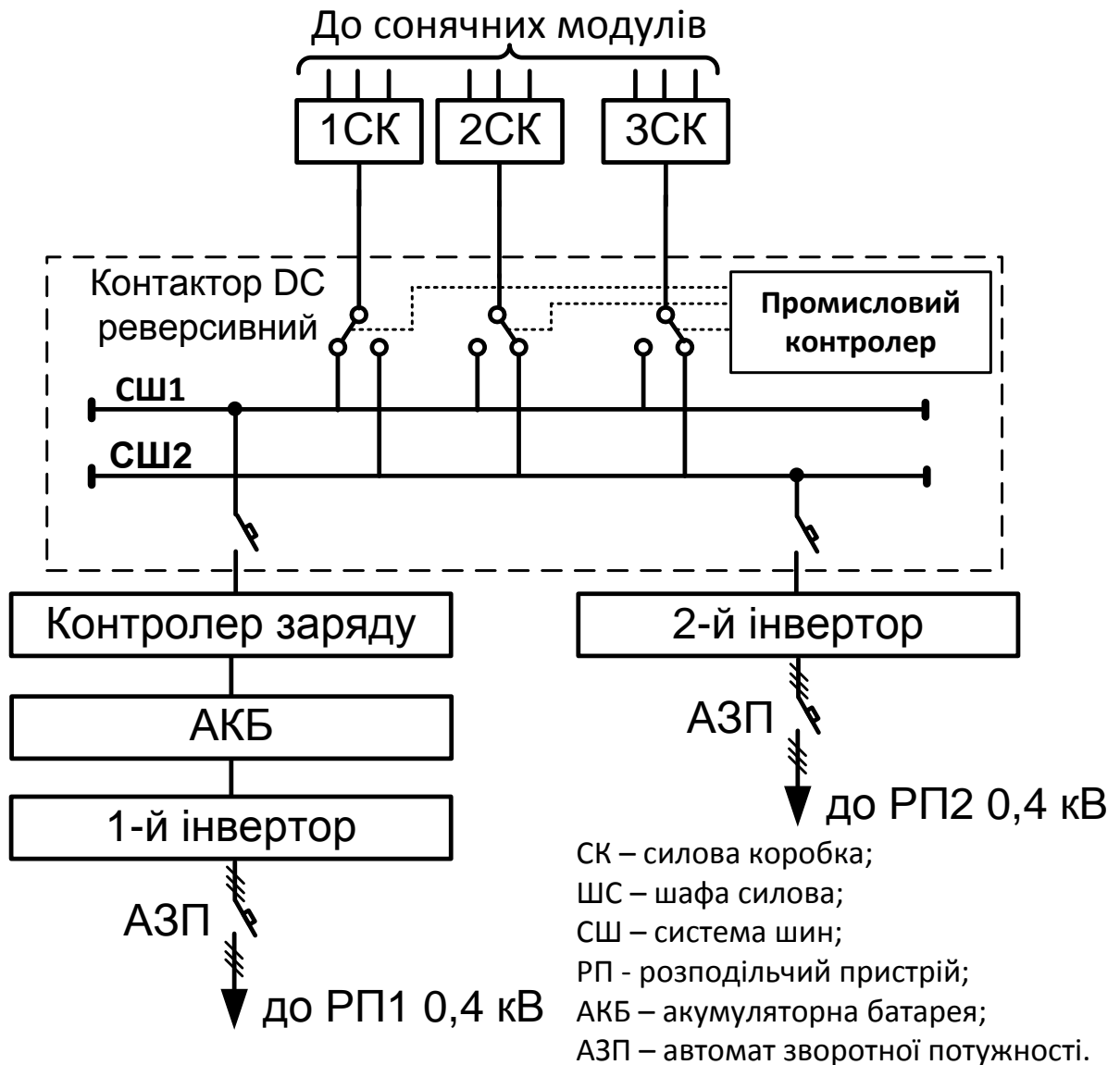


Рисунок 1 - Головна схема з'єднань сонячної електростанції з резервованою та керованою видачею потужності

За такої схеми приєднання електричної станції забезпечується можливість роботи одної секції шин у базовому режимі – відповідно до графіка місцевого електроспоживання. На другу секцію шин, зв'язану безпосередньо з акумуляторною батареєю, будуть видаватися надлишки електроенергії, генеровані сонячною станцією, які використовуються у разі недотримання заявленого графіку генерування.

Такий підхід дозволяє зменшити об'єм та вартість встановленої акумуляторної батареї без погіршення керованості та прибутковості СЕС.

З метою врахування просторової розподіленості об'єкта керування, обмеженої надійності каналів зв'язку між ними та диспетчерським центром, що є необхідною умовою для забезпечення можливості централізованого керування об'єктом у реальному часі для ЛЕС з ВДЕ, необхідно побудувати АСК з необхідним переліком функцій керування. Така АСК може бути побудована як централізована система оперативного керування з децентралізацією функцій реального часу за рахунок застосування локальних САК.

## Апаратна реалізація автоматизованої системи керування схемою видачі потужності відновлюваних джерел енергії в локальних електричних системах

Відповідно до запропонованого вдосконаленого способу узгодження графіків генерування СЕС з локальним електроспоживанням на рис. 2 показано особливості апаратної реалізації автоматизованої системи керування СЕС, де зображено взаємозв'язок підсистеми обміну інформацією розрахунково-диспетчерського центру ЛЕС та САК сонячною електростанцією.

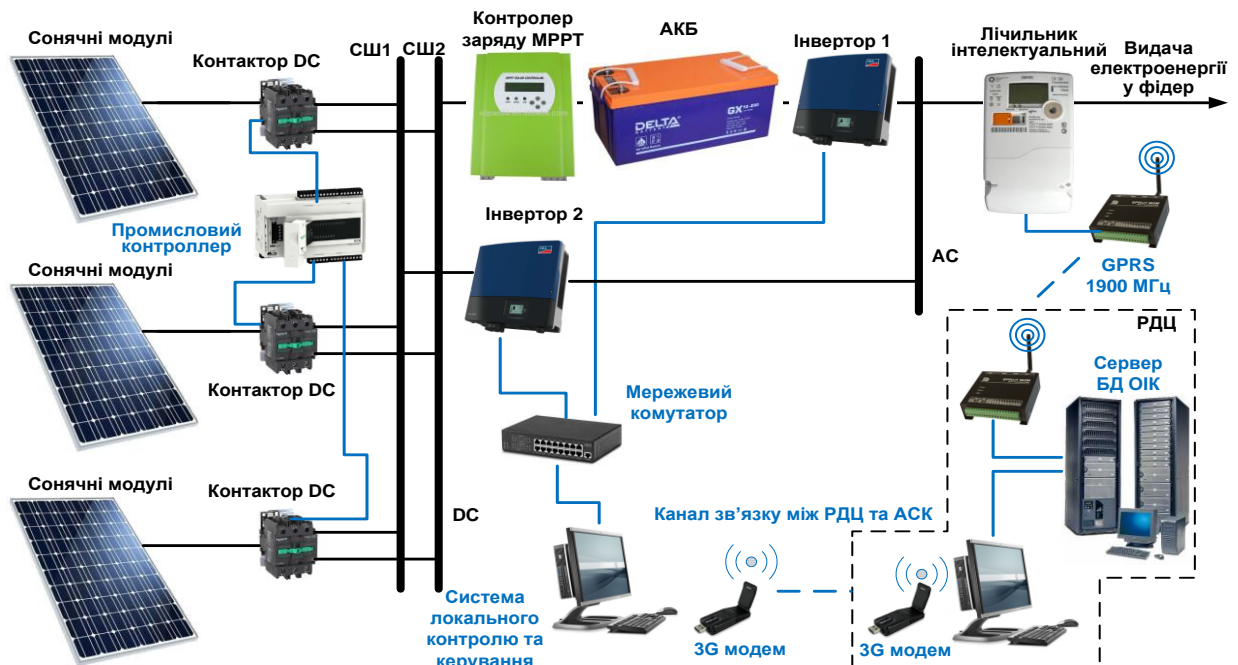


Рисунок 2 – Особливості апаратної реалізації АСК схемою видачі потужності ВДЕ

Використання наведеної апаратної реалізації АСК дозволить підвищити ефективність функціонування ЛЕС з ВДЕ шляхом вдосконалення існуючої системи засобів дискретного керування. Це, в свою чергу, призведе до покращення показників якості електроенергії та надасть можливість оперативного керування режимами роботи відновлюваних джерел енергії.

### Висновок

Таким чином, запропонований вдосконалений спосіб узгодження графіків генерування умовно-керованих ВДЕ з місцевим електроспоживанням дозволяє дотримуватись заявленого графіку видачі електричної енергії на регульованій системі шин, а також з акумуляторної батареї. Крім того, на відміну від традиційного підходу, встановлена ємність акумуляторної батареї може бути значно зменшена. Пропонована автоматизована система керування СЕС (рис. 2) базується на принципах функціонування Smart Grid, що полягають в значній інтеграції та автоматизації процесів генерування, передачі та споживання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стогній Б.С. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44–50.
2. Кулик В.В. Оптимальне керування розосередженими джерелами електроенергії з асинхронними генераторами засобами Smart Grid [Електронний ресурс] / В.В. Кулик, Т.С. Магас, Ю.В. Малогулко // Наукові праці ВНТУ. Енергетика та електротехніка. – 2011. – №4. – С. 1-6. Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/1404/999>. – ISSN 2307-5376.

3. Лежнюк П. Д. Особливості інформаційного забезпечення автоматизованої системи керування каскадами малих гідроелектростанцій / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія: І міжнарод. наук.-техн. конф.: тези доповіді. – Вінниця, ВНТУ. – 2010. – С. 41–42.

4. Лежнюк П. Д. Оптимальне керування розосередженими джерелами енергії в локальній електричній системі / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. А. Ковальчук // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. Ч. 1. – 2011. – С. 48–55. – ISSN 1727-9895.

5. Оптимізація схем приєднання розосереджених джерел електроенергії в локальній електричній системі / О.А. Ковальчук, В.В. Кулик, О.Б. Бурикін // Технічна електродинаміка. - 2012. - № 3. - С. 27-28.

6. Бурикін О.Б. Оптимальне керування відновлюваними джерелами електроенергії в локальних електричних системах [Текст] / О.Б. Бурикін, Ю.В. Томашевський, Ю.В. Малогулко, Н.В. Радзівська // Вісник Вінницького політехнічного університету. – 2016. – №4. – С. 69-74. – ISSN: 1997-9266.

Рекомендована кафедрою електричних станцій і систем

Стаття надійшла до редакції \_\_\_\_\_2017

**Бурикін Олександр Борисович** – к.т.н., доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет; e-mail: [mr.burykin@mail.ru](mailto:mr.burykin@mail.ru), тел. (0432) 59-83-77.

**Малогулко Юлія Володимирівна** – к.т.н., ст.в. кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [Juliya\\_Malogulko@ukr.net](mailto:Juliya_Malogulko@ukr.net), тел. (0432) 59-83-77.

**Семенюк Юрій Васильович** – студент, Вінницький національний технічний університет.

**O.B. Burykin**  
**Yu.V. Malohulko**  
**Yu.V. Semenuk**

## **AUTOMATION OF RENEWABLE ENERGY OPTIMAL CONTROL IN THE LOCAL ELECTRICAL SYSTEMS BASED ON THE CONCEPT OF SMART GRID**

Vinnitsa National Technical University

The paper have been reviewed some issues of maintenance of process the automation optimal control schemes issuing power of photovoltaic power plants in the local electrical systems using approaches inherent in the concept of Smart Grid.

**Keywords:** optimal control, renewable energy, local electrical system, solar power inverter, Smart Grid technology.

**Burykin Oleksandr**– Ph.D, assistant professor of power plants and systems department, e-mail: [mr.burykin@mail.ru](mailto:mr.burykin@mail.ru), tel. (0432) 59-83-77.

**Malohulko Yuliia**– Ph.D, senior lecturer of power plants and systems department, e-mail: [Juliya\\_Malogulko@ukr.net](mailto:Juliya_Malogulko@ukr.net), tel. (0432) 59-83-77.

**Semenuk Yurii** – student.

**О.Б. Бурыкин**  
**Ю.В. Малогулко**  
**Ю.В. Семенюк**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЛОКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID**

Винницкий национальный технический университет

В статье рассматриваются отдельные вопросы обеспечения процесса автоматизации оптимального управления схемами выдачи мощности фотовольтаических электрических станций в локальных электрических системах с применением подходов присущих концепции Smart Grid.

**Ключевые слова:** оптимальное управление, возобновляемые источники энергии, локальная электрическая система, солнечная электростанция, инвертор, Smart Grid технологии.

**Бурыкин Александр Борисович** – к.т.н., доцент кафедры электрических станций и систем, e-mail: [mr.burykin@mail.ru](mailto:mr.burykin@mail.ru), тел. (0432) 59-83-77.

*Малогулко Юлия Владимировна* – к.т.н., ст. преп. кафедры электрических станций и систем, e-mail: [Juliya\\_Malogulko@ukr.net](mailto:Juliya_Malogulko@ukr.net), тел. (0432) 59-83-77.

*Семенюк Юрий Васильевич* – студент Винницкого национального технического университета.