

## ВИБІР СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ

Сабірзянов Т. Г., Плешков П. Г., Кубкін М. В., Солдатенко В. П.

*Кіровоградський національний технічний університет*

*Розроблено методику побудови енергосистеми з відновлювальними джерелами на основі математичного моделювання режимів роботи в HOMER ENERGY.*

**Постановка проблеми.** Національною енергетичною стратегією України до 2030 року передбачено значне збільшення частки відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в енергетичному балансі країни.

Впровадження відновлювальних джерел можливо здійснювати притримуючись трьох стратегій – системної, автономної та комбінованої.

Системна стратегія передбачає широке впровадження крупних проєктів з ВДЕ – баштових сонячних електростанцій, системних вітроелектростанцій, потужних ТЕС на геотермальній воді, електростанцій районного значення на біомасі, тощо. Для реалізації таких проєктів необхідно залучати значні кошти, відчувати відносно великі території землі (внаслідок малої концентрації потоків енергії), і взагалі, їх побудова можлива не будь-де, а лише в особливих місцях з підвищеною питомою густиною ресурсів відновлюваної енергетики.

Автономна стратегія передбачає розробку комплексів для живлення окремих об'єктів, як правило малої потужності. Проте, при автономному електропостачанні дається взнаки істотної сезонної нерівномірності потоків первинної енергії. Відтак доводиться завищувати встановлену потужність енергоустановок і використовувати акумулятори електричної або теплової енергії. Це істотно впливає на вартісні та надійнісні показники системи електропостачання.

Очевидно, що компенсувати більшість вищезгаданих недоліків можна, якщо використовувати установки на ВДЕ у поєднанні із звичайним (традиційним) способом електропостачання. При цьому ВДЕ будуть замінювати певну частину традиційної енергії. Комбінована стратегія передбачає широке (в розумні кількості установок) впровадження дрібних та середніх проєктів. Такі проєкти можна застосувати для побутових споживачів (приватні і багатоквартирні будинки), соціальних та адміністративних об'єктів (дитячі садки, навчальні та лікувальні заклади, офіси), підприємств агропромислового виробництва (фермерські господарства, тваринницькі ферми і комплекси, підприємства по переробці агропромислової продукції, дрібні та середні населені пункти).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний вклад у розробку подібних систем внесли українські вчені – Г.І. Денисенко, Б.Х. Драганов, С.О. Кудря, С.П. Денисюк, Р.В. Жесан, С.П. Плешков, В.В. Каплун.

З метою енергозабезпечення дрібних та середніх об'єктів можна використовувати наступні відновлювальні джерела та технології (установки):

- вітрові установки для виробництва електричної енергії або механічної енергії;
- сонячні установки для гарячого водопостачання

і опалення;

- фотоелектричні панелі для виробництва електричної енергії;
- гідроелектростанції малої потужності;
- гарячу воду геотермальних джерел для підігріву води на опалення і водопостачання;
- теплові трансформатори (насоси) для опалення, гарячого водопостачання, кондиціонування повітря;
- дизель- і бензинові генератори на біопаливі;
- котлоагрегати малої і середньої потужності для опалення і гарячого водопостачання;
- паливні комірочки для виробництва електричної енергії;
- виробництво біогазу (та мінеральних добрив, як супутнього товару) із відходів тваринницьких ферм і переробних підприємств;

Із викладеного вище очевидно, що один і той же об'єкт електропостачання можна забезпечити енергією від різних джерел. І зовсім не очевидно яким установкам віддати перевагу. Тобто постає проблема оптимального вибору якісного (види технологій) та кількісного (потужність установок) складу системи електрозабезпечення. Подолати дану складність можна розробкою загальної методики побудови таких систем і використанням відповідних технічних засобів для полегшення розрахунків і аналізу результатів вибору обладнання.

**Мета статті** – розробка методики вибору оптимального варіанта електропостачання з відновлювальними джерелами енергії.

**Основні матеріали дослідження.** В [1] представлено стадії аналізу проєкту електропостачання.

Спочатку проводиться збір інформації про:

- об'єкт електропостачання, а саме потребу в електричній і тепловій енергії за день, місяць, рік, вид необхідної енергії та її якість, допустимий час перерви електропостачання, необхідна потужність резервного джерела живлення;
- традиційні джерела енергії, а саме технічна можливість під'єднання до електричної або газової мережі, допустимий об'єм енергоспоживання та штрафи за перевищення, вартість енергоносія;
- наявні відновлювані джерела, які технічно можливо використати і які володіють достатньою інтенсивністю;
- доступні установки для перетворення енергії сонця, вітру і ін. в електричну і теплову енергію.

Далі відбувається синтез можливих систем електропостачання, які відрізняються наявністю або відсутністю установок певного виду, а також їх потужністю.

Кінцевою метою розрахунку є вибір системи такого складу, яка б задовольняла певним вимогам. Вимоги можуть мати економічне, технічне або екологічне

не підгрунтя або поєднувати ці показники з певними ваговими коефіцієнтами.

Окремо слід приділити увагу чутливості кінцевого результату до певних змін у потребі енергії споживача, вартості традиційного палива або інтенсивності потоку енергії відновлювальних джерел.

Проведемо вибір системи електропостачання великого котеджу в Кіровоградській області. Об'єкт знаходиться в сільській місцевості, відстань до звичайної мережі електропостачання складає 17 км. Географічні координати місця знаходження - 48°30' північної широти та 32°18' східної довготи.

Середня потужність навантаження по годинах: 0-8 год – 2 кВт, 8-10 год – 10 кВт, 10-18 год – 5 кВт, 18-20 год – 10 кВт, 20-22 год – 5 кВт, 22-24 год – 2 кВт.

Для електропостачання пропонується встановлення наступного обладнання: бензинового генератора, сонячних монокристалічних електричних панелей, вітрового генератора, акумуляторних батарей та інвертора-випрямляча.

Бензиновий генератор HONDA ECT7000 має потужність 6,5 кВА, витрату палива при номінальному навантаженні 2 л/год, вартість – 2000 \$ [2].

Сонячні панелі MSP 80 W потужністю 80 Вт при стандартних умовах (інтенсивність випромінювання 1000 Вт/м<sup>2</sup>), вартість 3000 \$ за 1 кВт [3].

Вітровий генератор GE S-1000 вартістю 2000 \$ разом з мачтою. Вартість заміни самого генератора складає 1500 \$. Електрична потужність вітрогенератора залежить від швидкості вітру наступним чином: 3 м/с – 70 Вт, 4 м/с – 168 Вт, 5 м/с – 240 Вт, 6 м/с – 343 Вт, 7 м/с – 490 Вт, 8 м/с – 700 Вт, 9 м/с – 1000 Вт, 10 м/с – 1140 Вт, 11 м/с – 1300 Вт, 12 м/с – 1482 Вт, 13 м/с – 948 Вт, 14 м/с – 759 Вт, 15 м/с – 607 Вт, 16 м/с – 485 Вт, 17 м/с – 370 Вт, 18 м/с – 185 Вт, 19 м/с – 93 Вт, 20 м/с – 50 Вт [4].

Акумуляторні батареї типу AGM (не обслуговувані, із зв'язаним електролітом) 200 А·год., 12 В, вартість батареї та її заміни складає 430 \$.

Перетворювач (конвертор) вважаємо загальним для перетворення постійного струму вітрогенератора і сонячної батареї у змінний струм. Вважаємо також, що він здатний працювати і у зворотному напрямку – перетворювати змінний струм бензинового генератора у постійний струм для заряду батареї. Питома вартість конвертора складає 225 \$ за 1 кВт встановленої потужності.

У якості альтернативи електропостачання розглядається варіант спорудження лінії електропередачі із питомою вартістю 8000 \$/км.

У першому наближенні вартістю проектних робіт і монтажу нехтуємо.

З допомогою програми HOMER ENERGY виконуємо розрахунок варіантів електропостачання котеджу від комбінованої системи та порівнюємо його із випадком спорудження лінії електропередачі.

Для цього вводимо технічні дані про обладнання та його питому вартість (на одиницю потужності). Програма надає можливість апроксимувати значення введених потужностей та відповідну ціну установок. Таким чином є можливість дискретно варіювати потужність установок у певному діапазоні:

- бензиновий генератор 0 – 10 кВт з кроком 2 кВт;

- вітровий генератор 0 – 20 кВт з кроком 2 кВт;
- сонячна панель 0 – 20 кВт з кроком 2 кВт;
- інвертор 0 – 10 кВт з кроком 2 кВт;
- акумуляторна батарея 25 – 200 шт. з кроком 25 шт.

Додатково необхідно задати дані про сонячне випромінювання, вітровий режим та ціну палива для генератора.

Ціну на паливо приймаємо у розмірі 1,25 \$/л.

Середні швидкості вітру (по місяцях року) в умовах Кіровограда наступні: 1 – 5,280 м/с, 2 – 5,440 м/с, 3 – 5,350 м/с, 4 – 4,690 м/с, 5 – 4,560 м/с, 6 – 4,020 м/с, 7 – 3,580 м/с, 8 – 3,710 м/с, 9 – 3,960 м/с, 10 – 3,920 м/с, 11 – 4,560 м/с, 12 – 4,610 м/с [5].

Дані про сонячне випромінювання можливо використати із [5]. При цьому середня потужність сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню за координатами об'єкту складає помісячно: 1 – 1,2 Вт/м<sup>2</sup>, 2 – 1,95 Вт/м<sup>2</sup>, 3 – 2,96 Вт/м<sup>2</sup>, 4 – 4,07 Вт/м<sup>2</sup>, 5 – 5,47 Вт/м<sup>2</sup>, 6 – 5,49 Вт/м<sup>2</sup>, 7 – 5,57 Вт/м<sup>2</sup>, 8 – 4,92 Вт/м<sup>2</sup>, 9 – 3,57 Вт/м<sup>2</sup>, 10 – 2,24 Вт/м<sup>2</sup>, 11 – 1,15 Вт/м<sup>2</sup>, 12 – 0,96 Вт/м<sup>2</sup>.

При розрахунку прийемо ставку дисконтування у розмірі 15%, а термін експлуатації проекту – 25 років.

Створена модель для аналізу у HOMER ENERGY має вигляд рис. 1.

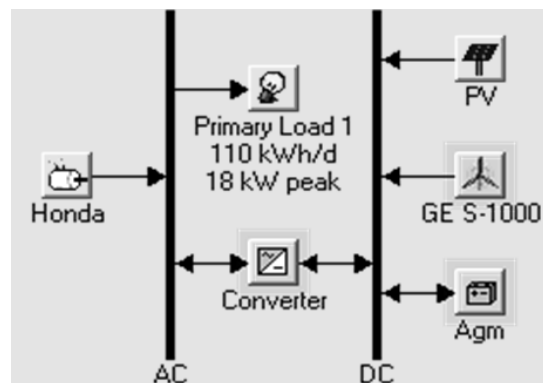


Рисунок 1 - Модель комбінованої енергосистеми в HOMER ENERGY

Після моделювання роботи системи та порівняння усіх можливих варіантів складу отримаємо варіанти систем електропостачання, які найбільш вигідні у своїх категоріях - табл. 1. Показники варіантів приведені у табл. 2.

Таблиця 1 - Категорії систем електропостачання та їх показники

№	Встановлена потужність*, кВт				АКБ, шт
	ФБ	ВГ	ДВЗ	ІНВ	
1	8	12	6	8	50
2	-	12	8	6	50
3	8	-	6	8	75
4	-	-	8	6	75
5	14	20	10	10	-

\*ФБ – фотобатарея, ВГ – вітрогенератор, ДВЗ - двигун внутрішнього згоряння, ІНВ- інвертор, АКБ – акумуляторна батарея

Як видно з табл. 2, найменша дисконтована вартість у варіанті №1, тому його і слід приймати до подальшого розгляду.

На рис. 2 приведений графік, де порівнюється дисконтовані вартості комбінованої системи енергопостачання і будівництва лінії електропередачі від традиційної енергосистеми. З рис. 2 видно, що при необхідності будівництва лінії довжиною 15,8 км два варіанти електропостачання зрівнюються по приведеній вартості.

Таблиця 2 - Техніко-економічні показники варіантів електропостачання

№	Кап. вклад., \$	Витрати, \$/рік	Дисконтована вартість, \$	Собівартість, \$/кВт·год	Коефіцієнт. заміщ., %	Витрата палива, л	Час роботи генератора, ГОД.
1	73 146	14 731	168 372	0,65	51	8 102	4 205
2	49 312	18 632	169 753	0,656	34	11 299	4 821
3	59 896	21 248	197 249	0,762	12	14 453	7 476
4	36 062	26 321	206 201	0,797	0	18 496	7 839
5	87 327	20 991	223 018	0,867	43	11 845	5 989

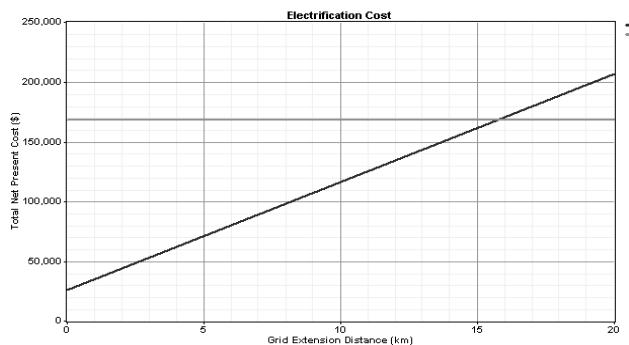


Рисунок 2 - Приведена вартість комбінованої системи енергопостачання (похила пряма) та будівництва лінії електропередачі (горизонтальна пряма)

Оцінимо, як буде впливати на якісний склад системи середньорічна швидкість вітру і вартість палива. Для цього проведемо аналіз чутливості до зміни цих параметрів. Задамо варіації наступних величин:

- середня швидкість вітру 3 – 5 м/с з кроком 0,5 м/с;
- вартість палива 1 – 1,5 \$/л з кроком 0,25 \$/л.

В результаті аналізу отримано діаграму (рис. 3.)

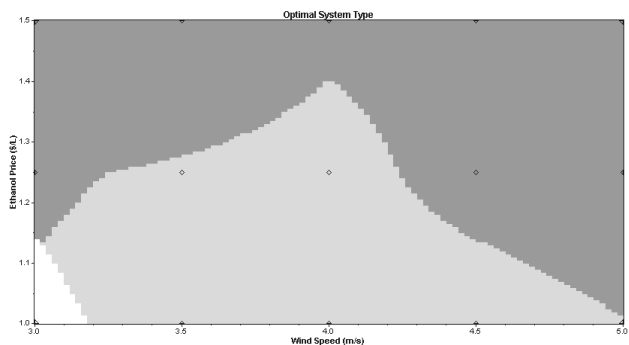


Рисунок 3 - Діаграма чутливості складу енергосистеми до вхідних параметрів

На останній можна виділити три області, які відповідають різному якісному складу системи енергопостачання в залежності від середньої середньо-кубічної швидкості вітру і вартості палива для генератора:

- верхня область – ВГ, ФБ, ДВЗ, АКБ;
- середня область – ВГ, ДВЗ, АКБ;
- нижня область (зліва у куті) – ФБ, ДВЗ, АКБ.

Таким чином, застосування комбінованих енергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії в певних умовах дає економічний ефект. Цей ефект залежить в першу чергу від кон'юнктури на енергетичному ринку: динаміки тарифу на електричну енергію, вартість обладнання відновлюваної енергетики та ін. і, що дуже важливо, може істотно змінюватись.

**Висновки.** Використання прикладного програмного забезпечення дозволяє не лише визначити показники різних варіантів комбінованого енергопостачання, але і дослідити вплив вхідних змінних на структурний склад та показники систем.

#### Список використаних джерел

1. Стець П. Г., Плешков П. Г., Солдатенко В.П., Котиш А. І., Кубкін М. В. Побудова структури автономних систем електропостачання з різномірними відновлювальними джерелами енергії із застосуванням HOMER ENERGY. // Матеріали VII Международной научно-технической конференции молодых ученых по проблемам энергосбережения и механизации в горно-металургическом комплексе. – Кривий Ріг: Издательский центр Криворожского технического университета, 2011 – С.147-153.

2. [www.autonomenergo.com.ua](http://www.autonomenergo.com.ua)
3. [www.solnechnie-batarei.com.ua](http://www.solnechnie-batarei.com.ua)
4. [www.vetrogenerator.org.ua](http://www.vetrogenerator.org.ua)

5. Справочник по климату СССР. Выпуск 10. Украинская ССР. Часть III. Ветер. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1967. – 690 с.

#### Аннотация

#### ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

Сабирзянов Т. Г., Плешков П. Г., Кубкин М. В., Солдатенко В. П.

*Разработана методика построения энергосистемы с возобновляемыми источниками на основе математического моделирования режимов работы в HOMER ENERGY.*

#### Abstract

#### CHOICE OF POWER SUPPLY WITH RENEWABLE SOURCES

T. Sabiryanov, P. Pleshkov, M. Kubkin, V. Soldatenko

*The method of construction of grid is developed with renewable sources on the basis of mathematical design of office hours in HOMER ENERGY.*