

Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р техн.наук, М.В. Кубкін, асист., В.П. Солдатенко, асист.
Кіровоградський національний технічний університет

Методика вибору структури і складу систем електропостачання з відновлювальними джерелами

В статті проаналізована методика побудови енергосистем з відновлюваними джерелами енергії **аналіз чутливості, вітровий генератор, комбінована система енергопостачання, сонячна установка, чиста приведена вартість, собівартість**

Національною енергетичною стратегією України [Стратегія] до 2030 року передбачено значне збільшення частки відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в енергетичному балансі країни. Основними напрямками подальшого розвитку відновлюваної енергетики є використання енергії вітру, сонця, малих річок, геотермальної енергії, енергії доквілля (застосування теплових трансформаторів) та біомаси.

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

Системна стратегія передбачає широке впровадження крупних проектів з ВДЕ – баштових сонячних електростанцій, системних вітроелектростанцій, потужних ТЕС на геотермальній воді, електростанцій районного значення на біомасі (солоні), тощо. Для реалізації таких проектів необхідно залучати значні кошти, відчужувати відносно великі території землі (із-за 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 істотно дається взнаки сезонна нерівномірність потоків первинної енергії. Відтак доводиться завищувати установлену потужність енергоустановок і використовувати акумулятори електричної або теплової енергії. Це істотно впливає на вартісні та надійнісні показники системи енергопостачання.

Очевидно, що компенсувати більшість вищезгаданих недоліків можна, якщо використовувати установки на ВДЕ у поєднанні із звичайним (традиційним) способом енергопостачання. При цьому ВДЕ будуть заміщувати певну частину традиційної енергії. Комбінована стратегія передбачає широке (в розумінні кількості установок) впровадження дрібних та середніх проектів. Такі проекти 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).

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

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

- вітрові установки для виробництва електричної енергії (високої або низької якості) або механічної енергії (подрібнення кормів, викачування води);
- сонячні установки для гарячого водопостачання і опалення;
- фотоелектричні панелі для виробництва електричної енергії;
- гідроелектростанції малої потужності (для гірських річок);
- гарячу воду геотермальних джерел для підігріву води на опалення і водопостачання;
- теплові трансформатори (насоси) для опалення, гарячого водопостачання, кондиціонування повітря;
- резервні 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 енергопостачання 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 енергозабезпечення. Подолати дану складність можна розробкою загальної методики побудови таких систем і використанням відповідних технічних засобів для полегшення розрахунків і аналізу результатів вибору обладнання.

Метою даної статті є аналіз методики вибору оптимального варіанта енергопостачання.

На рис. 1 умовно представлено стадії аналізу проекту енергопостачання.

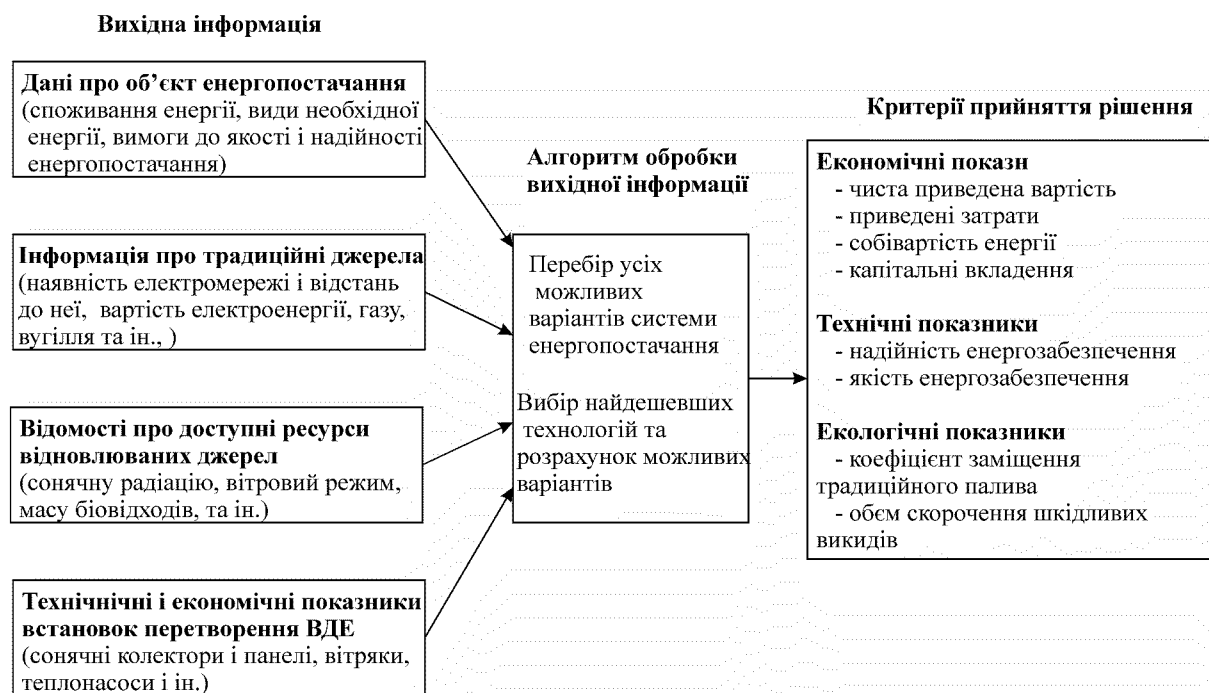


Рисунок 1 – Стадії аналізу проекту енергопостачання

На першому етапі відбувається збір інформації про:

- об'єкт енергопостачання, 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 енергопостачання, 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 підґрунтя 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 відновлювального джерела.

Проведемо вибір системи електропостачання невеликого 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 монокристалічні панелі MSP 80 W потужністю 80 Вт при стандартних умовах (інтенсивність випромінювання 1000 Вт/м²), 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 струму 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 для кожного місяця 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 [6]. При цьому середня потужність сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню за координатами об'єкту складає помісячно: 1 – 1,2 Вт/м², 2 – 1,95 Вт/м², 3 – 2,96 Вт/м², 4 – 4,07 Вт/м², 5 – 5,47 Вт/м², 6 – 5,49 Вт/м², 7 – 5,57 Вт/м², 8 – 4,92 Вт/м², 9 – 3,57 Вт/м², 10 – 2,24 Вт/м², 11 – 1,15 Вт/м², 12 – 0,96 Вт/м².

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

Створена модель для аналізу у HOMER ENERGY має вигляд рис.2.

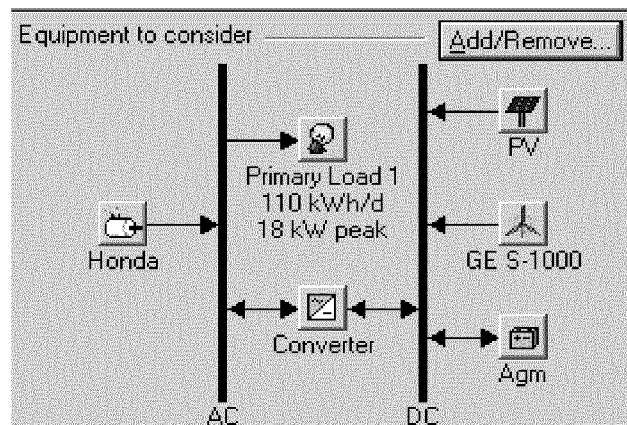


Рисунок 2 - Модель комбінованої енергосистеми в HOMER ENERGY

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.

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

На рис.3 приведений графік, де порівнюється дисконтовані вартості комбінованої системи енергопостачання і будівництва лінії електропередачі від традиційної енергосистеми. З рис.3 видно, що при необхідності будівництва лінії довжиною 15,8 км два варіанти електропостачання зрівнюються по приведеній вартості.

Оцінимо, як буде впливати на якісний склад системи середньорічна швидкість вітру і вартість палива. Для цього проведемо аналіз чутливості до 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 отримаємо діаграму рис.5.

Таблиця 1 - Категорії систем електропостачання та їх показники

№	Встановлена потужність, кВт	Кількість батарей
---	-----------------------------	-------------------

	фотобатареї	вітрогенератора	генератора	конвертора	
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	-

Таблиця 2 - Техніко-економічні показники варіантів електропостачання

№	Кап. вклад., \$	Поточні витрати, \$/рік	Дисконтована вартість, \$	Собівартість, \$/кВт·год	Коеф. заміщ., %	Витрата палива, л	Час роботи генер., год.
1	73146	14731	168372	0,65	51	8102	4205
2	49312	18632	169753	0,656	34	11299	4821
3	59896	21248	197249	0,762	12	14453	7476
4	36062	26321	206201	0,797	0	18496	7839
5	87327	20991	223018	0,867	43	11845	5989

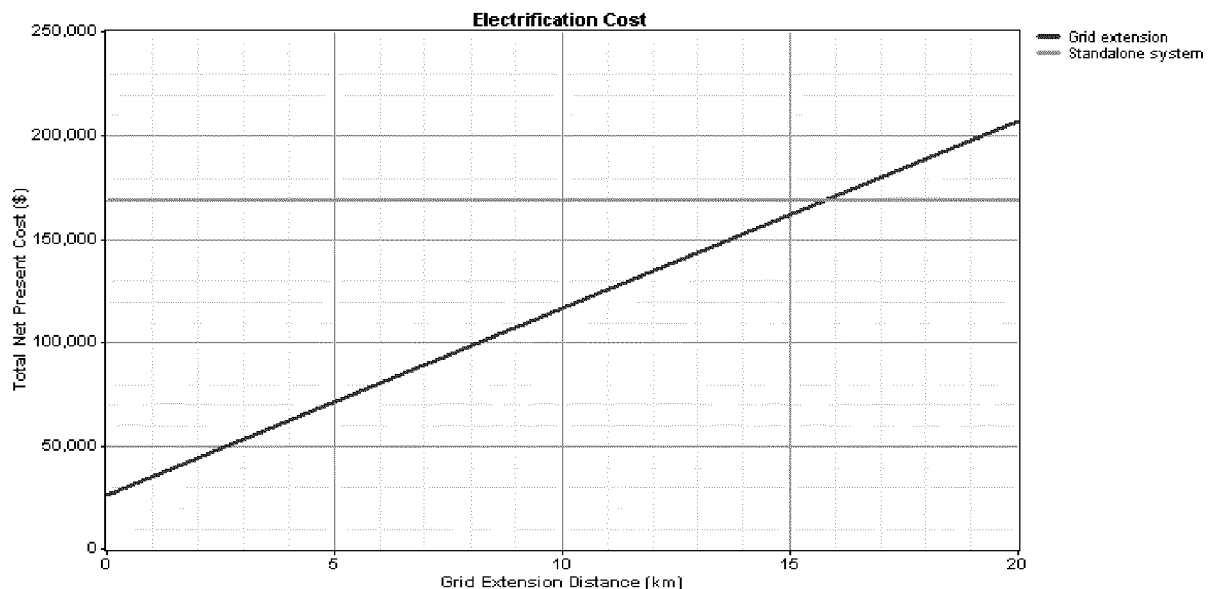


Рисунок 3 - Приведена вартість комбінованої системи енергопостачання (пряма лінія) та будівництва лінії електропередачі (похила лінія)

На рис. 4 видно три області, які відповідають різному якісному складу систем енергопостачання в залежності від середньої середньо-кубічної швидкості вітру і вартості палива для генератора:

- верхня область – вітрогенератор, фотоустановка, бензогенератор, батарея;
- середня область – вітрогенератор, бензогенератор, батарея;
- нижня область (зліва у куті) – фотоустановка, бензогенератор, батареї.

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.

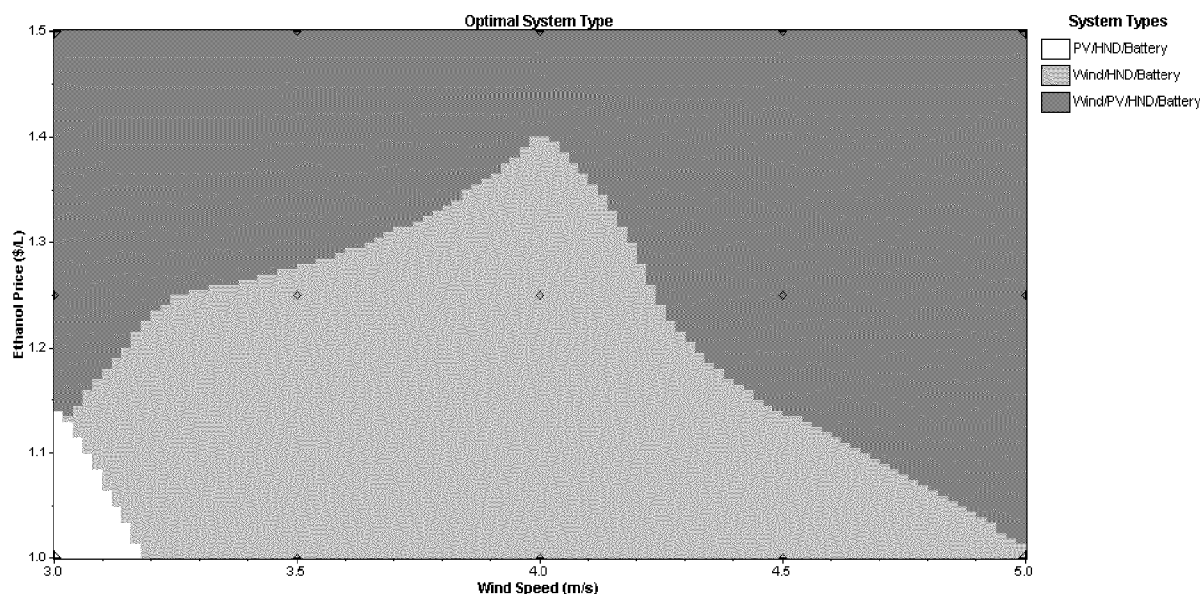


Рисунок 4 - Діаграма чутливості складу енергосистеми до вхідних параметрів

Для аналізу доцільності побудови таких систем необхідно володіти методикою вибору оптимального якісного і кількісного складу енергосистем керуючись економічними, технічними, екологічними показниками або із комбінацією. 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 літератури

1. Національна енергетична програма України. Затверджена Верховною Радою України 15 травня 1996 року №191/96-ВВ
2. www.vetrogenerator.org.ua
3. www.solnechnie-batarei.com.ua
4. www.autonomenergo.com.ua
5. Справочник по климату СССР. Выпуск 10. Украинская ССР. Часть III. Ветер. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1967. – 690 с.
6. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

T. Sabirzanov, M. Kubkin, V. Soldatenko

Методика выбора структуры и состава системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии

В статье проанализирована методика построения энергосистем с возобновляемыми источниками энергии.

T. Sabirzanov, M. Kubkin, V. Soldatenko

Technique of a choice of structure and structure of system of an electrical supply with renewed energy sources

In article the technique of construction of power supply systems with renewed energy sources is analyzed.

Одержано 04.04.11