

УДК.621.331

М. С. ПАСТУШЕНКО, асистент.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ, e-mail: ms\_estimate@gmail.ru

## ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ

*В статті розглянуто можливість використання сонячної та вітрової енергії для тягових підстанцій при різних схемах підключення та особливості їх генерації.*

*У статті розглянуто можливість використання сонячної та вітрової енергетики для тягових підстанцій при різних схемах підключень та особливості їх генерації.*

### Вступ

У зв'язку з важкою екологічною ситуацією, необхідністю охорони довкілля та складною енергетичною політикою у світі, все більше уваги приділяється відновлювальним джерелам електричної енергії.

Розвиток відновлювальних джерел, як нового перспективного напрямку економіки, потребує державного регулювання та управління; у початковий період свого розвитку – фінансової підтримки та зменшення податкових ставок. У багатьох країнах зараз відбувається вирівнювання вартості енергії традиційних та альтернативних джерел, насамперед у зв'язку з посиленням екологічних вимог та збільшенням вартості енергії традиційних електричних станцій (особливо вугільних), а вартість устаткування для джерел поновлювальної енергетики також безперервно знижується за рахунок технологічного вдосконалення.

Україна також не стоїть на місці і за останні декілька років домоглася значного прогресу у розвитку джерел альтернативної електричної енергії, зокрема сонячних (СЕС) та вітрових (ВЕС) електростанцій. Одним з рушійних чинників стало створення Зеленого тарифу на генеровану альтернативними джерелами електричну енергію.

Хоча певні проблеми для компаній, задіяних у сонячній енергетиці, може створити «місцева» складова. Суть її полягає у тому, що з 1 січня 2013 року, щоб отримати Зелений тариф щодо електрики, генерованої з використанням сонячного випромінювання, повинні використовуватися сонячні модулі з часткою сировини українського походження у витратах на виробництво не менше 30 %, а з 1 січня 2014–50 %.

### Застосування сонячної енергії

У зв'язку зі стрімким розвитком відновлювальних джерел електроенергії на теренах України, збільшенням кількості постачальників, зміною умов надання послуг з електропостачання постає питання про можливість застосування цього виду енергії для залізничного транспорту. Навіть попередній аналіз можливості впровадження альтернативної енергетики має два напрями розвитку: перший – це використання енергії для споживачів власних потреб (напрямку), другий – живлення системи тягового навантаження та районних споживачів з видачею генерованої електричної енергії в Єдину енергетичну систему.

Найбільш перспективною є сонячна енергія, бо саме цей сектор є найбільш швидко зростаючим. За оцінками експертів, світовий ринок сонячних елементів щорічно збільшується більш ніж на 30 %.

Сонячна енергія доступна в кожному кутку нашої планети, розрізняючись по щільності потоку випромінювання не більше ніж удвічі. Звідси, вона приваблива для всіх країн, відповідаючи їх інтересам в плані енергетичної незалежності. По-друге, сонячна енергія – це екологічно чисте джерело, що дозволяє використовувати його у все зростаючих масштабах без негативного впливу на навколишнє середовище.

За останні 2,5 роки в нашій країні були збудовані і введені в експлуатацію більш

ніж 20 СЕС загальною потужністю більш ніж 250 МВА. До найбільш значимих проектів, які були реалізовані за цей час, можна віднести сонячну електростанцію «Перово» в с. Перово Сімферопольського району загальною потужністю 100 МВА; сонячну електростанцію в с. Охотникове Сакського району, в с. Родниково Сімферопольського району потужністю 7,5 МВА в автономній республіці Крим та СЕС в с. Слобода-Бушанська потужністю 0,6 МВА у Вінницькій області.

Щодо найбільш потужної на сьогодні СЕС, що знаходиться на території України, «Перово», то вона складається з 440 000 кристалічних сонячних фотоелектричних модулів, з'єднаних 1500 км кабелю і встановлена на площі, більше 200 Га (охоплює більш ніж 259 футбольних полів). Вона здатна генерувати 132 500 МВт-год чистої електроенергії на рік. Станція дозволяє скоротити викиди CO<sup>2</sup> на 105 тисяч тон на рік.

З технічної точки зору переваги СЕС полягають у відсутності необхідності використовувати яке-небудь паливо, рухомі частини, що зношуються, проведення трудомісткого технічного обслуговування для підтримки системи в працездатному стані. Значною перевагою є їх модульність, що дає можливість швидкого монтажу в місцях експлуатації, відсутність експлуатаційного шуму і джерел шкідливих викидів.

Для районів України та характерному для нашої широти розсіяному світлі, модулі на основі аморфного кремнію мають більшу ефективність, ніж модулі на основі моно- та полікристалічного кремнію. Цей факт підтверджено дослідженнями провідних закордонних компаній. Але більш висока вартість модулів із аморфного кремнію поки що робить їх неконкурентоспроможними на українському ринку [2].

Встановлювати їх доцільно на відкритій місцевості, де сонячне світло не будуть перебивати дерева та будівлі. Також для ефективного використання слід визначити найбільш оптимальний кут нахилу та відстань між батареями. Наприклад, для Дніпропетровської області доцільно встановлювати фотоелектричні модулі під кутом нахилу до обрію 45 °.

Для прикладу візьмемо тягову підстанцію постійного струму, споживана електроенергія власних потреб якої складає 135114 кВт•год на рік. Для літнього періоду власні потреби складають 6143 кВт•год за місяць, тобто це 8,532 кВт в день.

Виконаємо розрахунок для визначення кількості фотобатарей для можливості живлення власних потреб.

Вибираємо фотоелектричний перетворювач марки DGE-SP120-W, який має невисоку вартість та високий ККД гальванічного елемента.

Основні паспортні данні вибраного модулю:

Характеристика	Позначення	Величина
<b>Електричні характеристики</b>		
Максимальна потужність	$P_{max}$	120 Вт
Максимальна напруга	$U_{max}$	16,19 В
Максимальний струм	$I_{max}$	7,46 А
Напруга холостого ходу	$U_{xx}$	20,99 В
Струм короткогозамикання	$I_{кз}$	8,52 А
Максимальна напруга системи	$U_{max}$	70 В
ККД гальванічного елемента	$\eta_c$	16,8%
Кількість секцій в ряду	$n$	32
<b>Механічні характеристики</b>		
Вага	$m$	12,25 кг
Довжина	$l$	1,051 м
Ширина	$b$	0,832 м
Товщина, в тому числі з упаковкою	$h$	54 мм
Загальна площа	$S_l$	0.8744 м <sup>2</sup>

Потужність сонячної батареї складається з вихідних потужностей окремих фотоелементів. Вихідний струм фотоелементів батареї визначається числом елементів, сполучених паралельно, а вихідна напруга – числом елементів, сполучених послідовно.

Знаючи номінальну потужність фотоелектричної станції на потужність одного фотомодуля, визначимо необхідну кількість фотобатарей:

$$N^{CB} = \frac{P_{ном}}{P_1^{CB}} \quad (1)$$

де  $P_{ном}$  – номінальна потужність фотоелектричної станції, Вт

$P_1^{CB}$  – номінальна потужність фотомодуля, Вт

$$N^{CB} = \frac{15424}{120} = 129 \text{ шт.}$$

Виконаємо перерахунок загальної кількості фотобатарей, враховуючи спосіб підключення їх до інвертора:

Число модулів, з'єднаних послідовно:

$$N_{посл}^{CB} = \frac{U_{инв}}{U_{max}^{CB}} \quad (2)$$

де  $U_{инв}$  – вхідна напруга інвертора, В

$U_{max}^{CB}$  – напруга фотоелектричного модуля, В

$$N_{посл}^{CB} = \frac{230}{16,19} = 14,02 \text{ шт} \approx 14 \text{ шт.}$$

Потужність послідовно з'єднаних фотобатарей:

$$P_{посл}^{CB} = N_{посл}^{CB} \cdot P_1^{CB} \quad (3)$$

$$P_{посл}^{CB} = 14 \cdot 120 = 1680 \text{ Вт.}$$

Число фотобатарей, з'єднаних паралельно:

$$N_{пар}^{CB} = \frac{P_{сист}^{max}}{P_{посл}^{CB}} \quad (4)$$

де  $P_{сист}^{max}$  – потужність розрахункової системи;

$$N_{пар}^{CB} = \frac{15,5}{1,68} = 10 \text{ шт.}$$

Загальна кількість фотоелектричних модулів в системі:

$$N^{CB} = N_{пар}^{CB} \cdot N_{посл}^{CB} \quad (5)$$

$$N^{CB} = 10 \cdot 14 = 140 \text{ шт.}$$

Загальна площа фотоелектричних модулів:

$$S_{заг} = S_1 \cdot N^{CB} \quad (6)$$

$$S_{заг} = 0,8744 \cdot 140 = 122,416 \text{ м}^2$$

Загальна площа даху тягової підстанції складає  $918 \text{ м}^2$ , тобто фотоелектричні модулі займатимуть лише 14 % від загальної площі даху.

Для безперебійної роботи системи на сонячних батареях треба використовувати накопичувачі електроенергії. Час, при якому освітлені сонячні батареї починають ефективно працювати, знаходиться між 9 та 15 годинами. В інші години кількість отриманої енергії незначна, або дорівнює нулю. Тобто практично всю отриману енергію потрібно буде акумулювати, для того щоб її можливо було використовувати вночі та похмурі дні.

З попередніх розрахунків видно, що наша сонячна установка повністю перебиває значення споживання електроенергії власних потреб розрахункової тягової підстанції. Тож,

на літній період можна повністю переходити на споживання від сонячних батарей і реалізувати схему автоматичного вводу в роботу для власних потреб.

Для покращення ефективності системи та збільшення вироблення енергії, у нашому випадку, ми можемо застосувати декілька способів:

- для збільшення генерації енергії ажно до 50% слід повертати сонячну батарею за сонцем;
- вживання контролера заряду з функцією ВТМП (Відстежування Точки Максимальної Потужності (Maximum Power Point Tracking)). Такий контролер за наявності достатньої освітленості не перешкоджає доступу енергії від сонячних батарей на акумулятори, а при недоліку освітленості накопичує енергію і подає її на акумулятор порціями з оптимальними значеннями струму і напруги.

Аналіз проведених капітальних розрахунків показує, що така сонячна електроустановка окупиться за 7–8 років, при заощадженні близько 6000 гривень за один літній місяць. Та при постійних змінах цін на електроенергію термін окупності буде змінюватись.

При значній кількості задіяних сонячних батарей, при незначних навантаженнях або потужних приймачах з короткочасним режимом роботи, таких як тягове навантаження, постає питання про миттєву видачу її в Єдину енергетичну систему. Такий крок дає змогу одержати видимий прибуток від використання СЕС, та знизити капітальні затрати за рахунок зменшення кількості накопичувачів енергії, що становлять основну вартість комплексу електростанцій.

Як зазначалось раніше, потужність, яка генерується сонячною електростанцією, залежить від сонячного випромінювання і у нічні години відсутня. Це приводить до того, що у випадку приєднання сонячної генерації до шин середньої та низької напруги підстанцій силове та комутаційне обладнання (трансформатори, лінії, вимикачі) будуть працювати у реверсному режимі, тобто вдень на видачу потужності на шини високої напруги підстанції і далі в енергосистему, при цьому навантаження буде фактично 100 %, а вночі навпаки будуть забезпечувати перетікання електричної потужності із енергосистеми на шини середньої та низької напруги підстанції. Такі режими сприяють зносу електросилового обладнання, можуть привести до важких реверсних режимів під час коротких замикань на шинах середньої та низької напруги, а також вимагають принципово нових типів захисту і автоматики [4].

Існує ще декілька особливостей використання енергії СЕС, без яких неможливо забезпечити нормальне функціонування системи в цілому. Так, максимальний струм короткого замикання на затискачах одного напівпровідникового модулю практично дорівнює його номінальному струму або трохи вищий (до 10 %), що говорить про великий внутрішній опір джерела живлення, який в багато разів перевищує зовнішній опір електричної мережі. Звідси, СЕС слід вважати не джерелом електрорушійної сили, а джерелом струму із великим внутрішнім опором, що необхідно врахувати при підключенні їх до загальної енергосистеми.

Тобто, слід забезпечити стійкість роботи споживачів, особливо моторних навантажень, що мають значні пускові струми (5–6 In); надійність спрацювання та селективність релейного захисту при низьких струмах короткого замикання на елементах СЕС, як джерелах струму (струмові відсічки, МТЗ) при значних робочих струмах в контактній мережі 3 кВ (сягають 3000–5000 А), пускових струмах електровозів (близько 2000 А), а особливо струмах при АПВ (більше 3000А).

Тому, при проектуванні приєднань СЕС для живлення тягових споживачів, власних потреб, а також районних споживачів слід передбачати видачу електроенергії на шини високої напруги 110–220 кВ тягових підстанцій через окремі трансформатори 10/110–220 кВ та лінії відповідної напруги з проведенням реконструкції розподільчих пристроїв високої напруги тягових підстанцій. При цьому у кожному окремому випадку необхідно здійснювати аналіз розрахунків режимів роботи як вузлів зв'язку з енергосистемою, так і шин 6–35 кВ своїх підстанцій, до шин високої напруги яких здійснюється такі приєднання. При такому

варіанті приєднання сонячна генерація працює паралельно з традиційною генерацією і має з нею безпосередній зв'язок, що послаблює вплив особливостей роботи СЕС. Також можливим є варіант використання електроенергії СЕС невеликої потужності в якості для заряду акумуляторних батарей тягових підстанцій.

### Застосування енергії вітру

Ще одним видом відновлювальної енергетики, на який не можна не звернути увагу, по праву вважається вітрова енергетика. У нинішню епоху високих цін на паливо можна вважати, що вітродвигуни виявляться конкурентноздатними по вартості і зможуть брати участь у задоволенні енергетичних потреб України. Для того, щоб будівництво вітроелектростанцій виявилось економічно виправданим, необхідно, щоб середньорічна швидкість вітру в данному районі складала не менше 5–6 метрів за секунду.

До плюсів ВЕС можна віднести їх екологічність, відсутність у потребах палива, для їх роботи також не потрібні вода та кисень, котрі в величезних об'ємах витрачаються на ТЕС. Можливість повної автоматизації роботи, відсутність чергового персоналу, короткий строк спорудження та монтажу, а також проста технологія роботи станції. Що ж стосується шумності ВЕС, а також низькочастотних коливань – цей недолік відноситься до потужних мегаватних вітряків, лопасті яких створюють коливання такого типу. Такі вітряки зазвичай встановлюють поодаль від населених пунктів (прибережні зони та місця поблизу тягових електростанцій залізниць, що знаходяться за межами населених пунктів (без обслуговуючого персоналу)). Адже встановлювати вітряки, відповідно до санітарних норм України, слід від місць постійного перебування людей на такій відстані, щоб рівень шумів не перевищував 40 дБ [6].

Досвід показує, що коефіцієнт використання встановленої потужності, який являє собою відношення середнього напруження генеруючого пристрою до максимально можливого, залежить від його надійності, графіка навантажень (адже не завжди потрібна максимальна потужність), необхідності його зупинок на технічні обслуговування та капітальні ремонти і, найголовніше, від наявності вітру і його швидкості. З урахуванням цих особливостей, для сучасних ВЕС коефіцієнт використання встановленої потужності знаходиться у межах 25–35 % [6].

Треба звернути увагу на те, що вихід енергії не знаходиться в лінійній залежності від діаметру ротора:

$$W = 1,64 \cdot d^2 \cdot V^2 \quad (7)$$

де,  $W$  – електрична енергія за рік (кВт·год/рік);

$d$  – діаметр ротора ( в метрах);

$V$  – середньорічна швидкість вітру (м/с) [5].

В умовах України за допомогою вітроустановок можливим є використання 15÷19% річного об'єму енергії вітру, що проходить крізь перетин поверхні вітроколеса. Очікувані обсяги виробництва електроенергії з 1 м<sup>2</sup> перетину площі вітроколеса в перспективних регіонах складають 800–1000 кВт·год/м<sup>2</sup> за рік.

Таким чином, в зимовий період на висоті 16 м майже по всій Україні швидкості вітру перевищують 4 м/с, значну частину займають території із середньою швидкістю вітру більше 5 м/с. Районів із швидкістю менше 3 м/с на висоті 16 м за цими даними на території України взимку не виявлено.

Весною ділянки території із швидкістю 5 м/с і більше скорочуються порівняно з зимовим періодом, але й вони займають ще значні території (південний схід і південний захід України). Майже вся лісостепова зона характеризується швидкостями вітру 4–5 м/с. Середні швидкості вітру менші 4 м/с спостерігаються в тих же фізико-географічних областях, що і взимку. Правда, у фізико-географічній області Південного берега Криму швидкість вітру на висоті 16 м у весняний період менша 3 м/с (Алушта: зимою – 3,5 м/с, весною – 2,8 м/с) [2].

Найбільша середньорічна швидкість вітру (6 м/с) спостерігається в південно-східних та південних районах степової зони України. В північно-західних районах зони Українського Полісся (зона змішаних лісів) також відмічаються значні середньорічні швидкості вітру (4–5 м/с). Порівняно невеликі середньорічні швидкості вітру спостерігаються в західних і центральних районах лісостепової і степової зони України, де вони досягають 3–4 м/с.

Регулювання потужності ВЕС при швидкостях вітру вище розрахункових, проходить найбільш прогресивним способом – за рахунок зміни кута установки лопатей за допомогою компактного регулятора оборотів аеродинамічного типу. Вітродвигуни не слід розраховувати на перехоплення штормових вітрів. Навіть якщо такий вітер забезпечує одержання набагато більше енергії, ніж слабкі вітри, він робить настільки сильний тиск на крила, що вся машина може бути зруйнована, та й час дії таких вітрів дуже малий. Щоб запобігти аваріям при штормових вітрах зі швидкістю більше 25 м/с, виконують зупинку генератора за допомогою системи автоматичного переведення лопатей у флюгерне положення, що є найбезпечнішим варіантом захисту ВЕС.

По даним Української вітроенергетичної асоціації, сьогодні в нашій країні працюють п'ять державних ВЕС – Донузлавська, Судакська, Прісноводненська, Мирновська, Тарханкутська та дві приватних – Новоазовська і Очаківська. Їх загальна виробнича потужність складає 195 МВт. В 2012 році був виконаний запуск частини потужності Ботієвської ВЕС, що повинна стати найпотужнішою на території України, зі встановленою потужністю 200 МВт.

### **Необхідність управління режимами функціонування**

Альтернативні джерела генерування електричної енергії великої потужності не призначені для автономної роботи через недоцільність використання великої кількості накопичуючих пристроїв і їх дороговизну. Тому, як тільки вимикається лінія електропередачі, що зв'язує електростанцію з енергосистемою, зупиняється і генерація електричної енергії на ній. Тому при проектуванні слід забезпечувати надійний зв'язок з енергосистемою шляхом резервування. А останні технології у світі силової енергетики зробили можливим використання системи інтелектуальних розподільчих мереж (Smart-Grid), що здатні виконувати дистанційне керування, диспетчеризацію та автоматизацію роботи енергетичних систем [4].

Підключення СЕС та ВЕС до розподільчої мережі має позитивний вплив на її властивості, але поряд з цим створює нові проблеми, з якими доводиться стикатися при управлінні режимами системи електропостачання з розподіленою генерацією.

Енергетичну систему, складену з деякої кількості малих джерел сонячної чи вітрової електроенергії, розташованих у різних регіонах, треба з'єднати декількома виводами в спільну мережу, які будуть працювати, як одне джерело великої потужності, інтегроване в інтелектуальну систему управління енергетичними мережами (Smart-Grid).

Одним з основних впливів є зменшення втрат в мережі. Тобто, якщо розподільчі лінії мають високі втрати, додавши декілька джерел розподіленої генерації невеликої потужності ми зможемо знизити втрати, що в свою чергу дає великі переваги для системи. З іншого боку, якщо додаються більші одиниці, то вони повинні бути встановлені з урахуванням обмежень лінії електропередачі. Але також вони можуть бути джерелом вищих гармонік, які можуть виникати від обладнання силової електроніки, наприклад, інвертора [3].

### **Висновки**

У перспективі впровадження застосування сонячної електроенергії є два напрями розвитку: перший – це використання енергії для споживачів власних потреб, другий – живлення системи тягового навантаження, нетягових (в тому числі і пристроїв залізничної автоматики) та районних споживачів з видачею генерованої електричної енергії в Єдину енергетичну систему.

Найбільш доцільним є приєднання таких генерованих потужностей поблизу місць зосередження великих навантажень (а отже поблизу тягових чи районних підстанцій) для зменшення перетоків енергії в ЛЕП.

Перспективою впровадження застосування вітрової електроенергії є можливість використання її у гірських районах, де є великі швидкості вітрів та на віддалених тягових підстанціях, що знаходяться за межами населених пунктів (без обслуговуючого персоналу). При цьому треба враховувати електромагнітний вплив та високий рівень шумів.

### Список літературы

1. Боков В. А., Стоянов В. У. Сонячна енергетика в Криму. Методичний посібник для спеціалістів та всіх зацікавлених проблемами використання сонячної енергетики [Текст]. Київ – Сімферополь. – 2008. – 201с.
2. Величко С. А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами). Навчально-методичний посібник для магістрантів [Текст]. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. – 2003. – 52 с.
3. Денисюк С. П., Базюк Т. М. Аналіз впливу джерел розосередженої генерації на електромережу та особливості побудови віртуальних електростанцій [Текст]. – Електрифікація транспорту. – 2012. – № 4. – С. 23–29
4. Стогній Б. С., Кириленко О. В., Праховник А. В., Денисюк С. П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні [Текст]. Технічна електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52–67.
5. <http://cxem.net/greentech/greentech1.php> [Електронний ресурс].
6. <http://vetrodvig.ru> [Електронний ресурс].
7. <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/601-17> [Електронний ресурс], Закон України, щодо встановлення «Зеленого» тарифу.

## PROSPECTS FOR INTRODUCTION OF RENEWABLE SOURCES OF ELECTRIC ENERGY IN UKRAINIAN RAILWAY TRANSPORT

M. S. PASTUSHENKO, asistent

*The paper discusses application of solar and wind energy for traction substations with different wiring diagrams and the specifics of its generation.*

1. Bokov V. A., Stoyanov V. U. Sonyachna energenika v Khymu. Metodichnyi posibnyk dlya spetsialistiv ta vsich zatsikavlenykh problemamy vykohystannya sonyzchnoi energetyky [Tekst]. Kyiv – Simferopol. – 2008. – 201 s.
2. Velichko S. A. Energetyka navkolyshnogo seredodyscha Ukrainy (z elektronnykh kartamy). Navchalno-metodichnyi posibnyk dlya magistrantiv [Tekst]. Kharkiv: Kharkivskiy natsionalnyi universyten imeni V. N. Karazina. – 2003. – 52 s.
3. Denisyuk S. P., Bazyuk T. M. Analiz vplyvu dzherel rozoseredzhenoi generatsii na elektromerezhnu ta osoblyvosti pobudody dirtualnykh elektrostantsiy [Tekst]. – Elektrifikatsiya transportu. – 2012. – № 4. – S. 23-29
4. Stogniy B. S., Kyrylenko O. V., Prakhovnyk A. V., Denisyuk S. P. Evolyutsiya intelektualnykh elektrychnykh merezh ta yikhni perspektyvy v Ukraini [Tekst. Tekhichna elektrodynamika. – 2012. – № 5. – S. 52–67.
5. <http://cxem.net/greentech/greentech1.php> [Elektronnyi resyrs].
6. <http://vetrodvig.ru> [Elektronnyi resyrs].
7. <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/601-17> [Elektronnyi resyrs], Zakon Ukrainy, shchodo vstanovlennya «Zelenogo» taryfu.

Поступила в редакцію 17.10 2013 г.