

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ АУТОНОМНИХ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК ТА БУФЕРНИХ АКУМУЛЯТОРІВ ЕНЕРГІЇ

В.Б. Павлов^{1*}, докт.техн.наук, С.О. Кудря^{2**}, чл.-кор. НАН України, В.І. Будько^{3***}, канд.техн.наук, В.М. Кириленко^{3****}, канд.техн.наук, В.Ю. Іванчук^{3*****}

¹ Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна,

e-mail: mobil99@ukr.net,

² Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20а, Київ, 02094, Україна,

e-mail: sa.kudria@gmail.com,

³ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»,
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна,

e-mail: solar_budko@ukr.net

Запропоновано математичний опис системи автономної зарядної станції електромобілів з використанням вітроелектричних установок. Обґрунтовано необхідну енергоємність буферного акумулятора енергії для реалізації автономних зарядних станцій електромобілів з використанням вітроелектричних установок як генераторів електричної енергії. Розглянуто особливості забезпечення електричною енергією зарядної станції на основі реальних даних швидкості вітру. Встановлено коефіцієнт запасу енергії буферного акумулятора, необхідний для гарантованого заряду електромобілів. Бібл. 12, рис. 5.

Ключові слова: вітроелектрична установка, акумуляторна батарея, електромобіль, автономна зарядна станція.

Вступ. Наявний технічно-досяжний потенціал відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) України становить 68,9 млн. т. н. е. (мільйонів тон нафтового еквівалента) на рік [1]. Значна частина енергопотенціалу ВДЕ, а саме 21,8% припадає на енергію вітру – 15 млн.т.н.е., а також 8,7% – на енергію сонячного випромінювання – 6 млн.т.н.е. Наявний енергопотенціал даних відновлюваних джерел ставить завдання перед вітчизняними науковцями пошуку нових варіантів його швидшого освоєння та відповідно отримання додаткового виробітку екологічно чистої електроенергії. Одним із таких шляхів є використання енергії відновлюваних джерел для зарядження різних типів електромобілів (як повністю електричних, так і гібридів, що здатні підзаряджатися). У роботі розглядаються питання використання енергії вітру у разі застосування вітроелектричних установок (ВЕУ) у складі автономних зарядних станцій електромобілів (АЗСЕМ), розміщених біля автобанів, автомагістралей і автомобільних доріг міжнародного та державного значення. Вирішенням даної проблеми переймаються і закордонні науковці [2–3], які у своїх дослідженнях намагаються оптимізувати структуру зарядних станцій з використанням вітроелектричних установок, а також зменшити негативний вплив на роботу об'єднаної енергосистеми під час підключення нових потужностей на основі відновлюваних джерел. Існують і практичні приклади побудови таких зарядних станцій [4–5], у складі яких потужність ВЕУ поки що не перевищує 11 кВт.

З одного боку, складність моделювання виробництва електричної енергії вітроелектричною установкою (ВЕУ) E_{BEU} обумовлюється випадковим характером вітрового потоку (який виступає в ролі енергетичного ресурсу), тобто нелінійним алгоритмом перетворення енергії вітру в електричну, що вносить додаткову невизначеність через особливості роботи вітроелектричних установок у різних кліматичних умовах та різних рельєфних ландшафтах. З іншого – складність моделювання роботи автономної зарядної станції з використанням вітроелектричних установок обумовлюється нерегулярністю приїзду електромобіля для зарядження його акумуляторної батареї (яка виступає як споживач електричної енергії).

© Павлов В.Б., Кудря С.О., Будько В.І., Кириленко В.М., Іванчук В.Ю., 2019
ORCID: *<http://orcid.org/0000-0003-0565-265X>; **<http://orcid.org/0000-0002-4798-6853>;
<http://orcid.org/0000-0002-6219-4221>; *<http://orcid.org/0000-0002-6168-2469>;
***** <http://orcid.org/0000-0002-0585-9610>

Метою роботи є математичний опис систем забезпечення електроенергією автономних зарядних станцій електромобілів із буферними акумуляторами енергії та оцінка особливостей використання вітроелектричних установок у їхньому складі як джерела електричної енергії.

Математичний опис роботи вітроелектричної установки. Енергія вітрового потоку як випадкова величина має несиметричний розподіл, відповідно виробництво електроенергії вітростанціями (як автономними, так і мережевими) також має стохастичний характер. Розподіл швидкості вітру найчастіше описують функцією Вейбула [6]. Однак за наявності певної специфіки поведінки вітру (залежно від рельєфу місцевості, материкового чи морського базування обраної ділянки, висоти розташування над поверхнею землі) пропонуються також інші види представлення функції щільності розподілу швидкості вітру за градаціями: розподіл Релея (найпростіша форма), експоненційний розподіл за методом максимуму ентропії, комбінування кількох розподілів (у тому числі нормального, поліномів Чебишева тощо).

Потужність ВЕУ обмежена певною величиною, яка дорівнює номінальній (установленій) потужності незалежно від сили вітру. Згідно з [1] потужність при заданій швидкості вітру (P_{BEV}) визначають за виразом

$$P_{BEV}(v) = 0,5 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot F \cdot \eta(v), \quad (1)$$

де ρ – густина вітрового потоку за атмосферного тиску 760 мм.рт.ст. та температури 15 °С становить 1,225 кг/м³; v – поточна величина швидкості вітрового потоку, м/с; $\eta(v)$ – коефіцієнт використання вітрової потужності або ККД ВЕУ; F – площа вітроколеса, м², зазвичай визначається діаметром кола d за виразом: $F = \pi \cdot d^2 / 4$.

Згідно з [7] електроенергія, що виробляється ВЕУ, визначається як інтеграл Рімана-Стільтєса відносно інтегральної функції розподілу $F(v)$ або звичайного інтеграла Рімана при наявності неперервної диференційної функції розподілу $\phi(v)$ за рівнянням

$$E_{BEV} = T \int_0^{v_{max}} P(v) \cdot dF(v) = T \int_0^{v_{max}} P(v) \cdot \phi(v) \cdot dv \quad (2)$$

де $P(v)$ – характеристика залежності потужності вітроустановки від швидкості вітру; T – часовий проміжок, протягом якого систематично проводилося вимірювання швидкості вітру.

Промодельовано в програмному середовищі Matlab 2015 можливість забезпечення енергією АЗСЕМ від ВЕУ з врахуванням розподілу швидкостей вітру для м. Мелітополь Запорізької області, Україна, використавши при цьому реальні експериментальні дані вимірювання швидкості вітру для заданої місцевості.

Вимірювання швидкості вітру на висоті 66 м над поверхнею землі проводилося кожні 10 хвилин протягом року. Розподіл швидкостей вітру (рис. 1) для повної сукупності даних можна описати розподілом Вейбула з коефіцієнтом масштабу $a = 7.8512$ і коефіцієнтом форми $\epsilon = 2.5226$. Якщо врахувати, що виробіток електроенергії вітроустановкою починається при швидкості вітру більше 4 м/с і відкинути менші значення, то крива диференційного розподілу зміститься вправо і звужиться, при цьому обидва параметри зростуть до значень $a = 8.6809$ і $\epsilon = 3.3263$.

Виробіток електроенергії вітроустановкою пропорційний кубу швидкості вітру (рис. 2). Характер розподілу Вейбула різко змінюється, і параметри розподілу $a = 654.1836$, $\epsilon = 1.1088$ фактично відповіда-

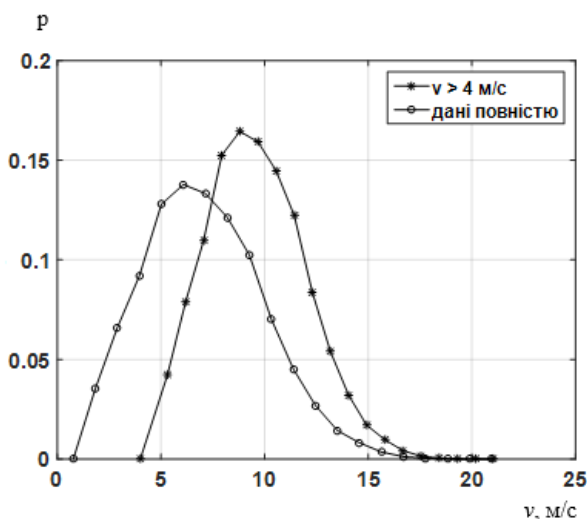


Рис. 1

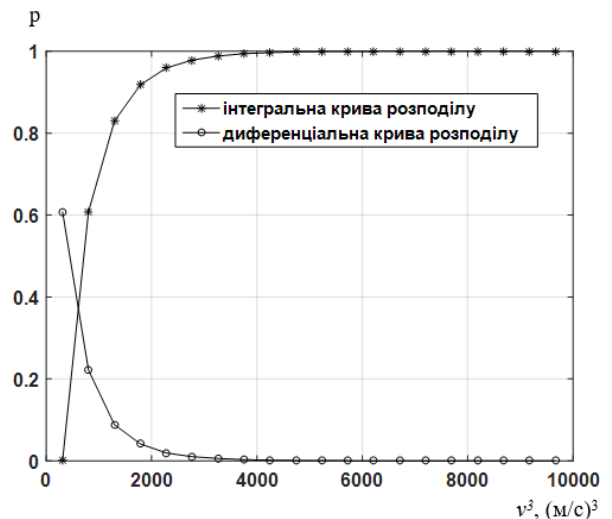


Рис. 2

ють експоненціальному розподілу. Таким чином, можна зробити висновок, що виробіток електроенергії вітроустановкою відповідає двопараметричному (з параметром зсуву) експоненціальному розподілу.

Враховуючи, що для вітроустановки прийнято $\eta(v) \sim \text{const}$, оскільки він визначається конструктивними особливостями ВЕУ, і куб швидкості вітру є практично єдиним параметром виробітку електроенергії, що не залежить від конструкції вітроустановки, подальший розгляд питання про виробіток електроенергії проведемо у відносних одиницях.

Для аналізу кількості електроенергії, що може виробити вітроустановка, розіб'ємо сукупність даних відносно швидкості вітру на добові складові та розглянемо усереднення за кубом швидкості вітру подово (рис. 3) і за 10-хвилинний інтервал протягом року (рис. 4).

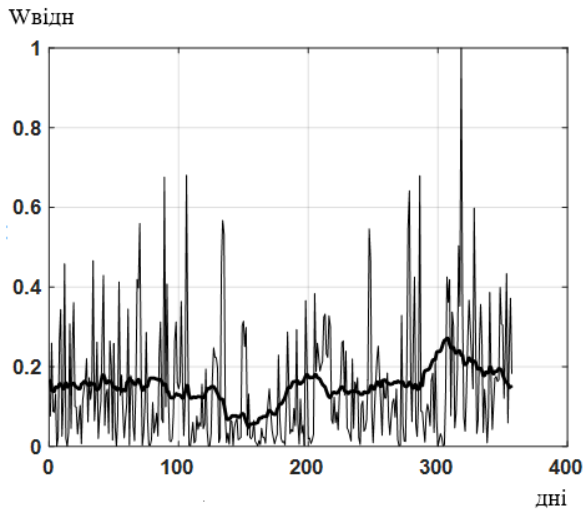


Рис. 3

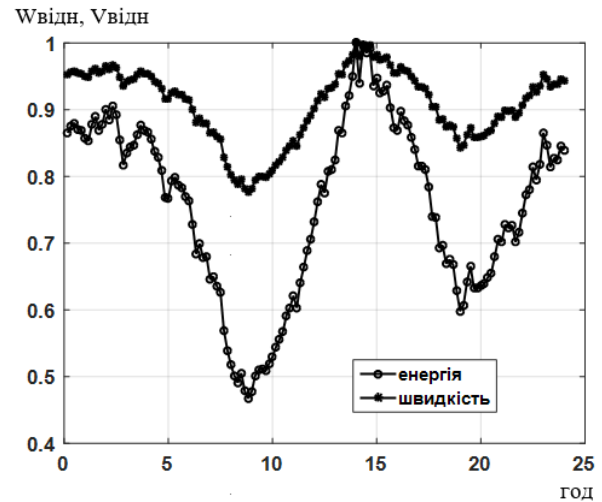


Рис. 4

Аналіз даних показує, що, по-перше, відносна енергія вітроустановки через меншу швидкість вітру в травні–червні у 3 рази менша середньої, а у жовтні–листопаді – у 1,6 раз більша, а по-друге, усереднена протягом року швидкість вітру має два чітко виражених мінімуми: з 6 до 11 години зранку і з 18 до 21 години – ввечері. Вранці виробіток енергії зменшується в 1,5 рази по відношенню до середньої, а ввечері – в 1,16 рази. Таким чином, навесні виробіток електроенергії ВЕУ може бути в 3,5–4 рази меншим, ніж у середньому, причому досить тривалий час. В інших умовах характеристики можуть бути іншими, проте важливим є факт і величина «провалу» (а коли він відбувається – для АЗСЕМ це не важливо).

Враховуючи «провал» у виробітку енергії, що має місце у світлий час доби, найдоцільніше використати для зарядної станції комбінацію вітроелектрична установка–буферний акумулятор енергії, що дасть змогу вирішити питання вирівнювання виробітку електричної енергії з її споживанням, однак залишається актуальним питання встановлення оптимальної ємності буферної акумуляторної батареї у разі комплексного використання декількох відновлюваних джерел генерування електроенергії, що забезпечить зменшення капітальних витрат у разі обслуговування більшої кількості електромобілів.

Ефективна робота будь-якої автономної зарядної станції електромобілів реалізуватиметься за умови, коли енергія $E_{ВЕУ}$, що вироблятиметься місцевими генераторами (у даному випадку ВЕУ), дорівнюватиме енергії $E_{АБ}^{EM}$, яка споживається при зарядженні тягових АБ електромобілів, тобто остання має випадковий характер, що необхідно враховувати при розробці математичного опису системи АЗСЕМ з ВЕУ.

Розглянемо існуючі підходи щодо енергії електрохімічної акумуляторної батареї. Як відомо, енергія, накопичена в акумуляторній батареї ($E_{АБ}$), визначається напругою на її клеммах $U_{АБ}$ (В), номінальною ємністю $C_{АБ}^{ном}$ (А·год), і в найпростішому вигляді її можна представити рівнянням

$$E_{АБ} = U_{АБ} \cdot C_{АБ}^{ном} . \quad (3)$$

При врахуванні коефіцієнта корисної дії заряду АБ та нерегулярного заїзду електромобіля на зарядну станцію енергія, необхідна для зарядження АБ електромобіля $E_{зАБ}^{EM}$, визначатиметься

$$E_{зАБ}^{EM} = \frac{1}{\eta_{зАБ}} \cdot U_{АБ} \cdot \int_{C_0}^{C_{max}} C_{зАБ} \cdot \psi(C) \cdot dC = \frac{E_{АБ}^{EM}}{\eta_{зАБ}} , \quad (4)$$

де $\psi(C)$ – функція, що враховує випадковий характер та частоту настання процесу зарядження АБ електромобіля; $\eta_{зАБ}$ – коефіцієнт корисної дії заряду АБ електромобіля.

Визначення енергоємності буферного акумулятора. Враховуючи розглянуті вище (2) та (4), запропоновано рівняння, що визначає забезпечення енергією АЗСЕМ із використанням ВЕУ

$$T \int_0^{v_{\max}} P(v)\phi(v)dv = E_{АБ}^{Б\У\Phi} = \frac{k_{ДЕ}}{\eta_{АБ}} \cdot (E_{В\П}^{АЗСЕМ} + n \cdot E_{зАБ}^{EM}), \quad (5)$$

де $E_{В\П}^{АЗСЕМ}$ – енергія на власні потреби АЗСЕМ, кВт*год, $E_{АБ}^{Б\У\Phi}$ – енергія буферної акумуляторної батареї, кВт*год; $k_{ДЕ}$ – коефіцієнт додаткової енергії, що має передбачатися у буферній АБ; n – кількість електромобілів, на яку розраховується АЗСЕМ.

Для визначення енергоємності буферної АБ АЗСЕМ прийемо:

- 1) власні потреби АЗСЕМ (освітлення та ін.) $E_{В\П}^{АЗСЕМ}$ на рівні 3 кВт*год на день;
- 2) залишковий заряд АБ ЕМ при заїзді електромобіля на зарядну станцію становить 20% від його максимального значення, тобто $0,2 \cdot E_{АБ}^{Б\У\Phi}$, оскільки при менших залишкових значеннях заряду акумулятора електромобіль може не доїхати до зарядної станції;
- 3) ймовірність заїзду електромобіля на зарядну станцію при залишковому заряді АБ ЕМ від 80% і більше дорівнює 0, оскільки дозаряд електромобіля в діапазоні від $(0,8 \div 1)E_{АБ}^{EM}$ необхідно проводити в стаціонарному (не прискореному) режимі заряду [8];
- 4) додаткова енергія буферної АБ АЗСЕМ повинна становити не менше 20% від номінального значення, тобто $k_{ДЕ} = 1,2$;
- 5) максимальне значення напруги буферної АБ АЗСЕМ згідно з [9] $U_{АБ}^{Б\У\Phi} = 600$ В ;
- 6) повний коефіцієнт корисної дії (заряд-розряд) буферної АБ приймається 80% ($\eta_{АБ}^{Б\У\Phi} = 0,8$), а коефіцієнт корисної дії заряду АБ електромобіля – 90% ($\eta_{зАБ} = 0,9$) [10].

Аналіз модельного ряду комерційних електромобілів показав, що на сьогодні питомі затрати на пробіг 1 км шляху в режимі ЕРА (Environmental Protection Agency – американський вимірювальний цикл, що найкраще підходить для умов доріг України) коливаються від 0,133 кВт*год (BMW і3) до 0,261 кВт*год (Toyota RAV4 EV), тобто від 13,3 кВт*год/100км пробігу до 26,1 кВт*год/100км пробігу відповідно. При цьому повна енергія АБ сучасних електромобілів знаходиться в межах $(16 \div 100)$ кВт*год, а в перспективі можна очікувати її збільшення, однак із заявлених на найближчі 5 років перспективних новинок електромобілів [11] значення енергії АБ ЕМ не перевищує 100 кВт*год.

Розглянемо випадок, коли на АЗСЕМ з ВЕУ приїде електромобіль, наприклад, Ford Focus Electric 2017 із залишковим зарядом у 20% (повна енергія АБ електромобіля становить 33,5 кВт*год). У такому разі з потребою в $E_{АБ}^{EM} = 20$ кВт*год необхідна енергія буферного акумулятора для гарантованого заряду даного ЕМ становитиме

$$E_{АБ}^{Б\У\Phi} = 1,2 \cdot \frac{3 + \frac{20}{0,9}}{0,8} = 37,83 \text{ кВт*год}. \quad (6)$$

Відповідно ємність буферної АБ повинна становити

$$C_{АБ}^{Б\У\Phi} = 37830/600 = 63,06 \text{ А*год}. \quad (7)$$

Тобто енергія буферної АБ повинна становити не менше ніж $K_{зЕ}^{Б\У\Phi} \cdot E_{АБ}^{EM}$, де $K_{зЕ}^{Б\У\Phi}$ – коефіцієнт запасу енергії буферної АБ АЗСЕМ $K_{зЕ}^{Б\У\Phi} = 37,83/20 = 1,89$. Зважаючи, що відношення $k_{ДЕ}/\eta_{АБ}^{Б\У\Phi}$ за прийнятих вище умов становить 1,5, то в коефіцієнт запасу енергії $K_{зЕ}^{Б\У\Phi}$ має входити складова $k_{В\П}$, яка враховуватиме вплив величини споживання енергії на власні потреби АЗСЕМ. За умови відсутності споживання енергії $k_{В\П} = 1$.

Відповідно можна записати

$$K_{зЕ}^{Б\У\Phi} = k_{ДЕ} \cdot k_{В\П} / \eta_{АБ}^{Б\У\Phi}. \quad (8)$$

Розглянемо ймовірність приїзду (доставки) на АЗСЕМ електромобіля із нульовою залишковою енергією (наприклад, електромобіль Tesla Model X 100D з АБ при повному заряді 100 кВт*год).

У такому випадку енергія буферної АБ для гарантованого забезпечення роботи АЗСЕМ при заряді ЕМ із максимальною потребою у 80 кВт*год повинна становити

$$E_{AB}^{BY\Phi} = \frac{3 + \frac{80}{0,9}}{0,8} = 137,83 \text{ кВт*год.} \quad (9)$$

Відповідно ємність буферної АБ

$$C_{AB}^{BY\Phi} = 137830/600 = 229,7 \text{ А*год.} \quad (10)$$

У цьому випадку енергія буферної АБ повинна становити не менше, ніж $1,72 \cdot E_{AB}^{EM}$.

Зважаючи на змінний характер коефіцієнта запасу енергії буферної акумуляторної батареї від енергії заряду електромобіля проаналізовано залежність $K_{3E}^{BY\Phi} = f(E_{AB}^{EM})$ у діапазоні заряду від 1 кВт*год до 300 кВт*год (рис. 5). У результаті аналізу встановлено, що в області малих енергій електромобілів (10÷100 кВт*год) нелінійний характер зміни $K_{3E}^{BY\Phi}$ пояснюється впливом складової власних потреб автономної зарядної станції $k_{ВП}$. При подальшому зростанні енергоємності АБ електромобіля до 300 кВт*год значення коефіцієнта запасу енергії буферної акумуляторної батареї наближається до 1,67.

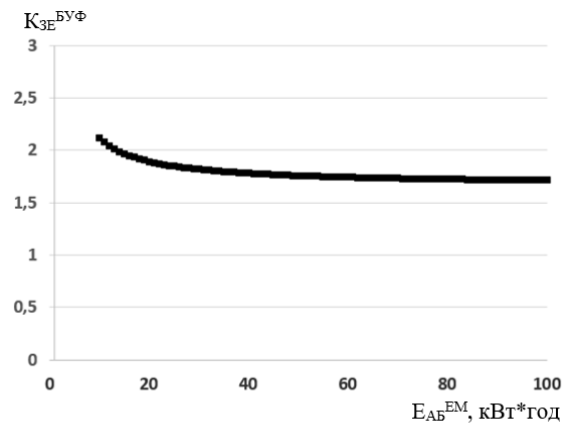


Рис. 5

Враховуючи зазначене вище, математичний опис забезпечення енергією АЗСЕМ від ВЕУ для гарантованого заряду одного електромобіля з максимальною енергоємністю АБ можна представити рівнянням

$$T \int_0^{\infty} P(v) \phi(v) dv = E_{AB}^{BY\Phi} = K_{3E}^{BY\Phi} \cdot (E_{ВП}^{АЗСЕМ} + \frac{1}{\eta_{зАБ}} \cdot U_{AB} \cdot \int_{C_0}^{C_{max}} C_{AB}^3 \cdot \psi(C) \cdot dC). \quad (11)$$

Для застосування даного математичного опису забезпечення енергією АЗСЕМ на два і більше електромобілів необхідно ввести кількість електромобілів n , на які розраховуватиметься зарядна станція, тобто рівняння (11) набуде вигляду

$$T \int_0^{\infty} P(v) \phi(v) dv = E_{AB}^{BY\Phi} = K_{3E}^{BY\Phi} \cdot (E_{ВП}^{АЗСЕМ} + n \cdot \frac{1}{\eta_{зАБ}} \cdot U_{AB} \cdot \int_{C_0}^{C_{max}} C_{AB}^3 \cdot \psi(C) \cdot dC). \quad (12)$$

Висновки.

Запропоновано математичний опис забезпечення енергією автономної зарядної станції електромобілів із використанням вітроелектричних установок для заряду електричних транспортних засобів з урахуванням нелінійного характеру виробітки електроенергії та стохастичного характеру її споживання протягом доби.

У результаті моделювання визначене співвідношення енергетичних показників буферної акумуляторної батареї та акумулятора електромобіля для метеорологічних умов м. Мелітополь Запорізької області. Отримані результати можна поширити на наближені до міста автомобільні дороги М14 та М18, на яких можлива реалізація автономних зарядних станцій електромобілів із використанням вітроелектричних установок.

Запропонований підхід забезпечення гарантованого заряду електромобіля від вітроелектричної установки може бути поширеним для інших потенційно перспективних місць встановлення автономних зарядних станцій електромобілів для різних регіонів України за наявності об'єктивних вихідних даних щодо розподілу швидкості вітру.

1. Кудря С.О., Будько В.І. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Електронний курс лекцій. Київ: Національний технічний університет України «КПІ», 2013. 360 с.

2. George Xydis, Evanthia Nanaki. Wind Energy Based Electric Vehicle Charging Stations Siting. A GIS/Wind Resource Assessment Approach. *Challenges*. 2015. No 6. Pp. 258-270.

URL: www.mdpi.com/journal/challenges (accessed 17.12.2018)

3. Hassan Fathabadi. Novel wind powered electric vehicle charging station with vehicle-to-grid (V2G) connection capability. *Energy Conversion and Management*. 2017. Vol. 136. No 15. Pp. 229-239.

4. World's first wind powered electric charging station.

URL: <https://www.designboom.com/technology/worlds-first-wind-powered-electric-charging-station/> (accessed 17.12.2018)

5. Giraffe 2.0 is a Hybrid Wind-Solar Power Station & Carport. URL: <https://www.innoventum.se/giraffe-2-0/> (accessed 17.12.2018)

6. Camilo Carrillo, José Cidrás, Eloy Díaz-Dorado, Andrés Felipe Obando-Montaño. An Approach to Determine the Weibull Parameters for Wind Energy Analysis: The Case of Galicia (Spain). *Energies an Open Access Journal by MDPI*. 2014. No 7. Pp. 2676-2700. DOI: <https://doi.org/10.3390/en7042676>

7. Кузнецов М.П. Імовірнісні характеристики потужності вітроелектричних станцій у складі електроенергетичної системи. Дис. д-ра техн.наук: 05.14.08. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. 2015. 302 с.

8. Способы зарядки электромобилей: 4 режима и быстрая зарядка.

URL: https://electrica-shop.com.ua/articles/112.sposobi_zaryadki_elektromobiley_4_rezhima_i_bistraya_zar (дата звернення 17.12.2018)

9. Павлов В.Б., Будько В.І. Методи заряду електромобілів від відновлюваних джерел енергії. Наук.-практ. конф. *Відновлювана та воднева енергетика*. 2018. Київ, 2018. С. 54-59.

10. Павлов В.Б., Будько В.І. Зарядження електромобілів від відновлюваних джерел енергії. *Техн. електродинаміка*. 2017. № 6. С. 32–35. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2017.06.032>

11. John Sun. Car Battery Efficiencies. URL: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/sun1/> (accessed 17.12.2018)

12. Пятилетка: какие электромобили мы ждем к 2024 году.

URL: <https://www.autocentre.ua/ua/news/novinka/pyatiletka-kakie-elektromobili-my-zh-dem-k-2024-godu-768315.html> (дата звернення 17.12.2018)

УДК 621.345

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ АВТОНОМНЫХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И БУФЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ЭНЕРГИИ

В.Б. Павлов¹, докт.техн.наук, С.А. Кудря², чл.-кор. НАН Украины, В.И. Будько³, канд.техн.наук, В.М. Кириленко³, канд.техн.наук, В.Ю. Иванчук³

¹ Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна, е-mail: mobil99@ukr.net,

² Інститут відновлюваної енергетики НАН України,

ул. Гната Хоткевича, 20а, Київ, 02094, Україна,

е-mail: sa.kudria@gmail.com,

³ Національний технічний університет України КНУ ім. Ігоря Сікорського,

пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна,

е-mail: solar_budko@ukr.net

Предложено математическое описание работы автономной зарядной станции электромобилей с использованием ветроэлектрических установок. Обоснована необходимая энергоемкость буферного аккумулятора энергии при реализации автономных зарядных станций электромобилей с использованием ветроэлектрических установок как генераторов электроэнергии. Рассмотрены особенности обеспечения электрической энергией зарядной станции на основе реальных данных скорости ветра. Установлен коэффициент запаса энергии буферного аккумулятора, необходимый для гарантированного заряда электромобилей. Библ. 12, рис. 5.

Ключевые слова: ветроэлектрическая установка, аккумуляторная батарея, электромобиль, автономная зарядная станция.

FEATURES OF OPERATION OF AUTONOMOUS CHARGER STATIONS BY ELECTRIC VEHICLES USING WIND ELECTRIC TURBINES AND BUFFER BATTERIES OF ENERGY

V.B. Pavlov¹, S.O. Kudria², V.I. Budko³, V.M. Kirilenko³, V.Yu. Ivanchuk³

¹Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
pr. Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine, e-mail: mobil99@ukr.net,

²Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine,
st. Hnat Hotkevich, 20a, Kyiv, 02094, Ukraine, e-mail: sa.kudria@gmail.com,

³National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute,
pr. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine, e-mail: solar_budko@ukr.net

A mathematical description of the operation of an autonomous charging station of electric vehicles with the use of wind turbines is proposed. The energy intensity of the buffer energy accumulator is substantiated when implementing autonomous charging stations of electric vehicles with the use of wind power plants as electric power generators. The features of providing electric energy of the charging station on the basis of real data of wind speed are considered. The installed energy buffer battery is required for the guaranteed charge of electric vehicles. References 12, figures 5.

Keywords: wind turbine, battery, electric vehicle, autonomous charging station.

1. Kudria S.O., Budko V.I. Introduction to Alternative and Renewable Energy. Electronic course of lectures. Kyiv: Natsionalnyi Tekhnichniy Universytet Ukrainy KPI, 2013. 360 p. (Ukr)
2. George Xydis, Evanthia Nanaki. Wind Energy Based Electric Vehicle Charging Stations Siting. A GIS/Wind Resource Assessment Approach. *Challenges*. 2015. No 6. Pp. 258-270. URL: www.mdpi.com/journal/challenges (accessed 17.12.2018)
3. Hassan Fathabadi. Novel wind powered electric vehicle charging station with vehicle-to-grid (V2G) connection capability. *Energy Conversion and Management*. 2017. Vol. 136. No 15. Pp. 229-239.
4. World's first wind powered electric charging station. URL: <https://www.designboom.com/technology/worlds-first-wind-powered-electric-charging-station/> (accessed 17.12.2018)
5. Giraffe 2.0 is a Hybrid Wind-Solar Power Station & Carport. URL: <https://www.innoventum.se/giraffe-2-0/> (accessed 17.12.2018)
6. Camilo Carrillo, José Cidrás, Eloy Díaz-Dorado, Andrés Felipe Obando-Montaño. An Approach to Determine the Weibull Parameters for Wind Energy Analysis: The Case of Galicia (Spain). *Energies an Open Access Journal by MDPI*. 2014. No 7. Pp. 2676-2700. DOI: <https://doi.org/10.3390/en7042676>
7. Kuznetsov M.P. Probabilistic characteristics of the power of wind power plants in the electric power system. Diss. to bake sciences step Dr. Tech. Sciences: 05.14.08. Kyiv: Instytut vidnovliuvanoi enerhetyky Natsionalnoi Akademii nauk Ukrainy, 2015. 302 c. (Ukr)
8. Electric vehicle charging methods: 4 modes and fast charging. URL: https://electrica-shop.com.ua/articles/112.sposobi_zaryadki_elektromobiley_4_rezhima_i_bistraya_zar (accessed 17.12.2018) (Rus)
9. Pavlov V.B., Budko V.I. Methods of charge of electric vehicles from renewable energy sources. Scientific and practical conf. *Renewable and hydrogen energy*. 2018. Kyiv, 2018. Pp. 54-59. (Ukr)
10. Pavlov V.B., Budko V.I. Charging electric vehicles from renewable energy sources. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2017. No 6. Pp. 32-35. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2017.06.032> (Ukr)
11. John Sun. Car Battery Efficiency. URL: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/sun1/> (accessed 17.12.2018)
12. Five-year plan: what electric cars are we waiting for by 2024. URL: <https://www.autocentre.ua/ua/news/novinka/pyatiletka-kakie-elektromobili-my-zhdem-k-2024-godu-768315.html> (accessed 17.12.2018) (Rus)

Надійшла 17.01.2019
Остаточний варіант 04.03.2019