

УДК 621.311.243; 621.311.245

В.І.Будько, канд.техн.наук (Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського", Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Розроблення математичної моделі роботи автономної зарядної станції електромобілів від вітроелектричних установок

В роботі розглянуті питання особливостей математичного моделювання процесу перетворення кінетичної енергії вітрового потоку в електричну енергію з метою її подальшого накопичення в буферному акумуляторі автономної зарядної станції та заряду тягових акумуляторних батарей (АБ) електромобілів. Запропоновано математичне описання енергії заряду акумуляторної батареї при врахуванні специфіки непостійного навантаження від електромобілів. Відмічена необхідність проведення подальших наукових досліджень для знаходження найбільш адекватної моделі описання випадкового характеру та частоти настання процесу зарядження АБ електромобіля. Бібл. 12, рис. 4.

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

Orcid: 0000-0002-6219-4221

Складність моделювання виробництва електричної енергії вітроелектричною установкою (ВЕУ) $E_{BEU}(t)$ обумовлюється випадковим характером вітрового потоку, який виступає в ролі енергетичного ресурсу, та нелінійним алгоритмом перетворення енергії вітру в електричну, що вносить додаткову невизначеність через особливості роботи вітроелектричних установок у різних кліматичних умовах та різних рельєфних ландшафтах.

Метою даного дослідження є розроблення математичної моделі роботи автономної зарядної станції електромобілів (ЕМ) на базі вітроелектричних установок з використанням у складі системи буферного акумулятора енергії для вирівнювання виробітку та споживання електричної енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз існуючих підходів до моделювання процесу перетворення енергії вітрового потоку в електричну енергію шляхом застосування вітроелектричних установок. Крім того, необхідно проаналізувати роботу акумуляторних батарей з урахуванням специфіки реалізації процесу зарядження та стану заряду АБ. На основі проведеного аналізу необхідно запропонувати модель роботи автономної зарядної станції електромобілів (АЗСЕМ) на основі ВЕУ.

Енергія вітрового потоку, як випадкова величина, має несиметричний розподіл, відповідно

виробництво електроенергії вітростанціями (як автономними, так і мережевими) також має змінний характер. Розподіл швидкості вітру найчастіше описують функцією Вейбула [1]. Однак за наявності певної специфіки у поведінці вітру пропонуються також інші види представлення функції щільності розподілу швидкості вітру по градаціях: 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 P_n незалежно від сили вітру. Графічний приклад типової кривої потужності наведено на рис. 1. Згідно [2] потужність при заданій швидкості вітру визначають за виразом:

$$P_{BEU}(v) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot F \cdot \eta(v), \quad (1)$$

де P_{BEU} – потужність вітроелектричної установки при заданій швидкості вітру, кВт; ρ – густина вітрового потоку, кг/м^3 , яка при атмосферному тиску 760 мм.рт.ст. і температурі 15°C становить $1,225 \text{ кг/м}^3$; v – поточна величина швидкості вітрового потоку, м/с; $\eta(v)$ – коефіцієнт використання вітрової потужності, або ККД ВЕУ;

F – площа вітроколеса, м^2 , зазвичай визначається як площа круга, тобто:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (2)$$

де d – діаметр вітроколеса, м.

Поточна (миттєва) величина потужності ВЕУ має певний змінний характер. Для більш повної оцінки ефективності роботи зарядної станції на базі ВЕУ більш наочним є графік виробітку

електричної енергії протягом певного періоду (декади, місяця, кварталу чи року), яка буде накопичена в буферному акумуляторі, а потім надана акумуляторній батареї ЕМ. При високому коефіцієнті надійності роботи кількість ВЕУ в складі однієї зарядної станції практично не впливає на характер (динаміку) виробітку електричної енергії, що підтверджується реальними даними роботи Краснодонської ВЕС, до складу якої входить 10 ВЕУ типу FL 2500 (рис. 2, 3) [3].

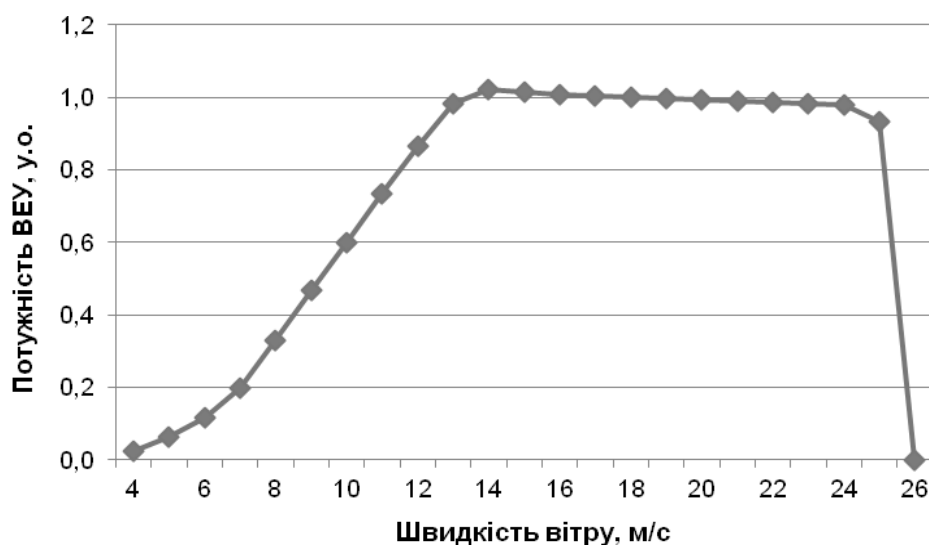


Рис. 1. Типова крива потужності ВЕУ.

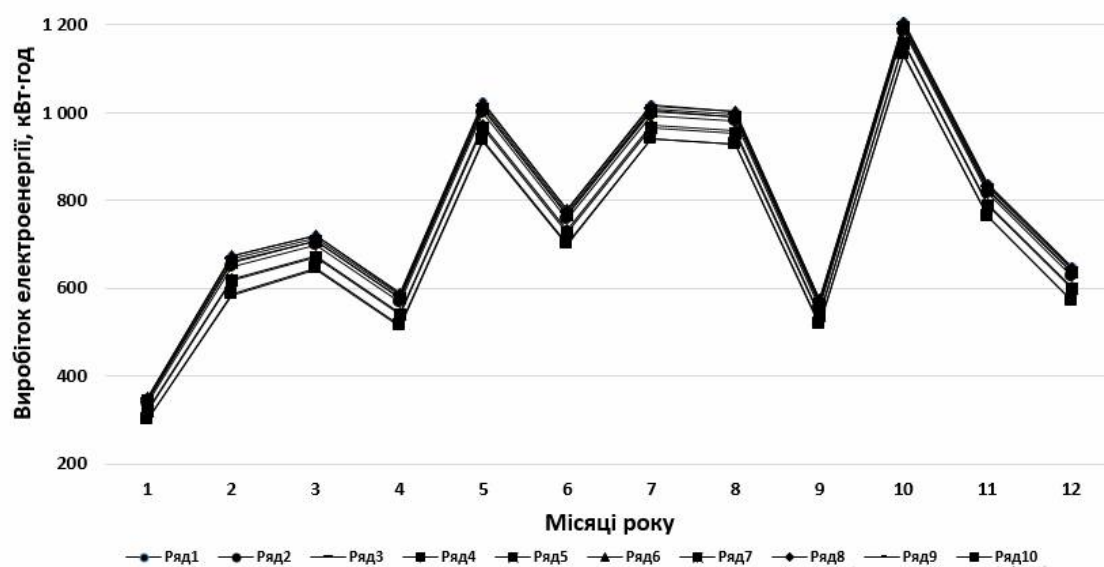


Рис. 2. Графік виробітку електричної енергії від десяти ВЕУ, що входять до складу Краснодонської ВЕС, протягом року.

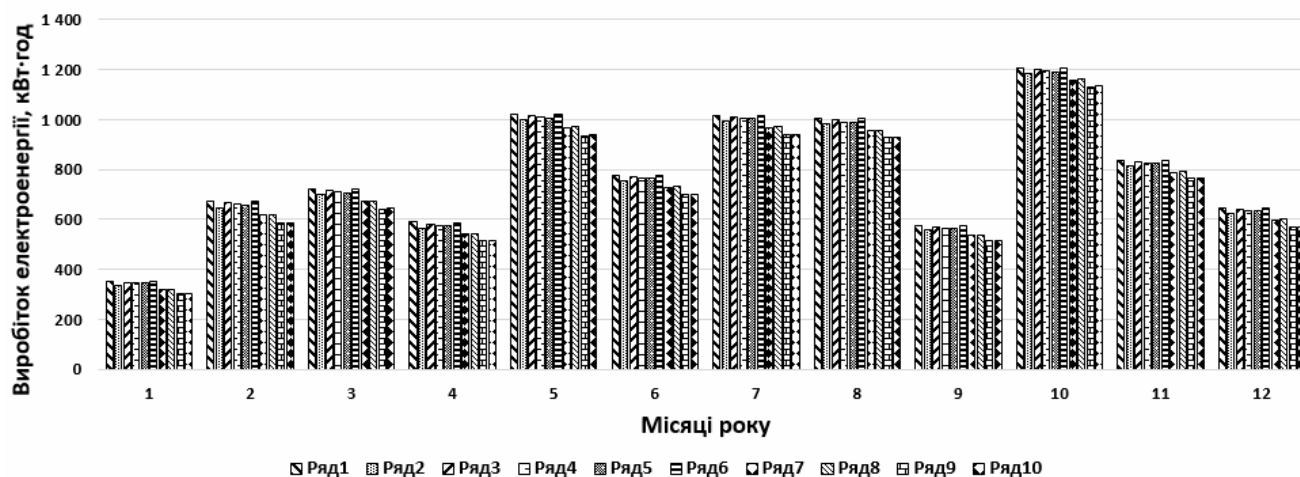


Рис. 3. Діаграма виробітку електричної енергії від десяти БЕУ, що входять до складу Краснодарської ВЕС, протягом року: Ряд 1 – БЕУ 1 (FL-801); Ряд 2 – БЕУ 2 (FL-802); Ряд 3 – БЕУ 3 (FL-803); Ряд 4 – БЕУ 4 (FL-804); Ряд 5 – БЕУ 5 (FL-805); Ряд 6 – БЕУ 6 (FL-806); Ряд 7 – БЕУ 7 (FL-807); Ряд 8 – БЕУ 8 (FL-808); Ряд 9 – БЕУ 9 (FL-809); Ряд 10 – БЕУ 10 (FL-810).

В роботі [4] модель вітроустановки задається кривою потужності $P(v)$, при цьому швидкість вітру v (м/с) перераховується на висоту осі ротора. В загальному випадку описання потужності здійснюється залежністю наступного вигляду:

$$P_n(v) = \begin{cases} 0, & v \leq v_0, \quad v \geq v_{\max} \\ f(v), & v_0 < v < v_p \\ P_m, & v_p \leq v < v_{\max} \end{cases}, \quad (3)$$

Як приклад, у роботі [5] запропоновано логістичну модель характеристики потужності, що має наступний вигляд:

$$P(v) = \frac{a}{1 + be^{-cv}}, \quad (4)$$

де a, b, c – параметри моделі, що визначаються за методом найменших квадратів.

Для оцінювання параметрів даної моделі на базі паспортних даних БЕУ в роботі розроблено спеціальний ітераційний метод, що є комбінацією методу найменших квадратів, методу спуску по групах змінних і методу лінеаризації. Метод полягає у наступному. Значення параметра a є асимптотою функції, тому в якості його початкового наближення приймається максимальна потужність БЕУ. Для відомого значення $a = a_0$ параметри b і c можна оцінити, комбінуючи метод найменших квадратів з методом лінеаризації. Використовуючи отримані

оцінки b і c , параметр a уточнюється за формулою лінійного методу найменших квадратів.

Згідно роботи [6] електроенергія, що виробляється БЕУ, визначається як інтеграл Рімана-Стільтєса стосовно інтегральної функції розподілу $F(v)$, або звичайного інтеграла Рімана при наявності неперервної диференціальної функції розподілу $\varphi(v)$:

$$E_{BEU}(T) = T \int_0^{\infty} P(v) dF(v) = T \int_0^{\infty} P(v) \varphi(v) dv, \quad (5)$$

де $P(v)$ – характеристика залежності потужності вітроустановки від швидкості вітру; T – часовий проміжок, стосовно якого визначено функцію розподілу.

У роботі [7] для моделювання стохастичного процесу виробітку вітрової електроенергії пропонується логарифмічно-нормальний розподіл:

$$E(t) \sim e^{\omega(t) + U(t)}, \quad (6)$$

де $\omega(t)$ – алгебраїчна функція, що представляє середнє значення логарифму від величини виробленої ВЕС енергії; $U(t)$ є стохастичним процесом Орнштейна-Уленбека.

Таке представлення дозволяє описувати випадковий процес у термінах розподілу Гауса (нормального розподілу).

Отже, є можливість переходу до оцінки режиму виробітку будь-якої реальної вітроелектричної установки за наступною нелінійною функцією, яка, на відміну від (3), розділяє робочу зону кривої потужності на дономінальний режим та виробіток при режимній швидкості вітру [8]. Такий підхід дозволяє враховувати технічні можливості сучасних зарядних пристроїв з однієї сторони та особливості роботи електрохімічних акумуляторних батарей, як буферних, так і тягових, що встановлені в електромобілях, з іншої.

$$E(v) = E_{MH}, \text{ при } v_0 < v \leq v_n, \begin{cases} 0 \text{ при } v < v_0, \\ E_n, \text{ при } v_n \leq v < v_{kp}, \\ 0 \text{ при } v > v_{kp}, \end{cases} \quad (7)$$

де v_0 – початкова швидкість вітру роботи ВЕУ; v_n – номінальна швидкість вітру; v_{kp} – критична швидкість вітру, при якій припиняється робота ВЕУ; E_{MH} – енергія, що може бути вироблена при швидкості вітру менше номінальної; E_n – енергія, що може бути вироблена при режимній швидкості вітру.

Дана модель показує необхідність застосування нових методів зарядження акумуляторних батарей різних типів (буферних, тягових чи інших) при малій вихідній енергії відновлюваного джерела (ВЕУ), що в свою чергу дозволяє підвищити ефективність використання низькопотенційної енергії відновлюваного джерела.

Ефективна робота будь-якої автономної зарядної станції електромобілів реалізується за умови, коли енергія, що виробляється місцевими генераторами (в даному випадку ВЕУ), дорівнює енергії, що споживається при зарядженні тягових АБ електромобілів, і в найпростішому вигляді дане співвідношення можна представити наступним чином:

$$E_{BEV} = E_{AB}^{EM}, \quad (8)$$

де E_{BEV} – енергія, що виробляється ВЕУ, кВт·год; E_{AB}^{EM} – енергія, що споживається електромобілем при його зарядженні, кВт·год; дана енергія має випадковий характер, що вимагає розроблення моделі для врахування цієї особливості.

Енергію акумуляторної батареї електромобіля можна представити у вигляді:

$$E_{AB}^{EM} = E_{AB3}^{EM} + E_{ABp}^{EM}, \quad (9)$$

де E_{AB3}^{EM} – залишкова енергія тягової АБ електромобіля, що залишається в ньому на момент початку процесу зарядження на АЗСЕМ від ВЕУ, кВт·год; E_{ABp}^{EM} – витрачена (розряджена) енергія тягової АБ електромобіля в процесі руху транспортного засобу, кВт·год.

Враховуючи нерівномірний характер виробітку електричної енергії ВЕУ як у добовому, так і в тижневому та сезонному розрізі часу з однієї сторони, та випадковий характер споживання електричної енергії електромобілями з іншої, ефективна робота АЗСЕМ від ВЕУ в плані балансування виробітку та споживання енергії можлива за умови включення до її складу буферного акумулятора. Тоді в початковий момент роботи зарядної станції електромобілів на базі ВЕУ:

$$E_{BEV} = E_{AB}^{BY\Phi} + E_{AB}^{EM}. \quad (10)$$

де $E_{AB}^{BY\Phi}$ – енергія буферного акумулятора, що входить до складу автономної вітроелектричної зарядної станції електромобілів, кВт·год.

Під час роботи такої зарядної станції, коли процес зарядження тягових АБ електромобіля гарантується буферним акумулятором, що вирівнює стохастичний виробіток енергії зі стохастичним споживанням, енергія буферного акумулятора може бути представлена наступним чином:

$$E_{AB}^{BY\Phi} = E_3^{BY\Phi} + E_p^{BY\Phi}, \quad (11)$$

де $E_3^{BY\Phi}$ – залишкова енергія, що залишається в буферному акумуляторі після зарядження електромобіля, кВт·год; $E_p^{BY\Phi}$ – енергія, витрачена на зарядження тягової АБ електромобіля, кВт·год. В такому разі $E_p^{BY\Phi} = E_{ABp}^{EM}$.

Зважаючи на це співвідношення, (10) набуде наступного вигляду:

$$E_{BEV} = E_3^{BY\Phi} + E_{AB3}^{EM} + E_p^{BY\Phi}. \quad (12)$$

Як відомо, енергія, накопичена в АБ (E_{AB}), визначається напругою на її клеммах U_{AB} (В), номінальною ємністю $C_{AB}^{ном}$ (А·год).

$$E_{AB} = U_{AB} \cdot C_{AB}^{ном}. \quad (13)$$

При цьому ємність АБ в даний момент часу визначається як

$$C = \int_0^{\tau} I \cdot d\tau, \quad (14)$$

де I – струм, А; τ – час, год.

З іншої сторони, повне значення ємності визначається функцією [8, 9]:

$$C_{AB} = 3600 C_{AB}^{\max} \cdot f(T) \cdot f(n), \quad (15)$$

де $C_{AB}^{\max}$ – повна ємність АБ, А·год; $f(T)$ – коректуючий множник для врахування залежності ємності АБ від температури; $f(n)$ – коректуючий множник для врахування старіння акумуляторної батареї при напрацюванні певного ресурсу n (зарядно-розрядних циклів).

Використання залежності (15) необхідне для опису стану АБ на момент її зарядження при визначенні ключових точок (параметрів стану АБ) системою контролю акумулятора (BMS – battery monitoring system).

Енергія, що надається АБ під час зарядження (E_{AB}^{BX}), враховує також коефіцієнт корисної дії процесу заряду η_{AB}^3 , тоді:

$$E_{AB}^{BX} = U_{AB} \cdot I_{AB}^3 \cdot \tau^3 \cdot \eta_{AB}^3. \quad (16)$$

Енергія, що відбирається від АБ в процесі розряду (E_{AB}^{BIX}), враховує також коефіцієнт корисної дії процесу розряду η_{AB}^P , тоді:

$$E_{AB}^{BIX} = U_{AB} \cdot I_{AB}^P \cdot \tau^P \cdot \eta_{AB}^P. \quad (17)$$

Відповідно, загальний коефіцієнт роботи АБ (η_{AB}) являтиме собою добуток:

$$\eta_{AB} = \eta_{AB}^3 \cdot \eta_{AB}^P. \quad (18)$$

Зважаючи на відмічене вище, енергія, необхідна для зарядження АБ електромобіля, становитиме:

$$E_{AB}^{EM} = U_{AB} \cdot \eta_{AB} \int_{C_0}^1 C_{AB}^3 \cdot \psi(C) \cdot dc, \quad (19)$$

де $\psi(C)$ – функція, що враховує випадковий характер та частоту настання процесу зарядження АБ електромобіля.

Визначення функції $\psi(C)$ можна проводити евристичним методом на основі прийняття пев-

них припущень з урахуванням особливості роботи та вимог щодо експлуатації тягових АБ електромобіля. У випадку застосування в електромобілях літій-іонних АБ (90% світового ринку електромобілів) приймаємо:

1) Мінімальний залишковий заряд АБ перед його зарядженням повинен становити не менше 20%, що пояснюється значною віддаленістю між собою зарядних станцій (згідно [10] для автомобілів Tesla Model S віддаленість між зарядними станціями пропонується 80 км, що при залишковому заряді менше 20% може призвести до того, що автомобіль не доїде до зарядної станції; згідно [11] для автомобілів Nissan Leaf віддаленість між зарядними станціями пропонується 30 км, що при залишковому заряді менше 20% може призвести до того, що автомобіль не доїде до зарядної станції) та негативними впливом повного розряду АБ на ресурс роботи акумулятора.

2) Ступінь зарядження тягових АБ електромобіля повинен становити не більше 70%, що дозволить проводити процес зарядження. При більших ступенях зарядження процес заряду відбувається повільно через концентраційні обмеження (зменшення носіїв заряду іонів Li^+), тому застосування швидкого заряду стає неможливим, а повільний заряд не задовольняє сучасним вимогам швидкості заправки транспортних засобів, яка повинна становити не більше 0,5 год.

3) Рівномірний розподіл імовірності проміжних значень ступеня зарядження виглядає нереалістичним, оскільки мінімальний рівень є небажаним із різних міркувань, а при максимальному – дозаряджатися здається недоцільним. Отже, має бути певний максимум імовірного ступеня зарядження. Можливим варіантом опису функції щільності розподілу його імовірності може бути нормальний розподіл, обмежений зверху та знизу. Приклад застосування такого розподілу (Truncated Normal distribution) можна знайти, наприклад, в [12].

На основі зазначених припущень отримано розподіл настання процесу зарядження тягових АБ електромобіля (рис. 4).

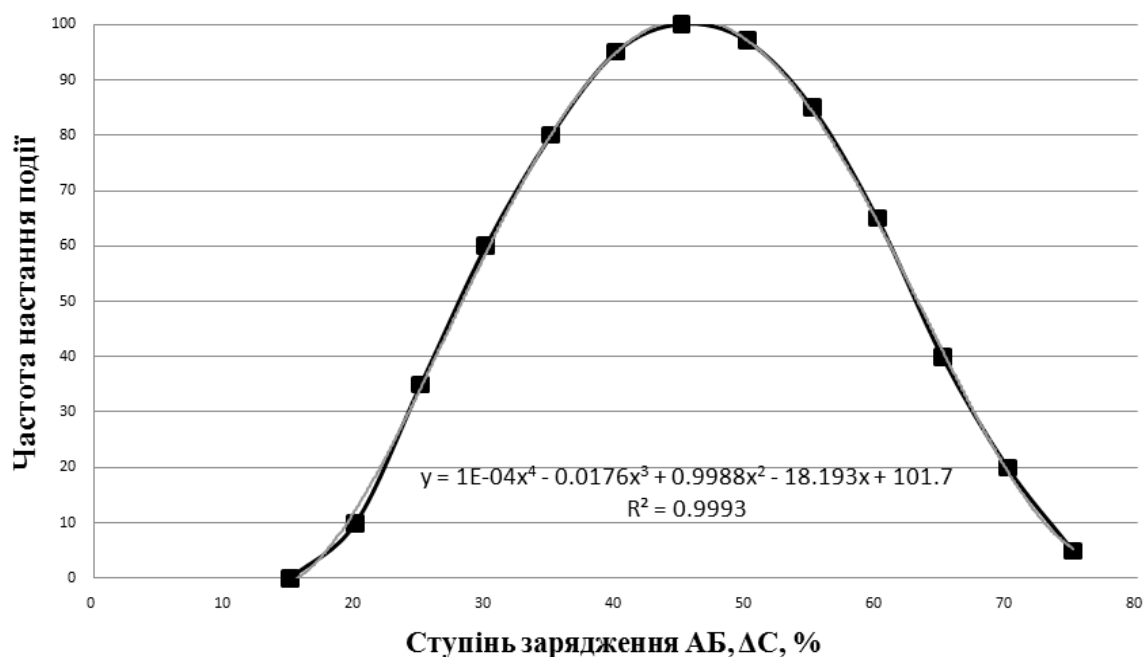


Рис. 3. Розподіл можливого зарядження АБ електромобіля при різних ступенях заряду акумуляторів.

Отриману залежність слід обмежити по мінімальному ступеню зарядження АБ ЕМ в 20%, оскільки при менших залишкових значеннях заряду акумулятора електромобіль не зможе дійхати до зарядної станції. З іншої сторони, при заряді АБ ЕМ більше 70% ймовірність того, що електромобіль буде заїжджати на зарядну станцію, теж наближається до 0. Для отриманої математичної залежності $\psi(C)$ на криву було нанесено лінію тренда, в результаті при застосуванні поліноміального закону коефіцієнт кореляції склав 0,9993.

Враховуючи отримані результати, узагальнена математична модель роботи АЗСЕМ від ВЕУ з урахуванням (12) виглядатиме наступним чином:

$$T \int_0^{\infty} P(v) \varphi(v) dv = E_3^{BY\Phi} + E_{AB3}^{EM} + U_{AB} \cdot \eta_{AB} \int_{C_0}^1 C_{AB}^3 \cdot \psi(C) \cdot dc. \quad (20)$$

Для описання функції $\psi(C)$ можливе застосування й інших підходів, зокрема теорії черг, з метою порівняння з отриманою залежністю в даному дослідженні та визначення адекватності запропонованих моделей, що буде виконано в подальших наукових дослідженнях.

Висновки. 1. Проведено аналіз існуючих математичних моделей, що описують процес перетворення кінетичної енергії вітрового потоку в електричну енергію при застосуванні вітроелектричних установок.

2. Запропоновано рівняння визначення енергії заряду тягової акумуляторної батареї електромобіля, в яке включено функцію $\psi(C)$, що враховує випадковий характер та частоту настання процесу зарядження АБ електромобіля.

3. Вперше запропоновано математичну модель роботи автономної зарядної станції електромобілів від вітроелектричних установок з буферним акумулятором енергії, яка наближено описує випадковий характер та частоту настання процесу зарядження АБ електромобіля.

1. Кудря С.О. "Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії" – Підручник. – Київ: Національний технічний університет України ("КП"), 2012. – 495 с.

2. Кудря С.О., Буди́ко В.І. "Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії" – електронний курс лекцій – Київ: Національний технічний університет України ("КП"), 2013. – 360 с.

3. Інтернет-ресурс. Режим доступу: <http://data.gov.ua>

4. S. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi, A. Louche, "A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/wind system", Energy Policy, Volume 35, Issue 11, pp. 5708-5718, 2007.

5. Методи прогнозування вітрового енергетичного потенціалу регіону: автореф. дис. канд.техн.наук /

3. У. Рамазанова; НАН України. Ін-т відновлюв. енергетики. – К., 2007. – 19 с.

6. Інтернет-ресурс. Режим доступу: http://sites.znu.edu.ua/bank/public_files/2009/10/matanaliz/7.pdf

7. M. Olsson, M. Perninge, L. Syder Modeling real-time balancing power demands in wind power systems using stochastic differential equations Electric Power Systems Research 80 (2010) 966 – 974.

8. Буди́ко В. І. Використання енергопотенціалу вітру та сонця в автономних енергосистемах на території України / В.І.Буди́ко // Відновлювана енергетика. – 2010. – № 1. – С. 26 – 35.

9. Chen M., Rincon-Mora G. A. Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and IV performance //Energy conversion, iee transactions on. – 2006. – Т. 21. – №.2. – С. 504 – 511.

10. Буди́ко В.І. Аналіз доцільності впровадження зарядних станцій електромобілів на основі відновлюваних джерел енергії в Україні / В.І.Буди́ко // Відновлювана енергетика. – 2016. – № 4. – С. 32 – 41.

11. Інтернет-ресурс. Режим доступу: <http://nissan-elektro.com.ua/>

12. J.A.Carta, P.Ramírez. Use of finite mixture distribution models in the analysis of wind energy in the Canarian Archipelago // Energy Conversion and Management V.48, Is.1, 2007, P.281 – 291.

REFERENCES

1. Kudrya S.O. "Non-traditional and renewable energy sources" – Textbook. – Kyiv: National Technical University of Ukraine (KPI), 2012. – 495 p.

2. Kudrya S.O., Budko V.I. "Introduction to. Unconventional and Renewable Energy" – electronic course of lectures – Kyiv: National Technical University of Ukraine (" KPI "), 2013 – 360 p.

3. Online resource. Access mode: <http://data.gov.ua>

4. S. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi, A. Louche, "A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/wind system", Energy Policy, Volume 35, Issue 11, pp. 5708-5718, 2007.

5. Methods of forecasting the wind energy potential of the region: author's abstract. Dis ... Cand. Tech Sciences / Z. U. Ramazanov; NAS of Ukraine. In-t recovered. Power engineering – K., 2007. – 19 c.

6. Internet resource. Access mode: http://sites.znu.edu.ua/bank/public_files/2009/10/matanaliz/7.pdf

7. M. Olsson, M. Perninge, L. Syder Modeling real-time balancing power demands in wind power systems using stochastic differential equations Electric Power Systems Research 80 (2010) 966-974

8. Budko V. I. Using the power potential of wind and the sun in autonomous power systems in the territory of Ukraine / V. I. Budko // Renewable energy. – 2010. – No. 1. – S. 26-35.

9. Chen M., Rincon-Mora G. A. Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and IV performance //Energy conversion, iee transactions on. – 2006. – Т. 21. – №. 2. – С. 504-511.

10. Budko V. I. The analysis of expediency of introduction of electric vehicle charging stations on the basis of renewable energy sources in ukraine / V. I. Budko // Renewable energy. – 2016. – No. 4. – P. 32-41.

11. Online resource. Access mode: <http://nissan-elektro.com.ua/Chemical conductors Sources: Directory / Under the editors N.V. Korovin and A. M. Skudyn. – M.: MEI Publishing, 2003. – 740p.>

12. J.A.Carta, P.Ramírez. Use of finite mixture distribution models in the analysis of wind energy in the Canarian Archipelago // Energy Conversion and Management V.48, Is.1, 2007, P.281-291.

В.І.Буди́ко, канд.техн.наук (Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского", Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

Разработка математической модели работы автономной зарядной станции электромобилей от ветроэлектрических установок

В работе рассмотрены вопросы особенностей математического моделирования процесса преобразования кинетической энергии ветрового потока в электрическую энергию с целью ее дальнейшего накопления в буферном аккумуляторе автономной зарядной станции и заряда тяговых аккумуляторных батарей электромобилей. Предложено математическое описание энергии заряда аккумуляторной батареи при учете специфики непостоянной нагрузки от электромобилей. Отмечена необходимость проведения дальнейших научных исследований для нахождения наиболее адекватной модели описания случайного характера и частоты наступания процесса зарядки АБ электромобиля. Библ. 12, рис. 4.
Ключевые слова: ветроэлектрическая установка, тяговая аккумуляторная батарея, электромобиль, буферный аккумулятор, автономная зарядная станция.

Budko V., candidate of technical sciences, docent (National Technical University of Ukraine "Igor Sykorsky Kyiv Polytechnic Institute", Institute of Renewable Energy National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv)

Development of mathematical model of operation of autonomous charger station of electric vehicles from wind electric units

The paper considers the features of the mathematical modeling of the process of converting the kinetic energy of the wind stream into electrical energy in order to further accumulate it in the buffer accumulator of the autonomous charging station and the charge of the traction battery of electric vehicles. The mathematical description of the energy of the charge of the battery is proposed, taking into account the specificity of the non-constant load from the electric vehicles. The necessity of carrying out further scientific researches is found for finding the

most adequate model of the description of the accidental nature and frequency of the process of charging AB of an electric vehicle. References 12, figures 4.

Keywords: wind power plant, traction battery, electric vehicle, buffer battery, autonomous charging station.

SYNOPSIS

This paper considers the possibility of constructing a generalized mathematical model for converting the kinetic energy of the wind stream into the chemical energy of the active components of the traction battery of the electric vehicle when using an autonomous charging station based on wind power

plants. An analysis of the mathematical models of the work of the wind power plants showed a high degree of their workability, while the mathematical model that describes the random nature and frequency of the onset of the process of charging the AB electric vehicle to date is not. As a result of the analysis of existing approaches to describing the battery power of a battery, a new mathematical equation is proposed which, unlike the existing, includes the function $f = (c)$, which takes into account the random nature and frequency of the charge of the AB electric vehicle. The application of the heuristic approach for determining the function $f(C)$ was proposed, which allowed to obtain a mathematical equation that approximates the random nature and frequency of the charge process of the AB electric vehicle.

Стаття надійшла до редакції 10.07.17

Остаточна версія 02.08.17

Х МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ. ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА - 2017
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ, АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

7-9
листопада

ІЕС

МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, Київ, Броварський пр-т, 15
М "Лівобережна"
☎ +38 044 201-11-66, 206-87-86
e-mail: energo@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.мвц.укр
www.tech-expo.com.ua

ОРГАНІЗАТОР:
Міжнародний виставковий центр

ЗА ПІДТРИМКИ:
Міністерства регіонального розвитку, будівництва
та житлово-комунального господарства України
Державного агентства з енергоефективності
та енергозбереження України

Технічний партнер: **RentMedia**