

ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

В.Ю. Рамш, кандидат технічних наук, доцент

М.В. Потапенко, кандидат технічних наук, доцент

П.М. Дарморіс, старший викладач

В.Л. Шаршонь, асистент

*Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і
природокористування України "Бережанський агротехнічний інститут"*

e-mail: m.potapenko19@gmail.com

Анотація. Вітроенергетичні установки є одними із найбільш поширених способів отримання чистої електроенергії через можливість практично необмеженого їх застосування.

Оцінка надійності необхідна для більш точного визначення вироблення електроенергії вітроенергетичною установкою. Для визначення збитків від ненадійності обладнання необхідно знати статистичні дані щодо відмов та часу відновлення елементів та вітроенергетичної установки в цілому.

Метою дослідження є розробка методики визначення показників експлуатаційної надійності вітроенергетичних установок на основі статистичних даних про відмови їх елементів.

Для повної кількісної характеристики надійності установок використовуються критеріїв надійності. Для визначення надійності вітроенергетичних установок доцільно використовувати коефіцієнт оперативної готовності.

Оперативне відновлення вітроенергетичних установок після появи відмов є одним із основних методів підвищення надійності електропостачання. Дії, спрямовані на відновлення установки, що відмовила, є елементом технічного обслуговування. При цьому ефективність відновлення визначається ремонтпридатністю її елементів, кількістю обслуговуючого персоналу, його навченістю, наявністю контрольно-вимірювальних засобів, організацією процесу відновлення тощо.

Встановлено, що оцінку показників надійності елементів вітроенергетичних установок та дослідження законів розподілу їх відмов і часу відновлення доцільно проводити за статистичними даними про відмови, які виявлені в ході планового контролю, викладені у звітах обслуговування, а також відомостями про поточні відмови, зафіксовані у журналах оперативного контролю вітроенергетичних установок.

Даний метод визначення показників надійності дозволяє більш точно встановити параметри елементів вітроенергетичних установок і може бути використаний для прогнозування ресурсу їх роботи.

Ключові слова: надійність, вітроенергетична установка, відмова, статистичні дані, час відновлення, коефіцієнт оперативної готовності.

Актуальність. Перехід енергетики на відновлювані джерела енергії є одним з основних методів протидії забрудненню навколишнього середовища та зміни клімату. Відбувається використання дедалі більшої кількості установок, які здатні перетворювати різні види енергії на електричну. Вітроенергетичні установки (ВЕУ) є одними із найбільш поширених способів отримання чистої електроенергії через можливість практично необмеженого їх застосування.

У випадку використання ВЕУ в якості джерела електроенергії найбільш прийнятними є схеми паралельної роботи установок із загальною мережею [1].

Експлуатаційна надійність вітроенергетичних установок є одним з основних факторів, що впливають на процес розвитку вітроенергетики.

Кількість виробників електроенергії, що використовують у своїй роботі енергію вітру, в даний час є незначною, що не відповідає наявному вітрового потенціалу і надалі, безсумнівно, буде тільки зростати [2]. При цьому актуальним стає завдання підвищення надійної та безперебійної роботи систем електропостачання, особливо під час роботи ВЕУ у складі загальної енергосистеми.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. До найважливіших характеристик ефективності процесів технічної експлуатації вітроенергетичних установок належать характеристики їх експлуатаційної надійності. Оцінка надійності вітроенергетичних установок необхідна для більш точного визначення вироблення електроенергії ВЕУ. Досвід експлуатації показує, що ВЕУ виробляє менше розрахункової кількості електроенергії внаслідок відмови її основних вузлів. Відмова вузлів вітроенергетичних установок відбувається під час її експлуатації. Отже, період відновлення буде припадати на період вітряної погоди, сприятливої для вироблення електроенергії ВЕУ. Для визначення збитків від ненадійності обладнання необхідно знати статистичні дані щодо відмов та часу відновлення елементів та ВЕУ в цілому.

Тому зусилля розробників ВЕУ у великій мірі спрямовані на пошук технічних рішень, що сприяють зниженню капітальних та експлуатаційних витрат, підвищенню видобутку електроенергії і підвищенню експлуатаційної надійності [3].

Мета дослідження – розробка методики визначення показників експлуатаційної надійності вітроенергетичних установок на основі статистичних даних про відмови їх елементів.

Матеріали і методи дослідження. Надійність і безперебійність електропостачання джерел електроенергії, які працюють паралельно з мережею, великою мірою залежить від безвідмовної роботи безпосередньо самих джерел, тобто від безвідмовної роботи ВЕУ. Тому виникає необхідність забезпечення заданого рівня надійності роботи ВЕУ та її елементів.

З позиції теорії надійності можна виділити чотири основні стани, в які періодично переходять елементи ВЕУ протягом усього часу їх експлуатації:

- робочий стан, коли елемент несе функціональне навантаження або знаходиться в навантаженому резерві;
- перебування у ненавантаженому резерві, коли справний елемент не має жодного навантаження;
- стан профілактики чи планового ремонту, протягом якого проводиться технічне обслуговування елемента; сюди ж за характером простоїв відносяться короткочасні відключення ВЕУ під час оперативних перемикань;
- аварійний стан, коли елемент у зв'язку з його пошкодженням не здатний виконувати призначені йому функції.

Для повної кількісної характеристики надійності ВЕУ використовуються певні критерії, які розбиваються на декілька груп [4]. До найбільш відомих і широко застосовуваних критеріїв надійності відносяться: ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$, ймовірність відмови $Q(t)$, інтенсивність відмов $\lambda(t)$, середнє напрацювання до відмови T тощо.

Результати досліджень та їх обговорення. Під характеристикою надійності ВЕУ розуміють кількісне значення критерію надійності. З точки зору критеріїв, що

характеризують надійність, ВЕУ відносяться до відновлюваних систем. Це означає, що протягом експлуатації установки допускають ремонт (відновлення).

В даному випадку процес відновлення також, як і процес виникнення відмов, є ймовірнісним. Причому в якості випадкової величини виступає час відновлення, а під ймовірністю відновлення розуміють ймовірність того, що працездатність ВЕУ буде відновлено після відмови за заданий час, тобто час відновлення при цьому буде меншим заданого. Ймовірність відновлення – це ймовірність того, що відбудеться подія по відновленню установки, тобто усуненню відмови.

У випадку розподілу часу відновлення за експоненційним законом ймовірність відновлення визначається за формулою [5]:

$$P_B(t) = 1 - e^{-\mu t}. \quad (1)$$

При цьому ймовірність не відновлення рівна:

$$Q_B(t) = e^{-\mu t}. \quad (2)$$

Інтенсивність відновлення μ в загальному випадку визначається як відношення кількості відновлень за одиницю часу до кількості елементів, що залишилися ще не відновленими, до даного моменту часу. При експоненційному законі справедливий вираз:

$$\mu = \frac{1}{T_B}, \quad (3)$$

де T_B – час відновлення, який можна визначити як:

$$T_B = \int_0^{\infty} Q_B(t) dt. \quad (4)$$

Статистичне визначення часу відновлення наступне:

$$T_B^* = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_{Bi}}{n}, \quad (5)$$

де τ_{Bi} – час, що витрачається на усунення i -ої відмови; n – кількість відмов.

Величина T_B^* показує, скільки в середньому витрачається часу на виявлення та усунення однієї відмови за заданих умов обслуговування, тобто ця величина характеризує ремонтпридатність елементів ВЕУ.

Елементи ВЕУ, що знаходяться в аварійному стані, підлягають ремонту, який відновлює їх вихідні параметри, або замінюються новими ідентичними до них елементами. Ці відновлювальні роботи вимагають певних витрат часу, тому

відновлення працездатності елемента ВЕУ з позицій теорії надійності можна розглядати як процес з кінцевим часом відновлення [6]. При цьому ймовірність того, що безперебійність електропостачання не буде порушена через ненадійність установки, визначається за формулою:

$$N(t) = P_0 P(t) + (1 - P_0) P_B(\tau) P(t - \tau), \quad (6)$$

де P_0 – ймовірність справного стану ВЕУ в початковий момент; $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи ВЕУ за заданий час t ; $P_B(\tau)$ – ймовірність відновлення і перевірки установки на момент t ; $P(t - \tau)$ – ймовірність безвідмовної роботи установки за час, що залишився $(t - \tau)$.

Якщо $T > \tau$, то:

$$P(t) = \frac{T}{T + T_R} e^{-\frac{t}{T}}. \quad (7)$$

У даному виразі величину $\frac{T}{T + T_R}$ прийнято називати коефіцієнтом готовності установки K_R , тобто стаціонарною ймовірністю того, що ВЕУ буде знаходитись у робочому стані в будь-який час. Коефіцієнт готовності є відносною мірою втрати працездатності.

Вираз (7) можна записати в наступному вигляді:

$$P(t) = K_R e^{-\frac{t}{T}} = K_{ор}(t). \quad (8)$$

В даному виразі $K_{ор}(t)$ – коефіцієнт оперативної готовності, тобто ймовірність того, що ВЕУ буде працездатна у довільний момент часу і безвідмовно пропрацює заданий час.

Для визначення значення коефіцієнта оперативної готовності використовується наступна статистична оцінка:

$$K_{ор}^*(t) = \frac{N_t}{N_0}, \quad (9)$$

де N_0 – загальна кількість ВЕУ в момент часу $t=0$; N_t – кількість ВЕУ, що знаходяться у справному стані в момент часу t .

Для визначення значення $k_{ор}^*$ окремої ВЕУ доцільно використовувати наступну статистичну оцінку:

$$k_{ор}^* = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n t_{вi}}, \quad (10)$$

де t_i – i -й інтервал часу справної роботи окремої ВЕУ; $t_{вi}$ – i -й інтервал часу відновлення ВЕУ; n – кількість відмов ВЕУ.

Оперативне відновлення ВЕУ після появи відмов є одним із основних методів підвищення надійності електропостачання. Дії, спрямовані на відновлення ВЕУ, що відмовила, є елементом технічного обслуговування. При цьому ефективність відновлення ВЕУ визначається ремонтпридатністю її елементів, кількістю обслуговуючого персоналу, його навченістю, наявністю контрольно-вимірювальних засобів, організацією процесу відновлення тощо.

Висновки і перспективи. Встановлено, що оцінку показників надійності елементів ВЕУ та дослідження законів розподілу їх відмов і часу відновлення доцільно проводити за статистичними даними про відмови, які виявлені в ході планового контролю, викладені у звітах обслуговування, а також відомостями про поточні відмови, зафіксовані у журналах оперативного контролю вітроенергетичних установок.

Даний метод визначення показників надійності дозволяє більш точно встановити параметри елементів вітроенергетичних установок і може бути використаний для прогнозування ресурсу їх роботи.

Список використаних джерел

1. Кудря С.О., Головка В.М. Основи конструювання енергоустановок з відновлювальними джерелами енергії. К.: НТУ "КПІ", 2009. 201 с.
2. Серіков Я.О., Пархоменко О.М. Вітроенергетика. Перспективи та проблеми розвитку. *Світлотехніка та електроенергетика*. 2010. № 1. С. 66–70.
3. Алексієвський Д.Г. Синтез електромеханічних систем вітроенергетичних установок з аеродинамічним мультиплікуванням: дис. ... д-ра техн. наук: 05.09.03. НТУ "ХПІ". Харків, 2020. 313 с.
4. Васілевський О. М., Ігнатенко О. Г. Нормування показників надійності технічних засобів: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 160 с.
5. Дзюба Л.Ф., Лютий Є.М., Зима Ю. В. Основи надійності машин. Львів: Логос, 2003. 204 с.
6. Казанський С.В., Матеєнко Ю.П., Сердюк Б.М. Надійність електроенергетичних систем: навчальний посібник. К.: НТУУ «КПІ», 2011. 216 с.

References

1. Kudria, S.O., Holovko V.M. (2009). *Osnovy konstruiuvannia enerhoustanovok z vidnovliualnymy dzherelamy enerhii* [Fundamentals of Designing Power Plants with Renewable Energy Sources]. Kyiv: NTU "KPI", 201.

2. Sierikov, Ya.O., Parkhomenko, O.M. (2010). Vitroenerhetyka. Perspektyvy ta problemy rozvytku [Wind energy. Prospects and problems of development]. Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka, 1, 66–70.

3Aleksiievskyi, D.H. (2020). Syntez elektromekhanichnykh system vitroenerhetychnykh ustanovok z aerodynamichnym multiplykuvanniam [Synthesis of electromechanical systems of wind power plants with aerodynamic multiplication]: dys. ... d-ra tekhn. nauk: 05.09.03. NTU "KhPI". Kharkiv, 13.

4. Vasilevskyi, O. M., Ihnatenko, O. H. (2013). Normuvannia pokaznykiv nadiinosti tekhnichnykh zasobiv: navchalnyi posibnyk [Standardization of reliability indicators of technical means: study guide]. Vinnytsia: VNTU, 160.

5. Dziuba, L.F., Liutyi, Ye.M., Zyma, Yu. V. (2003). Osnovy nadiinosti mashyn [Basics of machine reliability]. Lviv: Lohos, 204.

6. Kazanskyi, S.V., Mateienko, Yu.P., Serdiuk, B.M. (2011). Nadiinist elektroenerhetychnykh system: navchalnyi posibnyk [Reliability of electric power systems: study guide]. K.: NTUU «KPI», 216.

ASSESSMENT OF OPERATIONAL RELIABILITY OF WIND POWER INSTALLATIONS

V. Ramsh, M. Potapenko, P. Darmoris, V. Sharshon

Annotation. *Wind power installations are one of the most common ways to generate clean electricity due to the possibility of their almost unlimited application.*

Reliability assessment is necessary to more accurately determine the electricity production of a wind power installation. To determine the damage caused by equipment unreliability, it is necessary to know statistical data regarding failures and recovery times of elements and the wind power installation as a whole.

The purpose of the study is to develop a methodology for determining the operational reliability indicators of wind power installations based on statistical data on the failure of their elements.

To fully quantitatively characterize the reliability of installations, reliability criteria are used. To determine the reliability of wind power installations, it is advisable to use the coefficient of operational readiness.

Prompt restoration of wind power installations after the occurrence of failures is one of the main methods of increasing the reliability of electricity supply. Actions aimed at restoring a failed installation are an element of maintenance. In this case, the effectiveness of the update is determined by the maintainability of its elements, the number of maintenance personnel, their training, the availability of control and measuring equipment, the organization of the restoration process, etc.

It has been established that it is advisable to assess the reliability indicators of elements of wind power installations and study the laws of distribution of their failures and recovery time using statistical data on failure, identified during scheduled monitoring, set out in maintenance reports, as well as information about current failures recorded in the operational monitoring logs of wind power installations.

This method for determining reliability indicators allows you to more accurately determine the parameters of the elements of wind power installations and can be used to predict their service life.

Key words: *reliability, wind power installation, failure, statistical data, recovery time, coefficient of operational readiness.*