

## РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.4.031

**О.М. Сінчук**, д-р техн. наук

ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, Україна

**Д.А. Михайличенко**, ст. викладач

**С.М. Бойко**, аспірант

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна

**О.М. Городній**, аспірант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОНОМНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ В ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ

**О.Н. Синчук**, д-р техн. наук

ГВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, Украина

**Д.А. Михайличенко**, ст. преподаватель

**С.Н. Бойко**, аспирант

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг, Украина

**О.Н. Городний**, аспирант

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОНОМНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ

**О.М. Sinchyk**, Doctor of Technical Sciences

SHEE Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

**D.A. Mykhailychenko**, senior teacher

**S.M. Boyko**, PhD student

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

**O.M. Horodniy**, PhD student

Chernihiv State Technological University, Chernihiv, Ukraine

### FEATURES OF OPERATION OF THE AUTONOMOUS WIND-POWER INSTALLATION IN THE UNDERGROUND MINE IRON WORKINGS OR MINES

*Проаналізована можливість і специфіка роботи вітроенергетичного комплексу в умовах діючих підземних виробок залізрудних шахт. Обґрунтовано застосування для шахт вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання. Доведено, що найбільш ефективними з розглянутих у статті типів вітрогенераторів для умов шахт є використання вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання. Розраховано очікувану потужність вітрових мініелектростанцій для підземних гірничих виробок 0,5...4 кВт, що дозволить забезпечити живлення освітлення шахти. Розроблена структура електромеханічної частини вітроенергетичного комплексу і система управління ним з прогнозованим потенціалом надійності та якості електропостачання споживачів.*

**Ключові слова:** електропостачання, електричні установки, вітрогенератор, альтернативні джерела енергії.

*Проанализирована возможность и специфика работы ветроэнергетического комплекса в условиях действующих подземных выработок железорудных шахт. Обосновано применение для шахт ветрогенераторов с вертикальной осью вращения. Доказано, что наиболее эффективными из рассмотренных в статье типов ветрогенераторов для условий шахт есть использование ветрогенераторов с вертикальной осью вращения. Рассчитана ожидаемая мощность ветровых миниэлектростанций для подземных горных выработок 0,5...4 кВт, что позволит обеспечить питание освещения шахты. Разработанная структура электромеханической части ветроэнергетического комплекса и система управления ним с прогнозируемым потенциалом надежности и качества электропитания потребителей.*

**Ключевые слова:** электроснабжение, электрические установки, ветрогенератор, альтернативные источники энергии.

*Analysed possibility and specific of work of wind energy complex in the conditions of the operating underground making of iron-ore mines. Possible power turbines with different wind wheels in underground excavation mining. The data regarding the orthogonal vitroustanovky for mine conditions. The application for mines, wind generators with vertical rotation axis. It is shown that the most effective in terms of mine is wind turbines with vertical axis rotation. Calculated the expected wind power minielektrostantsiy for underground mining. Developed structure of electromechanics part of wind energy complex and control system by him with the forecast potential of reliability and internalss of elektrosnabzhenye of users.*

**Key words:** power supply, electrical installations, wind turbine, alternative energy sources.

**Постановка проблеми.** У зв'язку зі зростанням попиту на електричну енергію (ЕЕ) та цін на її виробництво, а також комплексом екологічних обмежень все більш актуальним стає завдання збільшення об'ємів отримання ЕЕ завдяки використанню поновлюваних нетрадиційних джерел, особливо енергії вітру, яка за допомогою вітрових електричних установок (ВЕУ) перетворюється в електричну [1; 2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз досліджень та публікацій показав широкомасштабне впровадження ВЕУ як в Україні, так і світі [1]. Однак впровадження ВЕУ у підземних виробках залізрудних шахт за наявності, в силу технології ведення гірничих робіт, постійного вентиляційного потоку поки ще не відбулося [3].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Важливо, що очікуваний ефект від впровадження ВЕУ можливо досягти лише при масовому використанні та впровадженні ВЕУ, в тому числі у промисловості та побуті. Цікавим у цьому напрямку можуть бути підземні рудничні виробки шахт, де згідно з технологією ведення робіт постійно присутній штучно створюваний потік повітря з його сталими параметрами.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є розроблення теоретичних аспектів та практичних рішень по використанню повітряного вентиляційного потоку підземних гірничих виробок залізрудних шахт для отримання електричної енергії завдяки створенню автономного вітроенергетичного комплексу з автоматичною системою управління.

**Виклад основного матеріалу.** Для досягнення вищевикладеної мети була проаналізована можливість і специфіка роботи вітроенергетичного комплексу (ВЕК) в умовах діючих підземних виробок залізрудних шахт, розроблена конструкція комплексу з вертикальною віссю обертання прямого перетворення енергії вітру в ЕЕ, синтезована його структура.

Особливістю використання енергії вентиляційного повітря в підземних виробках шахт є обмеження розмірів вітроколеса, напрям та сила вентиляційного повітря. Виходячи з цих особливостей, при виборі вітроколеса для вітрогенератора треба враховувати певні суттєві відмінності від класичних [1; 3].

Так, потужність, яку буде виробляти вітрова установка, залежить не лише від швидкості потоку, але й від геометричних розмірів вітрового колеса, коефіцієнта використання енергії вітру, густини середовища (у цьому випадку шахтного повітря). Можлива величина потужності, вироблена вітроустановкою, визначається за формулою (1), Вт

$$N_{\text{vey}} = 0,5\rho V^3 S E, \quad (1)$$

де  $E$  – коефіцієнт використання енергії вітру (КВЕВ), %;  $\rho$  – густина повітря,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;  $V$  – швидкість вітру,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $S$  – площа, описана лопатями вітрового колеса,  $\text{м}^2$ .

Площа, описана лопатями вітрового колеса, визначається за формулою (2),  $\text{м}^2$

$$S = 2\pi R b, \quad (2)$$

де  $R$  – радіус вітрового колеса,  $\text{м}$ ;  $b$  – висота вітрового колеса,  $\text{м}$ .

КВЕВ ідеального вітряка обчислюється за формулою Жуковського [2; 5] і становить 0,593. Для ортогональних вітряків КВЕВ цей коефіцієнт становить від 0,15 до 0,2. У цьому випадку можна прийняти  $E = 0,2$ .

Як відомо [2; 4], густина повітря у шахтах відрізняється від густини атмосферного. Такі чинники, як температура, тиск, вологість та в'язкість, визначають величину густини шахтного повітря на певній глибині шахти. У такому розрахунку за найменшу глибину шахти прийнята реальна – у 500 м, а за найбільшу – 1500 м [3]. Це допомагає провести розрахунок потужності вітрових установок для різних глибин шахт.

Як указано вище, швидкість також є змінним параметром, що обумовлено правилами безпеки вентиляції шахт і має свій діапазон величин [2; 3]. Це також допомагає об-

числювати потужність встановленої вітрової енергетичної установки для різної швидкості вентиляційних потоків.

Вітрова установка з горизонтальною віссю обертання:

- довжина лопаті – 0,8 м;
- швидкість повітря – 5...15 м/с;
- коефіцієнт використання енергії вітру – 20 %;
- площа, описана лопатями, – 2,0096;
- ККД генератора – 85 %;
- ККД редуктора – 90 %;
- густина середовища – 1,22 кг/м<sup>3</sup>.

Вітровий генератор з вертикальною віссю обертання першого типу (бочка):

- ширина лопаті – 0,8 м;
- висота лопаті – 1,5 м;
- описана площа – 9,891 м<sup>2</sup>;
- швидкість повітря – 5...15 м/с;
- коефіцієнт використання енергії вітру – 20 %;
- ККД генератора – 85 %;
- густина середовища – 1,22 кг/м<sup>3</sup>.

Вітровий генератор з вертикальною віссю обертання другого типу:

- ширина лопаті – 0,8 м;
- висота лопаті – 1,5 м;
- описана площа – 7,54 м<sup>2</sup>;
- швидкість повітря – 5...15 м/с;
- коефіцієнт використання енергії вітру – 20 %;
- ККД генератора – 85 %;
- густина середовища – 1,22 кг/м<sup>3</sup>.

Потужність вітрової установки в заданому діапазоні швидкостей вітру визначиться за формулою (1), Вт.

Результати розрахунку відображено на рис. 1 (Nvret).

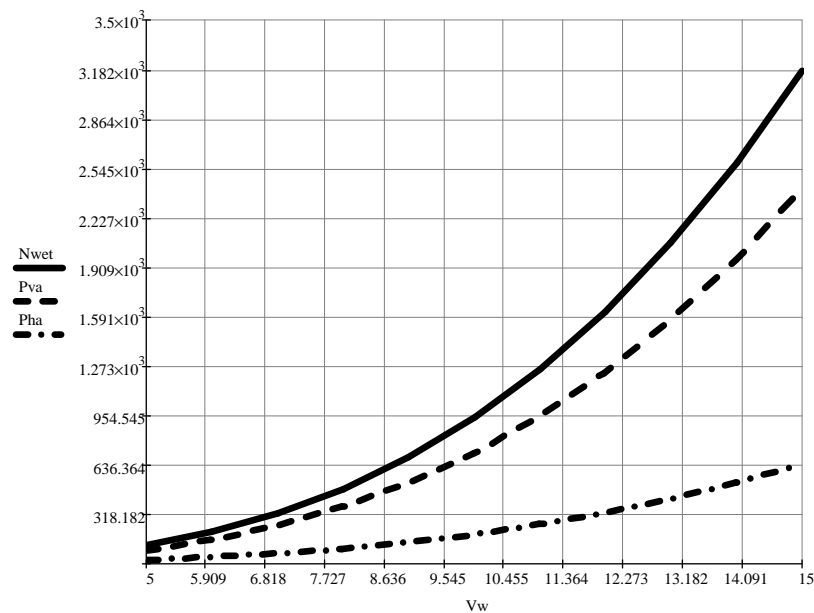


Рис. 1. Графік залежності потужностей розглянутих вітрогенераторів від швидкості вітру:  
Pha – вітрогенератор з горизонтальною віссю обертання; Pva – вітрогенератор з вертикальною віссю обертання типу «бочка»; Nvret – вітрогенератор з вертикальною віссю обертання

Аналіз рис. 1 отриманого графіка залежностей потужностей розглянутих вітрогенераторів від швидкості вітру показує, що потужність горизонтально-осьового генератора зі зміною швидкості вітру змінюється неінтенсивно. Найінтенсивнішу зміну величини потужності зі зміною швидкості вітру можна простежити при використанні вітрового генератора з вертикальною віссю обертання першого типу. Це пов'язано з тим, що описана площа вертикального генератора у декілька разів перевищує площу горизонтально-осьового.

Проте постає питання про вибір між горизонтально-осьовими та вертикально-осьовими ВЕУ. У цій роботі пропонується використання роторної (вертикальної) вітрової установки з огляду на те, що в зазначеній сфері застосування вона має більші переваги, ніж пропелерна ВЕУ.

По-перше, для ефективної роботи горизонтальної вітроустановки необхідна орієнтація її лопатей на вітер, а отже, і побудова керуючого пристрою, який буде розгортати цю ВЕУ до вітру, що викликає складність конструкції лопаті (необхідне її скручування), складність обслуговування генератора, розміщеного у гондолі. Крім того, часто у таких установок необхідною є наявність механізму повороту лопатей та системи керування ним. Така велика і складна механічна система знижує надійність, підвищує періодичність технічного обслуговування, знижує термін роботи вітроустановки.

Для вертикально-осьової вітрової установки орієнтація на вітер не потрібна, а отже, вона позбавлена вищезазначених недоліків. Такі ВЕУ можна використовувати без механічного регулювання кутів нахилу лопатей, вони не потребують штормового захисту, мають більш безпечну та надійну конструкцію, не потребують системи орієнтації на вітер, спрощується механічна трансмісія.

По-друге, усі вітрові установки мають такий суттєвий недолік: у процесі роботи, внаслідок тертя лопатей об повітря, виникають ультразвукові шуми. Проте, якщо порівняти приблизно однакові за своїми технічними та геометричними параметрами горизонтальну та вертикальну ВЕУ, то рівень шумів, які створює перша, значно більший за рівень другої. Це пояснюється конструктивними особливостями цих установок.

По-третє, внаслідок роботи будь-якого типу ВЕУ, за рахунок діючих на них сил та моментів, виникають вібрації різної сили (залежить від габаритів ВЕУ). Однак коливання, створювані роторною ВЕУ хоча і відчутні, проте менші за ті, які створює горизонтальна вітрова установка. Це є наслідком того, що зі зростанням швидкості обертання у процесі роботи горизонтальної установки створюється ефект дзиги [1; 5].

Отже, зваживши всі переваги та недоліки існуючих вітрових установок, можна сказати, що для роботи в умовах шахт вітрова установка з вертикальною віссю обертання є найбільш оптимальним варіантом.

Для освітлення підземних виробок шахт необхідна електрична енергія коливається в діапазоні 1,6...4 кВт залежно від протяжності виробок шахти та освітлювальних пристроїв.

Для досягнення вищевикладеної мети була оцінена, проаналізована можливість і специфіка роботи ВЕК в умовах діючих підземних виробок залізородних шахт (ЗРШ). Запропонована для подальших уточнень і досліджень первинна структура конструкції комплексу з вертикальною віссю обертання перетворення енергії вітру [2; 3].

Рівняння неперервності повітряного потоку зі швидкістю  $u$  у змінних Ейлера має такий вигляд (3) [4]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \cdot \operatorname{div} \vec{u} = 0, \quad (3)$$

де  $\operatorname{div} \vec{u}$  – дивергенція вектора швидкості  $\vec{u}$ ,  $\rho(x, y, z, t)$  – густина,  $\vec{u}(x, y, z, t)$  – швидкість руху газу.

Або в слідуючому вигляді (4)

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho u_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho u_z) &= 0 \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \cdot \operatorname{div} \vec{u} + (\vec{u} \operatorname{grad} \rho) &= 0 \text{ або} \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + \frac{\partial \rho}{\partial x} u_x + \frac{\partial \rho}{\partial y} u_y + \frac{\partial \rho}{\partial z} u_z &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

де,  $\operatorname{grad} \rho$  – градієнт густини  $\rho$ .

Для умови нестисненості середовища (газу повітря) рівняння нерозривності має вигляд (5)

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{u} &= 0, \text{ так як } \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0, \\ \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Для умови руху середовища, що встановився, рівняння нерозривності набуває вигляду (6)

$$\begin{aligned} \operatorname{div}(\rho \vec{u}) &= 0, \text{ оскільки } \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0, \text{ або} \\ \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Рівняння руху (рівняння Ейлера) у векторній формі має такий вигляд (7) [4; 5]

$$\frac{d\vec{u}}{dt} + (\vec{u} \nabla) \vec{u} = \vec{\sigma}_m - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p, \quad (7)$$

де  $\vec{\sigma}_m$  – напруженість,  $p$  – тиск,  $\rho$  – густина,  $\vec{u}$  – швидкість,  $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$  – оператор «набла».

Процеси аеродинаміки вітроагрегата описуються усередненими за Рейнольдсом рівняннями Нав'є-Стокса нестискуваного середовища (8)

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} &= 0, \\ \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial(u_j u_i)}{\partial x_j} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (v + \nu_i) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right], \end{aligned} \quad (8)$$

де  $x_i$ ,  $i = 1, 2$  – декартові координати  $(x, y)$ ;  $t$  – час;  $u_j$  – декартові складові вектора середньої швидкості  $(u, v)$ ;  $p$  – тиск;  $\rho$  – густина;  $\nu$  і  $\nu_i$  – молекулярний і турбулентний коефіцієнти кінематичної в'язкості.

Як початкові умови задавалися параметри незбуреного потоку у всій розрахунковій області. На зовнішній межі застосовувалися граничні умови, для розрахунку яких використовувався метод характеристик. На поверхні твердого тіла враховувалась умова прилипання.

Рівняння руху в'язкого газу запишеться у вигляді рівняння Нав'є-Стокса у векторній формі (9)

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{\sigma}_m - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p + \nu \Delta \vec{u} + \left( \frac{\zeta}{\rho} + \frac{\nu}{3} \right) \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{u}, \quad (9)$$

за умови, що  $\zeta = const$  і  $\nu = const$ , де  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$  – кінематична в'язкість (коефіцієнт внутрішнього тертя),  $\zeta$  – друга в'язкість,  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} = \nabla^2 = \nabla \cdot \nabla$  – оператор Лапласа,  $\vec{\sigma}_m$  – напруженість поля масових сил,  $\rho$  – густина,  $p$  – тиск.

Виходячи з результатів досліджень, є підстави вважати, що потужність ВЕУ в умовах шахт залежить від її аеродинамічних умов [1].

Особливістю системи роботи ВЕК є те, що він є нелінійним нестационарним об'єктом управління і знаходиться під впливом динамічних вітрових навантажень, енергія яких має стохастичну природу [1].

Нині існує багато систем керування ВЕУ, які, зокрема, дозволяють працювати ВЕУ із нерегульованою швидкістю, забезпечуючи при цьому відбір максимальної потужності від вітроколеса завдяки дії на момент навантаження генератора [5]. Більшість існуючих систем потребують вдосконалення законів керування, за якими вони працюють. При керуванні вітровою енергетичною установкою доводиться стикатися із певною мірою невизначеними вихідними даними, параметрами системи. Вітроенергетичний агрегат працює за некерованим графіком [3]. Особливістю системи автоматичного керування ВЕУ є те, що вона є нелінійним нестационарним об'єктом керування і знаходиться під впливом динамічних вітрових навантажень. Вітрова енергія має стохастичну природу, тому з врахуванням інертності системи доцільним є керування ВЕУ з прогнозуванням рівня вхідної енергії.

Істотним зауваженням щодо використання існуючих законів керування за принципом *powerpointtracking* (PPT) є спрощений підхід визначення залежності між швидкістю вітру в певний момент часу і швидкістю вітрового колеса, що дає змогу знайти координати точки відбору максимальної потужності. Недостатнє врахування всіх факторів, які впливають на різницю між відносними значеннями швидкості вітру та швидкості обертання вітрового колеса, призводить до погіршення стійкості систем автоматичного керування, відхилення напруги на виводах ВЕУ, що ускладнює її експлуатацію при паралельній роботі з мережею. Вказаними факторами є відносна вологість повітря, наявність опадів, запиленість, атмосферний тиск у зоні розташування ВЕУ тощо. Ці величини змінюються (іноді досить суттєво) протягом доби, сезону, року [5]. Врахування таких чинників також обумовлює використання математичного апарату нечітких множин для побудови моделі автоматичного регулятора.

У такому випадку управління матиме нечіткий характер, що дозволить застосувати метод нечіткого керування у галузі вітроенергетики.

Вирішення поставленого завдання може бути здійснено завдяки визначенню функції оптимальної потужності вітрової турбіни з вертикальною віссю обертання та застосуванню теорії нечітких множин для синтезу цифрових нечітких регуляторів [4]. Використання нечітких регуляторів дозволяє підвищити динамічну точність та швидкодію систем автоматичного керування нестационарними об'єктами за рахунок формалізації процесу прийняття рішень на основі нечіткої логіки при кількісних параметрах стану системи. Системи автоматичного керування для відновлювальних енергетичних установок на основі нечітких регуляторів у багатьох випадках довели свою ефективність завдяки тому, що дозволяють отримати більш високу якість регулювання і, як результат, менші похибки в перехідних та сталих режимах.

Доповнення закону керування можна провести із застосуванням елементів нечітких множин, що дозволить реалізувати контур регулювання швидкості обертання вітрового колеса автоматичного регулятора збудження на контролері з підтримкою команд *FuzzyLogic* та покращити якість регулювання потужності ВЕУ в умовах дій стохастичних навантажень вітру.

Для синтезу підпорядкованого регулятора швидкості, що реалізує одну із функцій у законі, вихідний сигнал якого доцільно подавати на регулятор збудження, використаємо теорію нечітких множин, це дозволить отримати більш високу якість регулювання. При цьому слід враховувати нелінійну залежність максимальної потужності ВЕУ при різних швидкостях вітру від кутової швидкості обертання вітроколеса.

Для випадку роботи ВЕУ в шахті, незважаючи на всі переваги системи з синхронним генератором, все ж найкращим варіантом є використання асинхронного генератора.

Для використання ВЕУ в умовах залізрудних шахт необхідно вибрати надійний, малогабаритний і простий в обслуговуванні генератор необхідної потужності. Також для роботи ВЕУ на мережу в умовах залізрудних шахт найбільш ефективними із висщерозглянутих варіантів виконання ВЕУ є ВЕУ з асинхронним генератором [3].

Для роботи ВЕУ в умовах залізрудних шахт з можливістю віддачі електричної енергії в мережу найбільш характерними критеріями вибору генератора є: масогабаритні характеристики, надійність і простота в обслуговуванні, потужність генерування, якість виробленої енергії. Виходячи з вищевикладених критеріїв, найбільш підходящим для роботи ВЕУ в умовах залізрудних шахт є асинхронний генератор з короткозамкненим ротором. Використання такого типу генератора в умовах рудних шахт дозволить з невеликими фінансовими витратами отримувати якісну електричну енергію при цьому ремонтні та монтажні роботи, що стосуються генератора, проводитимуться легше за рахунок низької маси та розмірів, що особливо важливо в умовах роботи вітрового генератора в залізрудних шахтах [4].

У результаті була розроблена структура електромеханічної частини ВЕК [2], основу якої складає асинхронний генератор з короткозамкнутим ротором, за допомогою регулювання частоти і вихідної напруги якого стабілізується рівень електроспоживання підключених до нього споживачів. Велике значення для забезпечення безперебійності електропостачання споживачів при аварійних режимах роботи і при видачі генератором ВЕК не номінального рівня напруги і частоти має акумуляторна батарея (АКБ).

Під час обертання вітрового колеса та вала генератора, мікроконтролер аналізує величину сигналів, що надходять до нього, і робить висновок про величину заданої напруги для блоків симісторів. Доки ємність додаткових конденсаторів дозволяє регулювати величину вихідної частоти та напруги, ці параметри регулюються батареєю робочих конденсаторів. Якщо ж керування ємністю не приносить результату і частота та напруга продовжують зростати, то задана напруга подається на другу групу симісторів та підключає баластне навантаження, що регулює вихідну напругу та частоту.

Моделювання запропонованої моделі, яка побудована з використанням компонент теорії нечітких множин, здійснено в середовищі Matlab 6.5 [3]. Результати моделювання представлені на рис. 2.

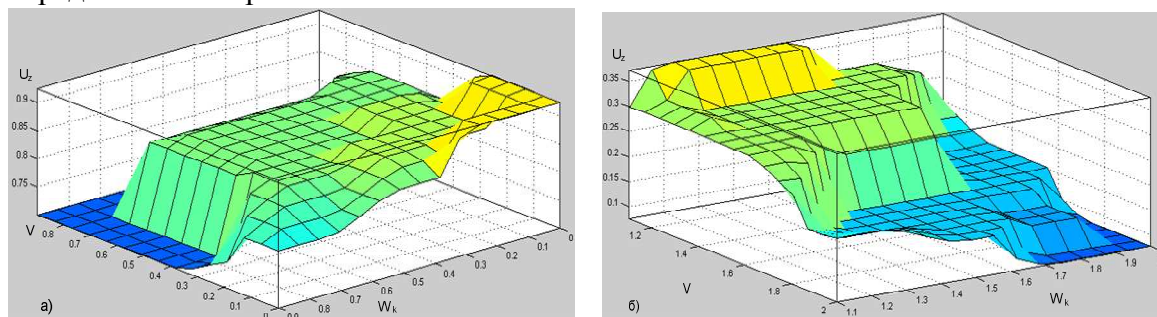


Рис. 2. Залежність напруги завдання: а) для БДК від вихідної частоти та напруги генератора, швидкості повітряного потоку та обертання ВК; б) для БН від вихідної частоти та напруги генератора, швидкості повітряного потоку та обертання ВК

Під час моделювання роботи ВЕК із системою керування на базі нечітких правил були отримані графіки, які ілюструють особливості роботи системи керування ВЕК.

На рис. 3 представлений графік зміни швидкості повітряного потоку протягом певного часу.

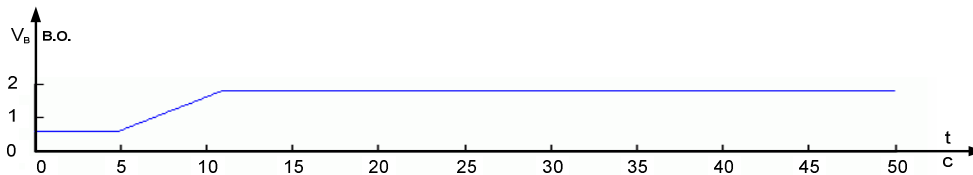


Рис. 3. Графік зміни швидкості повітряного потоку протягом певного часу

На рис. 4 представлений графік зміни частоти обертання вітрового колеса зі зміною швидкості повітряного потоку.

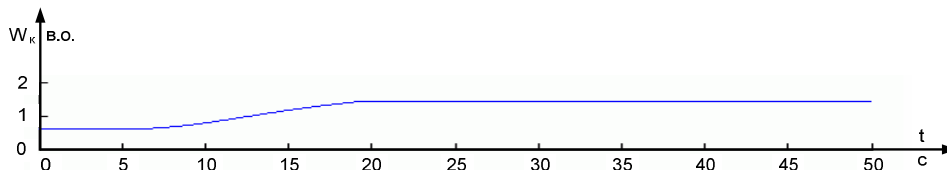


Рис. 4. Графік зміни частоти обертання вітрового колеса зі зміною швидкості повітряного потоку

Як видно із графіка, частота обертання вітрового колеса змінюється повільніше та більш плавно, ніж зростає швидкість повітряного потоку.

На рис. 5 представлений графік зміни вихідної напруги генератора за певний проміжок часу зі зміною швидкості повітряного потоку.

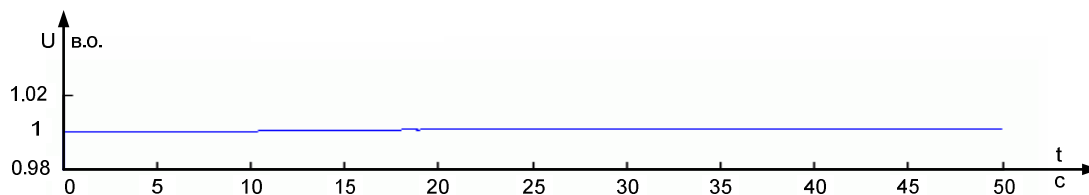


Рис. 5. Графік зміни вихідної напруги генератора за певний проміжок часу зі зміною швидкості повітряного потоку

Як видно з отриманого графіка, значення згенерованої напруги залишається близькою до номіналу, незважаючи на зміну швидкості повітряного потоку.

На рис. 6 представлений графік залежності виробленої генератором потужності від зміни швидкості повітряного потоку протягом певного проміжку часу.

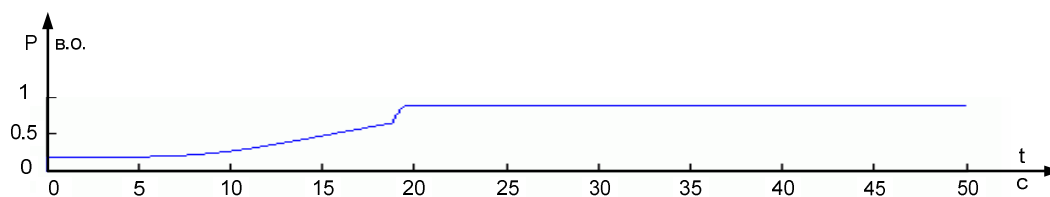


Рис. 6. Графік зміни виробленої генератором потужності

Як видно із цього графіка, величина виробленої потужності збільшується при зростанні швидкості повітряного потоку та обертання ВК.

На рис. 7 представлений графік зміни споживання реактивної потужності асинхронного генератора зі зміною швидкості повітряного потоку.

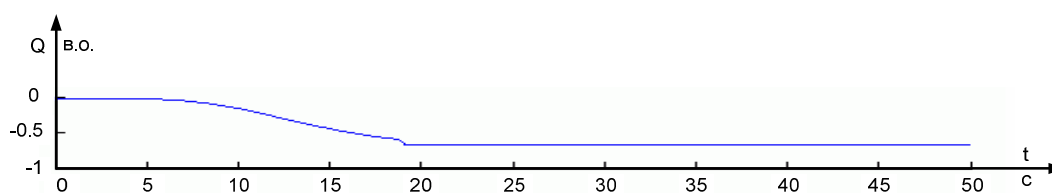


Рис. 7. Графік зміни споживання реактивної потужності асинхронного генератора



Як видно із графіка, асинхронний генератор зменшує споживання реактивної потужності зі збільшенням кількості обертів вітрового колеса ВЕУ.

Такий варіант програмування дозволяє системі керування реагувати на будь-які зміни в ланках ВЕК і відповідно до цих змін регулювати вихідні параметри асинхронного генератора.

Запропонована структура ВЕК і система управління ним дозволяють збільшити надійність і якість електропостачання споживачів, збільшити термін служби батарей, забезпечувати своєчасні заміни елементів, що вийшли з ладу, і знизити витрати на їх експлуатацію, а також підтримувати безперебійність електропостачання споживачів ЕЕ [2; 3].

### **Висновки і пропозиції**

1. У результаті використання вентиляційних повітряних потоків підземних виробок залізрудних шахт, з перетворенням вітрової енергії в електричну є реальна можливість генерувати і використовувати ЕЕ для власних потреб підземних підприємств, заощадивши при цьому засоби на її закупівлю.

2. Розроблений спосіб управління вихідною напругою асинхронного генератора з короткозамкнутим ротором у складі вітрового електротехнічного комплексу дозволяє плавно регулювати значення вихідного параметра, при цьому система буде відчувати найменші зміни швидкості вентиляційних потоків або величини навантаження.

### **Список використаних джерел**

1. *Сінчук О. М.* Про залежність енергетичних координат вітроенергетичної установки з вертикальною віссю обертання від аеродинамічних умов шахт / О. М. Сінчук, С. М. Бойко, М. А. Щербак // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Силовa електроніка та енергоефективність». Частина 4. – Х. : Інститут електродинаміки НАН України, 2012. – С. 171-172.

2. *Математична модель системи керування електротехнічним комплексом вітроенергетичної установки на базі fuzzy контролера* / В. І. Сенько, С. М. Бойко, М. А. Щербак, А. О. Жуков // Електротехнічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика». – Кременчук : КрНУ, 2013. – Вип. 3/2013. – С. 117-129.

3. *Сінчук О. Н.* Нечёткая логика и согласования режимов работы ветроэнергетической установки со скоростью потока в условиях рудных шахт / О. Н. Сінчук, С. Н. Бойко // Технические науки – от науки к практике : материалы XIV международной заочной научно-практической конференции (10 октября 2012 г.). – Новосибирск : Сибирская ассоциация консультантов, 2012. – С. 50-55.

4. *Яворский Б. М.* Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. – М. : Наука, 1971. – С. 134-269.

5. *Горбунов В. И.* Вентиляция шахт / В. И. Горбунов. – Магнитогорск, 2007. – С. 24-50.