

9. **Барашиков А.Я., Задорожнікова І.В.** Спрощені розрахунки несучої здатності нормальних перерізів згинальних елементів за деформаційною моделлю // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди. 36. наук. статей. - Рівне НУВГП, 2005.-Вип. 12.-С. 109-115.

10. **Барашиков А.Я.** Деформативні методи розрахунку згинальних залізобетонних елементів згідно з проектом нових норм України / Вісник Криворізького технічного університету: - Кривий Ріг, 2006. - Вип. 3. - С. 159-161.

11. Курс лекцій з основ розрахунку будівельних конструкцій з опору залізобетону / **Голишев О.Б., Бамбура А.М.** – К.:Логос, 2004.-340с.

12. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / **А.Н. Бамбура, В.Я. Бачинський, Н.В. Журавлева, И.Н. Пешкова.**- К.: НИИСК, 1987.-25с.

13. Рекомендации по применению арматурного проката по ДСТУ 3760-98 при проектировании и изготовлении железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры.- К.. 2002.- 39с.

Рукопис подано до редакції 26.03.15

УДК 62-83

О.В. ЛИТВИНОВ, магістрант, Криворізький національний університет

ДО ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ АВТОНОМНОЇ МІНІВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ПІДЗЕМНИХ УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ

Для реалізації оптимально можливої ефективності функціонування електромеханічного комплексу вітроенергетичної установки обґрунтована та пропонується для практичної реалізації її конструкція. Розроблено структуру електромеханічної частини вітроенергетичного комплексу і система управління ним з прогнозованим потенціалом надійності і якості електропостачання споживачів електричної енергії підземних виробок залізорудних шахт. Теоретичні аспекти підтверджено експериментальними дослідженнями. Проаналізовано можливість і специфіка роботи вітроенергетичного комплексу в умовах діючих гірничих підземних виробок залізорудних шахт. Розроблено структуру електромеханічної частини вітроенергетичного комплексу і система управління ним з прогнозованим потенціалом надійності й якості електропостачання споживачів. Доведено економічну ефективність застосування вітроенергетичної установки в умовах підземних виробок залізорудних шахт.

Ключові слова: вітроенергетична установка, енергетичний комплекс, поновлювані джерела енергії, залізорудні шахти.

Проблеми та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Економічні проблеми в Україні, в тому числі енергоекономічні, потребують від підприємств пошуку шляхів впровадження та використання нових джерел енергоресурсів, в тому числі тих, що отримали назву нетрадиційних або альтернативних.

Вирішення проблеми незалежного автономного живлення споживачів електричної енергії шляхом використання вітроенергетичних установок (ВЕУ) знаходить своє втілення на підприємствах, де традиційно такий спосіб раніше навіть не прогнозувався. Такими видами підприємств, наприклад, є залізорудні шахти [1].

Енергоефективними типами електротехнічних комплексів ВЕУ є зразки з використанням асинхронних генераторів (АГ) з конденсаторним збудженням [2]. Однак при цьому виникає проблема - стабілізація напруги на виході АГ при змінному навантаженні на лопаті вітроколеса ВЕУ. Однак, вирішення цієї задачі різними дослідниками бачаться по-різному - адресно для конкретного рішення без достатнього рівня універсальності. Нажаль, поки-що частка отримання електроенергії такими засобами в Україні складає лише біля 0,35 % від всього обсягу виробництва, при вельми високій відсотній вартості - 6,25 %. Проте темпи підвищення ефективності виробництва електроенергії з допомогою відновлювальних джерел позитивні [1]. Це актуально і своєчасно, оскільки у зв'язку зі стійкою тенденцією щорічного збільшення споживання електричної енергії, зростанням цін на її виробництво, а також впливом екологічних обмежень, що постійно зростають, актуальнішим стає завдання збільшення обсягів отримання електричної енергії шляхом використання поновлюваних джерел, особливо енергії вітру, яка у вітрових електричних установках перетвориться в електричну. Одним із засобів застосування енергії вітру можуть бути підземні рудничні виробки шахт, де згідно з технологією ведення робіт постійно присутній штучно створюваний потік повітря з його сталими параметрами [1,2]. Прямі витрати на вентиляцію шахт і рудників сягають до 7 % вартості валового національного проду-

кту, причому більшу частину з них становить вартість електроенергії, яку споживають вентиляторні установки. Оскільки при цьому на 75 % вентиляторів головного провітрювання не здійснюється оперативне й плавне регулювання продуктивності, близько 20 % вентиляторів узагалі не регулюються, що призводить до значних перевитрат електроенергії й передчасного зносу устаткування, то можна казати про економічну ефективність роботи вітроустановки, з позиції перетворення надлишкового вентиляційного потоку в електричну енергію [6].

Аналіз досліджень та публікації. Відома робота, в якій розглядаються особливості експлуатації вітроенергетичної автономної установки в підземних гірничих виробках залізрудних шахт [1]. У ній проаналізована можливість і специфіка роботи вітроенергетичного комплексу в умовах діючих гірничих підземних виробок залізрудних шахт. Для реалізації оптимально можливої ефективності функціонування вітроенергетичної установки обґрунтована та пропонується для практичної реалізації її конструкція. Розроблена структура електромеханічної частини вітроенергетичного комплексу і система управління ним з прогнозованим потенціалом надійності і якості електропостачання споживачів. Доведено економічну ефективність застосування вітроенергетичної установки в умовах підземних виробок залізрудних шахт.

Постановка завдання. Головним завданням статті є розробка теоретичних аспектів та практичної реалізації по розробці електромеханічного комплексу вітроенергетичної установки адаптованої для роботи в підземних виробках залізрудних шахт та рудників. Підвищення ефективного використання вентиляційного потоку залізрудних шахт, шляхом застосування вдосконаленого електромеханічного комплексу вітроенергетичної установки, що дозволяє перетворювати турбулентний вентиляційний потік, в місцях розгалуження виробки, в електричну енергію.

Викладення матеріалу та результати. У результаті досліджень встановлено, що для роботи в умовах шахт краще використовувати вітрові електричні установки з вертикальною віссю обертання ротора вітрового колеса [2]. Передача потужності у горизонтальноосьових вітрових електростанціях відбувається від колеса до генератора через редуктор на генератор. У таких установках є необхідність орієнтації на вітер, та створення складної системи керування для нього, складність конструкції лопаті (необхідне її скручування), складність обслуговування генератора, розміщеного у гондолі. Така велика і складна механічна система знижує надійність, підвищує періодичність технічного обслуговування, знижує термін роботи вітроустановки. Для вертикальноосьової вітрової установки орієнтація на вітер не потрібна, а отже вона позбавлена вищезазначених недоліків. Такі вітрові мініелектростанції (ВМЕ) 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. 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 ВМЕ, то рівень шумів, які створює перша значно більший за рівень другої. Це пояснюється конструктивними особливостями цих установок. Внаслідок роботи будь-якого типу ВМЕ, за рахунок діючих на них сил та моментів, виникають вібрації різної сили (залежить від габаритів ВМЕ). Проте, коливання, створювані роторною ВМЕ хоча і відчутні, але значно менші за ті, які створює горизонтальна вітрова установка. Це є наслідком того, що зі зростанням швидкості обертання, в процесі роботи горизонтально-осьової установки, створюється ефект вовчка.

Використання ВЕУ на базі синхронного генератора зі збудженням від постійних магнітів, з точки зору використання можливостей первинного перетворювача енергії схема більш вдала, ніж інші пропозиції вирішення поставленої задачі. Крім цього, ККД генератора вище порівняно з асинхронними генераторами. Але, при використанні даного типу генератора з'являється необхідність подвійного перетворення 100 % вироблюваної СГ електроенергії напівпровідниковими перетворювачами більшої потужності, що призводить до подорожчання системи. В той же час, такі генератори мають досить високу вартість і велику масу [14].

Значної кількості недоліків перерахованих в попередньому варіанті ВЕУ можна уникнути, використовуючи ВЕУ на базі синхронного генератора прямого приводу з електромагнітним або магнітоелектричним збудженням. У цьому випадку за рахунок відсутності мультиплікатора і обмотки збудження підвищується ККД установки, її надійність, і знижуються експлуатаційні

витрати. Окрім того, якщо генератор підключений до мережі з частотою 50 Гц, то при швидкості обертання в 30 об/хв, потрібно вибрати генератор з 200 полюсами. Маса ротора генератора повинна бути приблизно пропорційна крутному моменту, що значно збільшить масу [9].

У конструкції ВЕУ на базі асинхронного генератора з фазним ротором завдяки наявності регульованого опору обмотки ротора з'являється можливість змінювати механічну характеристику генератора, що дозволяє змінювати частоту обертання до 10 % вище номіналу. Можливості первинного перетворювача енергії використовуються краще, ніж при оснащенні ВЕУ АГ з КЗ ротором. Але наявність обмотки ротора, ковзних контактів і блоку баластних резисторів погіршують показники надійності [4].

Для випадку роботи ВЕУ в шахті, не дивлячись на всі переваги системи з синхронним генератором, все ж найбільш кращим варіантом є використання асинхронного генератора. Це зумовлено насамперед особливостями навколишнього шахтного середовища.

Для використання ВЕУ в умовах рудних 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 вище розглянутих варіантів є ВЕУ з асинхронним генератором [5].

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 вище перелічених критеріїв, найбільш доцільним, для роботи ВЕУ в умовах залізрудних шахт, є асинхронний генератор з короткозамкненим ротором на постійних магнітах. 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 рудних шахтах.

Очікувана потужність вітрових мініелектростанцій для підземних гірничих виробок - 0,5-3 кВт, в залежності від типу вітроустановки та швидкості вітру, що дозволить забезпечити живлення освітлюваної мережі всієї шахти.

Процеси аеродинаміки вітроагрегату описуються усередненими по Рейнольдсу рівняннями Нав'є-Стокса нестискуваного середовища.

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 [3,4]

$$\frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{g}_m - \frac{1}{\rho} \text{grad}p + \nu \Delta \mathbf{u} + \left(\frac{\zeta}{\rho} + \frac{\nu}{3} \right) \text{grad} \text{div} \mathbf{u}$$

при умові, що $\zeta = \text{const}$ і $\nu = \text{const}$, де $\nu = \eta/\rho$ - кінематична в'язкість (коефіцієнт внутрішнього тертя); ζ - друга в'язкість; $\Delta = (\partial^2/\partial x^2) + (\partial^2/\partial y^2) + (\partial^2/\partial z^2) = \nabla^2 = \nabla \cdot \nabla$ - оператор Лапласа; ρ_m - напруженість поля масових сил; ρ - густина, p - тиск.

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

Використання енергії вентиляційного повітряного потоку капітальної підземної виробки залізрудних шахт дозволить використовувати згенеровану потужність для власних потреб шахт (наприклад для освітлення), тим самим зменшивши витрати на купівлю електричної енергії.

При розрахунку економічної ефективності і доцільності застосування ВЕК в умовах залізрудних шахт (ЗРШ) необхідно враховувати особливості експлуатації, специфіку їх монтажу та віддаленість від споживачів ЕЕ.

До складу експлуатаційних витрат на експлуатацію ВЕК можна віднести: витрати на проведення поточних ремонтів обладнання, що експлуатується в умовах ЗРШ, які зменшуються, оскільки є інженерно-технічний персонал, що обслуговує ділянки електричної мережі, до яких буде під'єднано ВЕК, відрахування на відновлення елементів установки (амортизаційні відрахування), інші прямі витрати. При використанні ВЕК відпрацьованих технологічних відходів

промислового підприємства (вентиляція, пара і т.ін.), при безперервності технологічного процесу, обсяг виробленої ЕЕ збільшиться в порівнянні з експлуатацією ВЕК в природних умовах, за той самий час роботи. Спосіб розташування мінівітрової електростанції показана на рис. 1 [1].

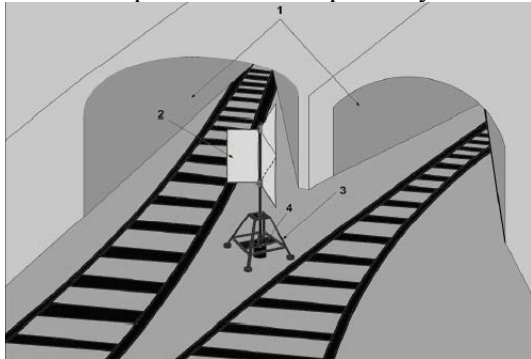


Рис. 1. Схема розташування мінівітрової електростанції у шахті: 1 – перший та другий квершлаг; 2 – лопати вітроколеса; 3 – металева опора вітроколеса; 4 – генератор

У капітальній підземній виробці на спорядженні двох квершлагів встановлюється один вітрогенератор. При чому він монтується таким чином, щоб відстань між вітроколесом, стінами та коліями була достатньою для безпечної роботи самого вітрогенератора, людей та руху електровозів.

Вітроустановка, що встановлена на спряженні квершлагів в пристінній ділянці, використовує повітряний вентиляційний потік повітря, не змінюючи його напрям, та практично не впливаючи на його потужність, оскільки основний потік проходить повз установку, котра встановлюється пристінно на перетині квершлагів – порожньокового та вантажного. При цьому для перетворення використовується та частина вентиляційного потоку, яка і без цього зазнавала і зазнає взаємодії із стінами гірничої виробки. Повітровідбивач згладжує турбулентність цих потоків та надає їм направленості руху.

Встановлення вітроустановок в підземних виробках залізрудних шахт є доцільним, оскільки живлення законсервованих виробок залізрудних шахт є затратним з позиції протяжності лінії електропостачання до 2 км.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Виходячи з вище сказаного, можна зробити висновок, що використання вітрових енергетичних установок в умовах залізрудних шахт як додаткового джерела живлення є актуальним для забезпечення умови безперебійності систем електропостачання освітлювальних мереж підземних виробок залізрудних шахт.

Список літератури

1. Сінчук І.О., Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: Навчальних посібник / І.О. Сінчук, С.М. Бойко, К.І. Лосіна, І.А. Луценко, Г.І. Ткаченко // під ред. докт. технічних наук, проф. О.М. Сінчука. – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2013. – 192с.
2. 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. Силова електроніка та енергоефективність : темат. вип. — Ч. 4. — Харків, Інститут Електродинаміки НАН України, 2012. — С. 171—172.
3. Сінчук О.М., Бойко С.М., Щербак М.А. Про залежність енергетичних координат вітроенергетичної установки з вертикальною віссю обертання від аеродинамічних умов шахт// Технічна Електродинаміка. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». Частина 4. – Харків, Інститут електродинаміки НАН України, 2012. – С.171-172.
4. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А. К. Шидловського. - К.: Українські енциклопедичні знання, 2007 - 560 с.
5. Бойко, С. М. До питання вибору електричного генератора для вітрогенеруючої установки з вертикальною віссю обертання в умовах залізрудних шахт (Текст) / С. М. Бойко. А. М. Ялова. О. М. Сінчук. - Донецьк. 2012. - С. 88-89.
6. Патент України. МПК F03D 9/00 Спосіб розташування вітроустановки в діючих виробках шахт / О. П. Сінчук, С. М. Якницький, Д. А. Шокар'юв, С. М. Бойко, М. А. Щербак; патент України № 80828, заява J4&u201215007 від 27.12.2012, опубл. 10.06.2013. Бюл. №11, 2013 р.
7. Патент України. МПК F03D 3/04 Повітровідбивач дія вітрової енергетичної установки з вертикальною віссю обертання / О.Н. Сінчук, С.М. Якницький, С.М. Бойко, М.А. Щербак; патент України № 808278, заява JSfeu201215006 від 27.12.2012, опубл. Бюл. №11, 2013 р.
8. Патент України. МПК H02P9/00 Система керування асинхронним генератором у складі вітроелектротехнічного комплексу / О.Н. Сінчук, Д.А. Михайличенко, С.М. Бойко, М.А. Щербак; патент України № 84633, заява №п 201305538 від опубл. 25.10.2013. Бюл. №20, 2013 р.
9. Moor, G. Power point trackers for wind turbines [Text] / G. Moor, H. Beukes // Power Electronics Specialist Conference (PESC). - 2004. - P. 2044-2049.
10. Nakamura, T. Optimum control of ipmsg for wind generation system [Text] / T. Nakamura, S. Morimoto, M. Sanada, Y. Takeda, // Power Conversion Conference (PCC). - 2002. - Vol. 3. - P. 1435-1440.
11. Sieradzka M. Badania eksploatacyjnego trwalosci silnicow indukcyjnych. – Elektrotechnika. Buil. Inform., 1972, 26, N 2, с. 61-71.

Рукопис подано до редакції 26.03.15