УДК 621.311.4.031

С.М. БОЙКО, І.В. НОСАЧ
Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету
С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ
Вінницький національний технічний університет
А.В. НЕКРАСОВ, Є.М. КАС'ЯНОВ
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ПОТОКУ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ З МЕТОЮ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Одним із чотирьох заходів, запропонованих Міжнародною енергетичною агенцією для підвищення енергоефективності в країнах світу, є збільшення використання вітрової енергії в загальному обсязі виробництва електричної енергії [1]. Внаслідок природного зниження рівнів видобутку залізорудної сировини (ЗРС) на понад 1000–1500 м, тобто в бік запроектних показників, вже зараз необхідно збільшувати об'єми повітря для вентиляції. Існуюча перепроектована система вентиляції за нагнітально-всмоктувальним принципом дозволяє забезпечити необхідні обсяги, зменшити втрати і збільшити швидкість потоку повітря [2–4]. За таких умов можливим є використання частини енергії вітрових потоків для перетворення її в електричну [1] з метою використання для резервного живлення відповідальних споживачів. Безумовно, обсяги отриманої електроенергії не можуть бути значними через просторову обмеженість гірничих виробок. Разом з тим, підземні електроприймачі шахт, як правило, мають значні потужності й їх живлення від автономних джерел, зокрема вітроенергетичних установок (ВЕУ), є неможливим [5]. Особливо актуальними ці питання є для тимчасово законсервованих горизонтів шахт. Останні, як правило, відключені від централізованого електропостачання підземних підстанцій. Вітроенергетичний комплекс, встановлений в законсервованих виробках залізорудних шахт, здатний, перетворюючи частину енергії вентиляційних повітряних потоків у електричну енергію, забезпечувати аварійне резервне електропостачання освітлювальної мережі для виконання умов техніки безпеки [6]. Для досягнення належної енергоефективності ВЕУ в таких умовах необхідно враховувати низку додаткових вимог до них і, насамперед, до їх електромеханічної частини. Вони стосуються вибору типу та параметрів складових останньої, а також конструктивних особливостей приводного механізму електрогенератора [3–9].

Ключові слова: енергоефективність, вітроенергетичні установки, резервне живлення відповідальних споживачів, залізорудні шахти, підземні електроприймачі.

S.M. BOIKO, I.V. NOSACH
Kremenchuk Flight College of the National Aviation University
S.YA. VYSHNEVSKYI
Vinnytsia National Technical University
A.V. NEKRASOV, YE.M. KAS`IANOV
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

THE USE OF ENERGY POTENTIAL OF EXHAUSTED VENTILATION FLOW OF IRON ENTERPRISES WITH THE PURPOSE OF GENERATION OF ELECTRICAL ENERGY

One of the four measures proposed by the International Energy Agency for improving of energy efficiency in the countries of the world is increasing of the use of wind energy in the total electricity production [1]. Due to the natural decrease in the levels of iron ore (IOE) extraction by more than 1000-1500 m, that is towards the design indicators, it is now necessary to increase the volume of air for ventilation. The existing redesigned ventilation system according to the injection suction principle allows to provide the necessary volumes, reduce losses and increase the air flow rate [2–4]. Under such conditions, it is possible to use part of the energy of wind streams to convert it into electrical power [1] in order to use for backup power supply of responsible customers. Of course, the amount of generated electricity can not be significant due to the spatial limitation of mining work. At the same time, underground electrical collectors of mines, as a rule, have significant capacity and their nutrition from autonomous sources, in particular from wind power turbines (WPT), is impossible [5]. These issues are particularly relevant for temporarily preserved horizons of mines. The latter, as a rule, are disconnected from the centralized power supply of underground substations. The wind power complex installed in the preserved development of iron ore mines is capable providing an emergency back-up power supply to the lighting network to fulfill the safety conditions turning a part of the energy of ventilation air streams into electric energy [6]. In order to achieve the proper energy efficiency of the wind turbine in such conditions it is necessary to take into account a number of additional requirements to them and, first of all, to their electromechanical part. They concern the choice of the type and parameters of the components of the latter, as well as the design features of the drive mechanism of the generator [3–9].

Key words: energy efficiency, wind power turbines, reserve power of responsible consumers, iron ore mines, underground electric collectors.

Аналіз попередніх досліджень

Раніше було запропоновано встановлення вітроустановки на спряженні квершлагів – порожнякового та вантажного – в пристінній ділянці, що використовує вентиляційний потік повітря, не змінюючи його напрям та мало впливаючи на його потужність, оскільки основний потік проходить повз установку. Для перетворення використовується та частина вентиляційного потоку, яка зазнає взаємодії зі стінами гірничої виробки. Вентиляційний потік в шахтах є стабільним, оскільки регламентується відповідними вимогами техніки безпеки. Однак його швидкість не перевищує 15 м/с, що не дозволяє забезпечити значних обсягів виробленої енергії.

Мета дослідження

Метою є оцінка потенціалу відпрацьованого вентиляційного потоку залізорудних підприємств для подальшого перетворення його кінетичної енергії в електричну.

Матеріал та результати дослідження

Згідно з законодавчими актами та правилами техніки безпеки для забезпечення нормальних умов праці гірників в шахтах впроваджуються системи штучної вентиляції. До загально шахтної вентиляційної системи входять головні та місцеві вентиляційні установки.

Існують два основні способи штучного провітрювання гірничих виробок: всмоктувальний та нагнітально-всмоктувальний. В зв'язку зі значним зниженням рівня видобутку ЗРС в сучасних шахтах глибиною до 1500 м перспективним є нагнітально-всмоктувальний спосіб на відміну від існуючого всмоктувального, який є неефективним в сучасних умовах шахт. З метою оцінювання сучасного стану вентиляційних параметрів типових залізорудних шахт України фахівцями проведено відповідний аналіз. В результаті було виявлено ряд проблем функціонування підземних вентиляційних систем шахт [5].

У провітрюваних гірських виробках рух повітря завжди є турбулентним. Ламінарний режим руху може спостерігатися за наявності фільтраційного потоку повітря з невеликою швидкістю вузькими каналами (просочування повітря через перемички, ущільнені ділянки обвалів у виробленому просторі та ін.). Проміжні режими спостерігаються за умови руху повітря у виробленому просторі.

В той же час, вітчизняні залізорудні підприємства є найбільш підготовленими для втілення в практику функціонування їхніх систем електропостачання міні- та мікроелектростанцій на базі відновлюваних джерел енергії.

Шахтна вентиляційна система, зазвичай, знаходиться в квазістаціонарному стані (в середньому є стаціонарною).

Природна тяга в шахтах може виникати за наступних умов [10, 11]:

- за наявності декількох виходів на земну поверхню, особливо якщо ці виходи знаходяться на різних висотних відмітках;
- в окремих виробітках при різній густині повітря по периметру виробітки;
- між окремими горизонтами, якщо повітропостачальних стволів кілька.

За ЕПБ забороняється провітрювання шахт за рахунок тільки природної тяги. Але природна тяга в багатьох випадках відіграє істотну роль в вентиляції шахти. У деяких шахтах депресія природної тяги досягає 25% депресії ветниляторів головного провітрювання.

В шахтах трапляються випадки, коли вертикальні або нахилені виробітки поєднані на декількох горизонтах (рис. 1). У таких випадках на кожному горизонті діє своя природна тяга, яка визначається густиною повітря на ділянках, розташованих вище даного горизонту [11].

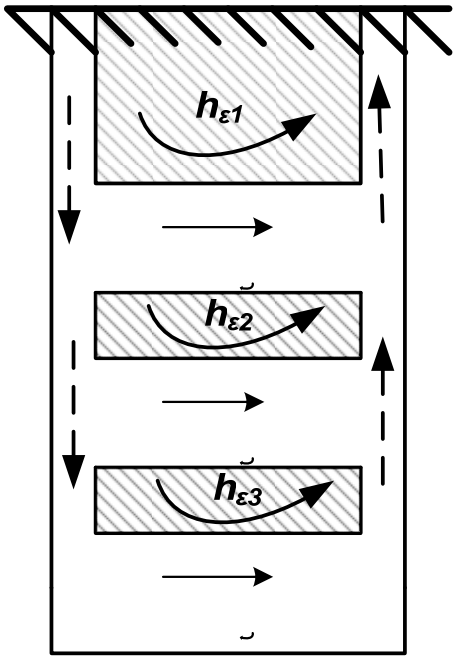

Рис. 1. Визначення депресивної тяги при одночасному з'єднанні виробок між собою на декількох горизонтах

Фактори, що впливають на природну тягу [4]:

- температура повітря в гірничих виробках (визначає його густина);
- температура повітря на поверхні;
- температури стовпів повітря, які знаходяться над різними входами в шахту в гористій місцевості;
- тиск повітря поверхні землі (визначає густина повітря).

Зі збільшенням глибини шахти депресія природної тяги змінюється експотенціально.

Взимку депресія природної тяги дещо збільшується. Влітку відбувається зворотне явище. Так як ці зміни незначні, тому характеристика природної тяги вважається постійною, тобто такою, що не залежить від витрати повітря [9].

У зв'язку з цим для розрахунку депресії природної тяги можуть застосовуватися гідростатичні і термодинамічні методи.

Для розрахунку природної тяги гідростатичним методом визначається різниця аеростатичних тисків повітря в двох стовбурах, між стовбурами або горизонтами.

За формулою М. М. Протодьяконова [11]:

$$h_e = H(Y_{\text{Ï}} - Y_{\text{È}}), \text{ Па}, \quad (1)$$

де H – глибина шахти, м; $Y_П$ и $Y_И$ – середнє значення питомої ваги повітря відповідно, що надходить і що виходить повітряним струменем, Н/м^3.

Середнє значення питомої ваги повітря визначається з виразу [9]:

$$\gamma = 0,0171\left(\frac{p_1}{273+t_1} + \frac{p_2}{273+t_2}\right), \text{ Н/м}^3, \quad (2)$$

де p_1 і p_2 – тиск на початку та наприкінці вхідного та вихідного струменя, Па; t_1 і t_2 – температура повітря в тих же точках, ^{0}С (величину t_1 визначають в стовбурі на глибині 20÷30 м).

Влітку питома вага надходить в шахту повітря менше вихідного, тому депресія природної тяги знижується в неглибоких шахтах і може бути навіть від'ємною.

У глибоких шахтах внаслідок високої температури повітря у висхідному струмені депресія природної тяги, переважно, додатна [10].

$$h_e = 0.046H(t_{\text{Ï}} - t_{\text{Â}}), \text{ Па}, \quad (3)$$

де H – різниця абсолютних відміток глибини виробок, що постачають і споживають повітря, м; $t_П$, $t_В$ – середня температура повітря відповідно в стволах, якими воно надходить в шахту і видається з неї, ^{0}С.

Для шахт з різними висотними відмітками глибини виробок, що постачають і споживають повітря, можна використовувати наступну формулу:

$$h_e = Y_{\text{ñð}} H \frac{t_{\text{Í}} - t_{\text{ñð}}}{273 + t_{\text{ñð}}}, \text{ Па}, \quad (4)$$

де $Y_{ср}$ – середньоконтурна питома вага повітря, Н/м^3; H – різниця глибини виробок, що постачають і споживають повітря, м; t_H – температура зовнішнього повітря повітропостачальної виробки, ^{0}С; $t_{ср}$ – середня температура рудничного повітря ^{0}С.

Питома вага повітря визначається за формулою [9]:

$$Y = 4,459\frac{\rho}{273+t}, \text{ Н/м}^3, \quad (5)$$

де ρ – атмосферний тиск повітря, Па; t – температура повітря, ^{0}С.

Вентилятор включається в шахтну вентиляційну мережу по одній з схем, показаних на рис. 2 [9–11].

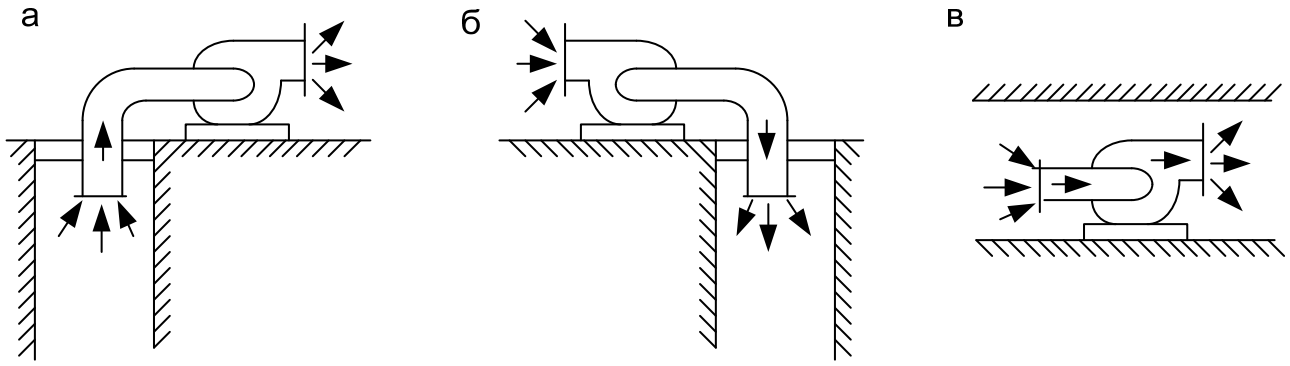

Рис. 2. Схеми включення вентилятора в мережу при роботі на:
а – всмоктування: б – нагнітання: в – всмоктування і нагнітання

У турбулентному потоці повітря виникають вихрові потоки. Великі вихори є нестійкими та розпадаються на дрібніші, стійкість яких вища, але істотно залежить від в'язкості повітряного середовища. Це призводить до дисипації їх механічної енергії. Отже, турбулентний потік повітря у підземних виробках представляє собою потік вихорів різного розміру від найбільших, розміри яких можуть бути рівними поперечним розмірам виробки, до найдрібніших. Зміна в часі подібних вихорів створює в кожній точці повітряного потоку хаотичні коливання миттєвих швидкостей. Число Рейнольдса характеризує співвідношення між силами інерції і силами тертя в повітряному потоці [9].

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho u l}{\eta} = \frac{u l}{\nu}, \tag{6}$$

де ρ – густина повітря; *l* – характерний лінійний розмір; η – динамічна в'язкість; *Re* – число Рейнольдса; *u* – швидкість повітря; ν – кінематична в'язкість повітря.

На роботу ВЕУ в умовах залізорудних шахт (ЗРШ) суттєво впливають інерційні сили, фізичні особливості потоку повітря, форма виробок, розташування ВК відносно напряму руху повітряного потоку у підземній виробці, а також форма лопатей вітрового колеса (ВК).

Детальне вивчення всіх складових процесу впровадження ВЕУ в умовах ЗРШ є досить всебічним, багатогранним, науково містким і технічно складним процесом, який має забезпечити оптимальні умови впровадження та роботи ВЕУ.

Таким чином запропоновано такі способи розміщення ВЕУ в умовах шахт для роботи на енергії незадіяних та відпрацьованих повітряних вентиляційних потоках, які показані на рис. 3.

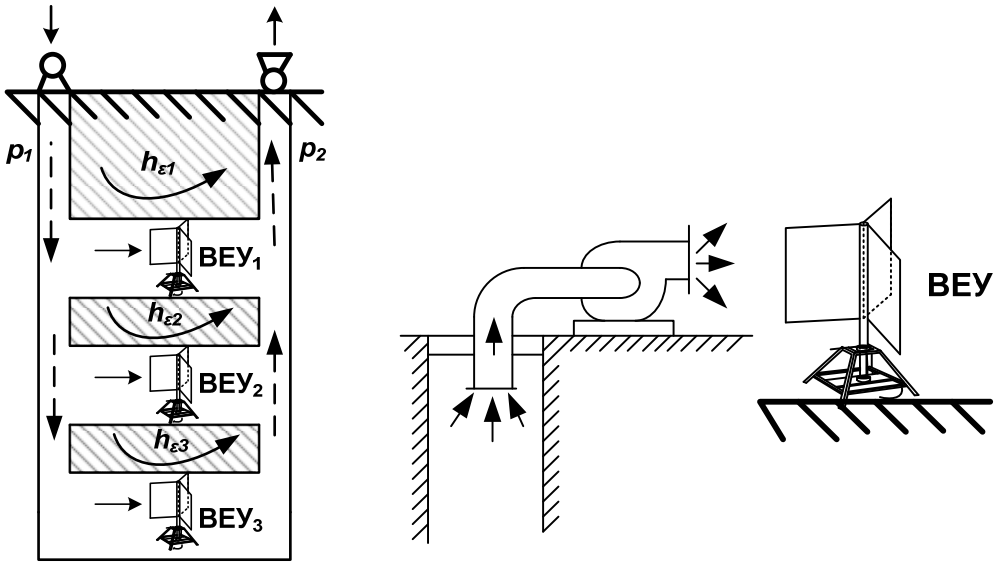

Рис. 3. Способи розміщення вітроенергетичних установок в умовах шахт для роботи на енергії незадіяних та відпрацьованих повітряних вентиляційних потоках

ВЕУ можуть бути застосовані для автономного живлення споживачів електричної енергії залізорудних шахт [9–12]. Раніше встановлено, що енергоефективним варіантом структури енергетичного комплексу таких ВЕУ є система з асинхронним генератором [5].

Висновки

1. Проаналізовано види, способи та особливості функціонування вентиляційної системи на сучасних вітчизняних залізорудних шахтах.
2. Запропоновано способи використання енергії відпрацьованого вентиляційного повітряного потоку залізорудних шахт з метою генерації електричної енергії.

Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. // Сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://mpe.kmu.gov.ua.
2. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року / Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В. та ін. – К. : Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. – 275 с.
3. Праховник А.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий / А.В. Праховник, В.П. Розен, В.В. Дегтярев. – М. : Недра, 1985. – 232 с.
4. Бойко С.М. Можливості використання вітрогенераторів для виробництва електричної енергії в підземних виробках шахт / С. М. Бойко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 2. – С. 97–99. – ISSN 1997–9266.
5. Сінчук О. М. Електромеханічний комплекс вітроенергетичної установки для використання в підземних виробках залізорудних шахт / О. М. Сінчук, С. М. Бойко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 1/8(67). – С. 13–21. – ISSN 1729–3774.
6. Энергоэффективность железорудных производств. Оценка, практика повышения : монография / Синчук О.Н., Синчук И.О., Гузов Э.С., Бойко С.М. , Яловая А.Н. – Кременчуг : Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH, 2016. – 346 с.
7. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения / Праховник А.В. – К. : «Освіта України», 2007. – 464 с.
8. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник / С.О. Кудря. – К. :

Національний технічний університет України («КПІ»), 2011. – 494 с.

9. Сінчук І.О. Відновлювані та альтернативні джерела енергії : навчальний посібник / І.О. Сінчук, С.М. Бойко, О.Є. Мельник. – Кременчук : Вид-во ПП Щербатих О.В., 2015. – 270 с.

10. Голинько, В. И. Состояние и пути повышения эффективности проветривания железорудных шахт / В. И. Голинько, И. А. Евстратенко, Г. П. Кривцун и др. // Сборник научных трудов НГУ. – Днепропетровск, 2004. – № 19. – С. 65–68. – ISSN 2077–1738.

11. Гурін А. О. Аерологія гірничих підприємств / А. О. Гурін, П. В. Бересневич, А. А. Немченко, І. Б. Ошманський. – Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2007. – 262 с. – ISBN 978–966–350–369–1.

12.Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки / Харитонов В.П. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.

References

1. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 r. // Sait Ministerstva enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://mpe.kmu.gov.ua.

2. Osnovni parametry enerhozabezpechennia natsionalnoi ekonomiky na period do 2020 roku / Stohnii B.S., Kyrylenko O.V., Prakhovnyk A.V. ta in. – K. : Vyd. In-tu elektrodynamiky NAN Ukrainy, 2011. – 275 s.

3. Prahovnik A.V. Energosberegayuschie rejimyi elektrosnabjeniya gornodobyivayuschih predpriyatiy / A.V. Prahovnik, V.P. Rozen, V.V. Degtyarev. – M. : Nedra, 1985. – 232 s.

4. Boiko S.M. Mozhlyvosti vykorystannia vitroheneratoriv dlia vyrobnytstva elektrychnoi enerhii v pidzemnykh vyrobkakh shakht / S. M. Boiko // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2012. – № 2. – S. 97–99. – ISSN 1997–9266.

5. Sinchuk O. M. Elektromekhanichnyi kompleks vitroenerhetychnoi ustanovky dlia vykorystannia v pidzemnykh vyrobkakh zalizorudnykh shakht / O. M. Sinchuk, S. M. Boiko // Vostochno-evropeiskyi zhurnal peredovыkh tekhnolohyi. – 2014. – № 1/8(67). – S. 13–21. – ISSN 1729–3774.

6. Energoeffektivnost jelezorudnyih proizvodstv. Otsenka, praktika povyisheniya : monografiya / Sinchuk O.N., Sinchuk I.O., Guzov E.S., Boyko S.M. , YAlovaya A.N. – Kremenchug : Izd LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH, 2016. – 346 s.

7. Prahovnik A.V. Malaya energetika: raspredelennaya generatsiya v sistemah energosnabjeniya / Prahovnik A.V. – K. : «Osvita Ukraïnyi», 2007. – 464 s.

8. Kudria S.O. Netradytsiini ta vidnovliuvani dzherela enerhii : pidruchnyk / S.O. Kudria. – K. : Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy («KPI»), 2011. – 494 s.

9. Sinchuk I.O. Vidnovliuvani ta alternatyvni dzherela enerhii : navchalnyi posibnyk / I.O. Sinchuk, S.M. Boiko, O.Ie. Melnyk. – Kremenchuk : Vyd-vo PP Shcherbatykh O.V., 2015. – 270 s.

10. Golinko, V. I. Sostoyanie i puti povyisheniya effektivnosti provetrivaniya jelezorudnyih shaht / V. I. Golinko, I. A. Evstratenko, G. P. Krivtsun i dr. // Sbornik nauchnyih trudov NGU. – Dnepropetrovsk, 2004. – № 19. – S. 65–68. – ISSN 2077–1738.

11. Hurin A. O. Aerolohiia hirnychykh pidpryiemstv / A. O. Hurin, P. V. Beresnevych, A. A. Nemchenko, I. B. Oshmanskyi. – Kryvyi Rih : Vydavnychyi tsentr KNU, 2007. – 262 s. – ISBN 978–966–350–369–1.

12. Haritonov V.P. Avtonomnyie vetroelektricheskie ustanovki / Haritonov V.P. – M. : GNU VIESH, 2006. – 280 s.

Рецензія/Peer review : 8.9.2018 р. Надрукована/Printed : 19.9.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сінчук О.М.