

В.Й. ЛОБОВ, канд. техн. наук, доц., К.В. ЛОБОВА, студентка,  
Н.В. ПОПСУЙКО, магістрант, Криворізький національний університет

## ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА ДЛЯ ГІРНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

**Мета.** Розробка та дослідження роботи шахтної вітроенергетичної установки, що працює від газо-повітряного потоку, що видувається вентилятором головного провітрювання із шахти.

**Методи дослідження.** Аналіз структурної схеми автоматизованої системи керування вітроенергетичною установкою, елементами якої управляє мікроконтролер по сигналам датчиків. Запропонувати методику підбору оптимального розташування повітряного гвинта від кордону перетину до виходу газоповітряного потоку з вентилятора головного провітрювання. Для дослідження використовувати SCASA-система, яка забезпечує в реальному часі моніторинг та управління вітроенергетичною установкою.

**Наукова новизна.** Використання вентиляційних газо-повітряних потоків вентиляторами головного провітрювання шахт із перетворенням цих потоків енергії в електричну дає реальну можливість генерувати і використовувати електричну енергію для власних потреб гірничих підприємств.

**Практична значимість.** Розробка й реалізація на практиці запропонованої вітроенергетичної установки дозволить здійснювати автономне живлення низки приймачів електричної енергії гірничих підприємств, що вирішить питання зменшення собівартості видобутку корисних копалин.

**Результати.** Обґрунтована доцільність розробленого способу використання шахтної вітроенергетичної установки, що працює від газо-повітряного потоку і видувається вентилятором головного провітрювання шахти. Показано реальну можливість перетворення газо-повітряного потоку енергії в електричну, генерувати її і додатково використовувати для власних потреб гірничих підприємств. Встановлено, що вихідна напруга електродвигуна виникає за рахунок дії постійного газо-повітряного потоку, при цьому додаткового підвищення продуктивності вентилятора головного провітрювання практично не потребує, тому що вона залежить від розташування газо-повітряного гвинта до кордону виходу вентиляційного потоку з вентилятора головного провітрювання. Визначено коефіцієнт, який враховує втрати повітря через відстань розташування повітряного гвинта від кордону перетину до виходу газоповітряного потоку з вентилятора головного провітрювання. Як показали дослідження, цей коефіцієнт змінюється від 1,12 до 1,0 і залежить від статичного тиску в робочій зоні.

**Ключові слова:** гірниче підприємство, вентилятор головного провітрювання, повітряний потік, електродвигун, генератор, контролер, комутатор, повітряний гвинт, датчик.

doi: 10.31721/2306-5435-2017-1-102-200-204

**Постановка проблеми.** Гірничі підприємства, до яких відносяться залізородні та вугільні шахти, неможливо без використання примусової вентиляції. Подача повітря в гірничі виробки шахти повинна бути безперервною і в достатньому обсязі, а її припинення приводить до зупинки технологічного процесу. Видобуток корисних копалин приводить до того, що в атмосферу гірських виробок виділяється велика кількість шкідливих речовин у вигляді газів і пилу та ця ситуація значно посилюється додатковим виділенням тепла й газів із корисної копалини і порід, тому з'являється необхідність боротьби з цими шкідливими явищами шляхом їх розрідження до безпечних концентрацій подачею повітря у шахтні виробки. Це вимагає провітрювання шахти, що виконується за допомогою вентиляторів головного провітрювання (ВГП), які забезпечують роботу машин і механізмів, безпеку і життя людей, які працюють в шахті.

Сучасні залізородні та вугільні шахти провітрюються різними типами ВГП, що утворюють з внутрішньошахтними виробками схему провітрювання. Як відомо, на електричний привід ВГП витрачається до 10% від усієї електроенергії, що йде на обслуговування шахти. У зв'язку з цим, актуальними питаннями, що вимагають вирішення, є дослідження, присвячені зниженню споживання електроенергії з мережі ВГП, враховуючи не тільки її раціональне споживання, а й використання особливостей роботи вентилятора.

Сьогоднішня - стійка тенденція щорічного зростання цін на виробництво електричної енергії, а також впливом екологічних обмежень, що постійно зростають, то актуальнішим постає завдання збільшення обсягів її отримання. Тому тема статті є актуальною, має наукове і практичне значення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Як показує аналіз науково-технічної і патентної літератури, кількість публікацій збільшується в напрямку зниження непродуктивних витрат електроенергії побутовими і виробничими споживачами [1-3].

Для зниження споживання електроенергії використовують відомі способи та пристрої для їх реалізації [4-8]. Велика робота з розвитку теорії та створення систем енергоефективного управління технологічними комплексами в різних галузях на основі сучасних систем електроприводу і автоматики проведена в університетах України [9] та знайшла відображення в законах України про електроенергетику [10]. Інші автори пропонують для зниження електроенергії при часткових навантаженнях змінювати швидкості обертання колеса турбомеханізму, або використовувати направлені апарати, які при постійній швидкості обертання впливають на гідравлічну його роботу [11,12].

Інші роботи пропонують способи, що використовують вітроенергетичні установки (ВЕУ) та інші [13-18]. Основним недоліком відомих способів роботи вітроенергетичних установок є не ефективне використання вітрового потоку, що обумовлено його низькою кінетичною енергією та потребує велику швидкість зовнішнього вітрового потоку.

Існує також відомий спосіб роботи вітроенергетичної установки, який полягає в тому, що в башті установки формують конфузорними каналами в вертикальному каналі висхідний вихровий вітровий потік, який в подальшому обертає в цьому каналі щонайменше одне вітроколесо перетворювача енергії. По цьому способу передачу теплової енергії вітровому потоку в вертикальному каналі та його конфузорних каналах здійснюють розпилюванням в них краплинок нагрітої в резервуарі води [19], тому використання в промислових умовах проблематично.

У патенті [20] пропонується спосіб отримання електроенергії у метрополітені, який включає операції по створенню повітряних потоків, перетворенню механічної енергії, вимірюванню та передачі струму на відстань, що перетворення механічної енергії в електричну здійснюється шляхом штучного створення повітряних потоків від електропоїзда, що рухається, подачі їх через повітровід, камеру на лопаті вентилятора, обертовий момент якого одночасно приводить у дію вал електрогенератора, що виробляє електроенергію.

Недоліком даного способу є те, що не повністю використовується потік повітряних мас, які виникають у наслідок руху електропоїзда, що знижує ефективність отримання електроенергії.

Як показує аналіз відомих способів, що очікуваний ефект від впровадження можливо досягти лише за умови використання та впровадження ВЕУ в промисловості, сільському господарстві та побуті.

Цікавим в цьому напрямку можуть бути вентилятори головного провітрювання шахт, де згідно з технологією ведення гірничих робіт постійно присутній сформований чітко направлений газо-повітряний потік з його сталими параметрами.

**Формулювання мети роботи.** Метою даної статті є надання варіанту розробки та досліджень роботи системи автоматизованого управління шахтною ВЕУ, що працює від газо-повітряного потоку, що видувається ВГП із шахти та живить виробленою електричною енергією споживачів шахти з розробкою теоретичних аспектів та практичних рішень.

**Викладення матеріалу та результати досліджень.** ВЕУ використовує газо-повітряні потоки при роботі ВГП, що працює в режимі всмоктування цих потоків із шахти. За результатами дослідження в межах ВГП виділено характерний перетин 0-0 в потоці газ-повітря, що є кордоном між вентиляційної установкою та атмосферою. Для ефективного функціонування ВЕУ газо-повітряний потік, що відсмоктується ВГП із шахтної мережі, направляються на повітряний гвинт, що розташований в перетині 0-0 та який механічно пов'язаний з ротором синхронного генератора з постійними магнітами. Тому необхідно враховувати вплив на загальну роботу ВГП при встановленні повітряного гвинта в перетині 0-0 в потоці газ-повітря. Депресія ВГП визначається наступним виразом

$$h_B = h_{шм} + h_{ВГП} + h_{0-0} \quad (1)$$

У виразі (1) позначено:  $h_B$  - депресія вентилятора, Па;  $h_{шм}$  - депресія шахтної мережі, Па;  $h_{ВГП}$  - втрата тиску у вентиляційній установці, Па;  $h_{0-0}$  - втрата тиску на перетині 0-0, Па.

Продуктивність ВГП повинна забезпечувати провітрювану шахту необхідною кількістю повітря, компенсувати втрати останнього через надшахтні будівлі вентиляційні канали ВГП та втрати на використання ВЕУ

$$Q_B = Q_{шм} + Q_{вв} + Q_{ВЕУ} \quad (2)$$

де  $Q_{\text{шм}}$  - витрата кількості повітря для забезпечення ВГП шахтної мережі,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{вуб}}$  - втрати кількості повітря у вентиляційних каналах ВГП і через надшахтну будівлю;  $Q_{\text{ВВЕ}}$  - втрати кількості повітря на роботу ВЕУ.

Необхідна для провітрювання шахти кількість повітря встановлюється розрахунком при проектуванні. Детальна методика розрахунку потреби в повітрі наведена в літературі [21].

Зовнішні втрати повітря  $Q_{\text{вуб}}$  і  $Q_{\text{ВВЕ}}$  для виразу (2) враховуються відповідними коефіцієнтами, в цьому випадку необхідна продуктивність вентилятора визначається за формулами

$$Q_B = Q_{\text{шм}} K_{\text{вуб}}; \quad Q_B = Q_{\text{шм}} K_{\text{ВВЕ}}. \quad (3)$$

Перший коефіцієнт  $K_{\text{вуб}}$  у виразі (3) враховує втрати повітря через вентиляційні канали установки і надшахтну будівлю. Він приймається для ВГП, встановленого на скіповому стволі, рівним 1,25, клітьовому - 1,20, вентиляційному стволі (шурф), використовуваному для підйому і спуску вантажів - 1,30, вентиляційному стволі (шурф) без підйомних установок - 1,10 і штольнях без транспортування вантажів - 1,10 [21]. Другий коефіцієнт  $K_{\text{ВВЕ}}$  у виразі (3) враховує відстань  $L$  розташування повітряного гвинта від кордону перетину 0-0 до виходу газоповітряного потоку з ВГП. Як показали дослідження, цей коефіцієнт змінюється від 1,12 до 1,0 і залежить від статичного тиску в робочій зоні -  $P_{\text{ст}}$ . На рис. 1 представлені залежності коефіцієнту  $K_{\text{ВВЕ}}$  від відстані  $L$  при зміні тиску  $P_{\text{ст}1} < P_{\text{ст}2} < P_{\text{ст}3} < P_{\text{ст}4}$ .

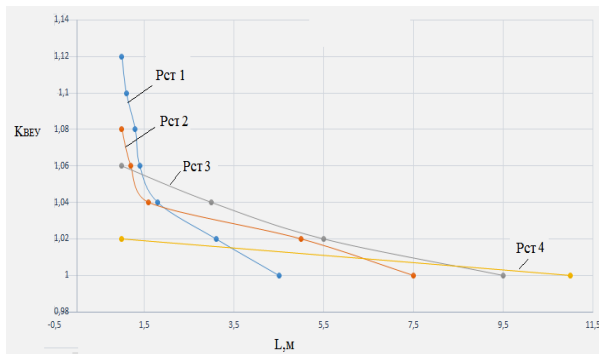
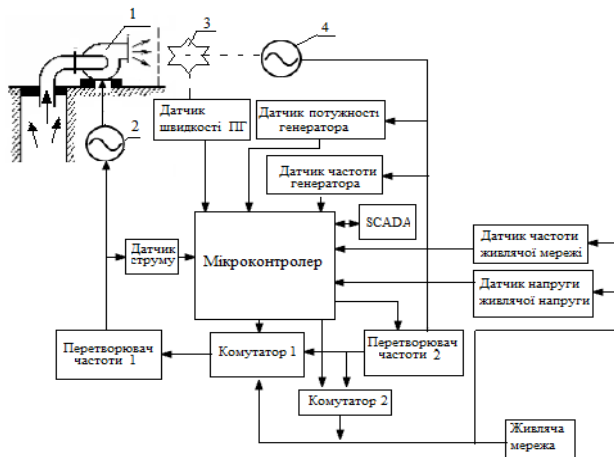


Рис. 1. Залежність коефіцієнту  $K_{\text{ВВЕ}}$  від відстані  $L$  при зміні тиску

Швидкість руху повітряних мас із ВГП визначається типом вентилятора та для її розрахунку використовується його продуктивність і параметри площини перетину вихідного каналу установки та може досягати до 10 м/с.

Для забезпечення технологічного процесу шляхом використання шахтного газоповітряного потоку для ВЕУ розроблено структурну схему автоматизованої системи керування (АСК) (рис. 2).

Рис. 2. Структурна схема автоматизованої системи керування



До складу ВЕУ входять: електропривод ВГП, що управляється від перетворювача частоти, повітряний гвинт, який з'єднаний валом із генератором змінного струму з постійними магнітами, підключений до другого перетворювача частоти, комутатори, які забезпечують подачу вихідної напруги від другого перетворювача частоти до першого перетворювача або в живлячу мережу, якщо потужність генератора буде більш достатньою. Управляє елементами автоматизованої системи мікроконтролер по сигналам датчиків, які визначають навантаження

електропривод ВГП, швидкість повітряного гвинта, потужність і частоту вихідної напруги генератора. Одночасно для забезпечення синхронізації з роботою генератора та безперебійності електропостачання споживачів використовуються датчики напруги та частоти живлячої мережі. При цьому за допомогою другого перетворювача частоти виконується регулювання частоти і вихідної напруги якого стабілізується рівень електроспоживання підключених до нього споживачів та живлення системи управління першого перетворювача частоти, включеного в ланцюги асинхронного електродвигуна ВГП.

В АСК входить SCASA-система, яка забезпечує в реальному часі моніторинг та управління відроенергетичною установкою, забезпечуючи споживачів живлячої мережі стабільною напругою з постійною частотою незалежно від зміни параметрів у будь-якій ланці системи. Для цьо-

го запропоновано спеціальний алгоритм керування технологічним процесом при якому мікропроцесор здатний підтримувати постійні вихідні параметри ВЕУ.

**Висновки.** Використання вентиляційних газо-повітряних потоків ВГП шахт із перетворенням цих потоків енергії в електричну є реальна можливість генерувати і використовувати електричну енергію для власних потреб гірничих підприємств. Розробка й реалізація на практиці запропонованої ВЕУ дозволить здійснювати автономне живлення від них низки приймачів електричної енергії гірничих підприємств, що дозволить зменшити собівартість видобутку корисних копалин. Розроблений спосіб управління вихідною напругою синхронного генератора з постійними магнітами в складі ВЕУ за рахунок дії постійного газо-повітряного потоку додаткового підвищення продуктивності ВГП практично не потребує, тому що вона залежить від розташування газо-повітряного гвинта до кордону виходу вентиляційного потоку з ВГП. При цьому плавно регулювання значень вихідної напруги та її частоти автоматизована система керування буде відчувати при найменших змінах швидкості потоків або величини навантаження.

### Список літератури

1. **Сінчук О. М.** Автономна вітроенергетичної установки для підземних гірничих виробок залізородних шахт / **О. М. Сінчук, С. М. Бойко** // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2014. № 1. - С. 70 -72.
2. Патент на корисну модель МПК F03D 1/04 (2006.01), F03D 9/25 (2016.01). Спосіб отримання електроенергії [Текст] / **В.Й., Лобов, К.В., Лобова**; заявник і патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет». - № 105303 U, опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5.
3. **Бешта О. С., Півняк Г. Г.** та ін. Екологічна та економічна складові використання геотехнічних систем України. Монографія. – Дніпропетровськ, НГУ, 2013.
4. **Горелов Д. Н.** Аэродинамика ветроколес с вертикальной осью вращения [Текст] / **Д. Н. Горелов.** – Омск: Полиграфический центр КАН, 2012. – 68 с.
5. **Климко В.** Алгоритм роботи комбінованої автономно-мережевої системи електроживлення окремого об'єкта [Текст] / **В. Климко** // Энергетика та системи керування. Матеріали IV Міжнародної конференції молодих вчених ERECS-2013 (21-23 листопада, 2013 р., м. Львів). - 2013. - С. 84–86.
6. **Твайделл Д.** Возобновляемые источники энергии [Текст] / **Д. Твайделл, А. Уэйр**; Пер. С англ. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
7. **Барский В.А., Бешта А.С., Горбачев Н.В., Загирняк М.В., Клепиков В.Б., Лозинский О.Ю., Пересада С.М., Садовой А.В., Толочко О.И.** / Электропривод как энергосберегающий фактор в промышленности и ЖКХ Украины // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. –Харьков, 2013. – № 9(115). – С. 2–11.
8. **Щур І. З.** Энергетична ефективність різних способів відбору потужності від синхронного генератора з постійними магнітами у вітроенергоустановці [Текст] / **І. З. Щур, О. Р. Турленко** // Электроенергетичні та електро-механічні системи. Вісн. Націон. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2009. – № 654. - С. 272–277.
9. Стратегия энергосбережения в Украине: аналитически-справочные материалы в 2-х томах. Общие основы энергосбережения/ за ред. **В.А. Жовтнянського, М. М. Куліка, Б. С. Стогнія** – К.: Академперіодика, 2006. – Т. 1. – 510 с.
- 10.3 акон України про електроенергетику – Верховна рада України, Законодавство [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/main/575/97-%D0%B2%D1%80>.
11. **Емельянов А.П.** Энергосберегающие алгоритмы управления электроприводом // Электроприводы переменного тока: тр. XV Междунар. конф. – Екатеринбург, 2012. – С. 201–205.
12. **Козярук А. Е., Васильев Б. Ю.** Повышение энергоэффективности электропривода переменного тока // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 1. - С. 16–21.
13. **Игорь Соларов.** Ветрогенератор своими руками [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурса: [http://radioskot.ru/\\_fr/36/-\\_.pdf](http://radioskot.ru/_fr/36/-_.pdf)
14. **Янсон Р.А.** Ветроустановки: Учеб. пособие по курсам "Ветроэнергетика", "Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников энергии", "Введение в специальность" / Под ред. **М.И. Осипова.** - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. - 36 с.
15. **Морозов, Д. А.** Синтез ветроустановки малой мощности с вертикальной осью вращения: дис. ...канд. техн. наук/ Ижевский гос. техн. ун-т. – Ижевск, 2011. – 140 с
16. **Серебряков Р. А., Бирюк В. В.** Энергопреобразователь, использующий низкопотенциальные воздушные, тепловые и гидравлические потоки // Вестник аграрной науки Дона. Выпуск № 32 / том 4 / 2015. - С.83-88.
17. Патент на корисну модель МПК (2016.01), H02J 13/00. Пристрій для автоматичного керування електроживленням. [Текст] / **В.Й., Лобов, Л.І., Єфіменко, М.П., Тиханський, М.С., Чернюк**; заявник і патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет». - № 109979, опубл. 26.09.2016, Бюл. № 18.
18. Патент на корисну модель МПК(2016.01), G03D 5/00, F01B 1/00. Спосіб отримання електроенергії [Текст] / **В.Й., Лобов, К.В., Лобова, Т.А., Кривенко**; заявник і патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет». - № 110298, опубл. 10.10.2016, Бюл. № 19.
19. Патенту України № 76279 С2, опубл.2006.07.17, МПК 7 F03D9/00.
20. Патент України № 28997, кл. F01B1/00, F03B13/12, F03D1/02.
21. **Ивановский И.Г.** Шахтные вентиляторы: Учеб. пособие. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003. – 196 с.

Рукопис подано до редакції 20.03.17