

ЗАСТОСУВАННЯ РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ПРИВІДНИХ СИСТЕМ ЗМІННОГО СТРУМУ В БУРОВИХ ВЕРСТАТАХ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

О. С. Бешта, В. С. Хілов

Національний гірничий університет, Дніпропетровськ

Надійшла до редакції 28.03.06

Резюме: Проведено зіставлення різних привідних систем для шарошkových верстатів, які застосовуються на гірничих підприємствах України. Обґрунтовано напрямок застосування енерго- та ресурсощадних приводів змінного струму для гірничих машин. Зроблено прогноз щодо подальшого удосконалення систем керування приводами бурових верстатів з урахуванням технологічних особливостей об'єкта управління.

Ключові слова: електропривід, частотне керування, автоматизація процесу буріння.

А. С. Бешта, В. С. Хілов. ПРИМЕНЕНИЕ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРИВОДНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В БУРОВЫХ СТАНКАХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ.

Резюме: Проведено сопоставление разных приводных систем для шарошечных станков, применяемых на горных предприятиях Украины. Обосновано применение энерго- и ресурсосберегающих приводов переменного тока для горных машин. Сделан прогноз дальнейшего усовершенствования систем управления приводов буровых станков с учетом технологических особенностей объекта управления.

Ключевые слова: электропривод, частотное управление, автоматизация процесса бурения.

A. S. Beshta, V. S. Khilov. APPLICATION OF ENERGY AND RESOURCES AC DRIVES IN DRILLING RIGS OF NEW GENERATION.

Abstract: Comparison of different drives for milling cutter machine tools used at mining enterprises of Ukraine is made. Application of energy and resources saving AC drives for mining machines is proved. The forecast of further improvement of drilling rig control system considering manufacturing features of controlled entity is offered.

Keywords: electric drive, frequency control, drill process automation.

Базою гірничо-металургійного комплексу України є підприємства з видобутку і переробки залізних руд, 77 % виробничих потужностей яких сконцентровані в Криворізькому басейні Дніпропетровської області. Освоєння Криворізького залізорудного басейну ведеться понад сто років (починаючи від 1881 р.).

За цей час вироблено 3,9 млрд т товарної залізної руди (природно багаті руди), тобто 86 % від усього видобутку в Україні.

Переробка залізорудної сировини у товарну залізорудну продукцію ведеться на дев'ятьох кар'єрах п'ятьох гірничо-збагачувальних комбінатів з подальшою переробкою на де-

в'ягтьох збагачувальних, чотирьох агломераційних і трьох грудкувальних фабриках; природно багатих залізних руд – на восьми шахтах підземним способом і на двох кар'єрах – відкритим.

При проведенні відкритих гірничих робіт буріння вибухових свердловин є однією з основних, дуже трудомістких і дорогих операцій. До основних проблем відкритого способу видобутку корисних копалин відноситься фізичне і моральне старіння бурового устаткування [1]. Тому модернізація устаткування і створення нового покоління бурових верстатів є важливою науково-технічною задачею, від вирішення якої залежить успішне функціонування гірничої галузі країни.

Нині в кар'єрах України працює велика кількість гірничих машин з вичерпаним нормативним терміном служби, тому що в останнє десятиліття цілком припинилося відновлення устаткування. Бурові верстати зносилися в середньому на 80–100 %. Такий стан техніки вимагає заміни застарілих машин новими. Про масштабність такої заміни можна судити виходячи з того факту, що на кар'єрах гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) Криворізького басейну наразі необхідно замінити 100 % бурових верстатів [2].

Відповідно до програми розвитку гірничорудних підприємств Дніпропетровської області до 2010 р. потреба в бурових верстатах нового покоління складає не менш 90 одиниць. Імпорт бурової техніки з країн ближнього зарубіжжя вимагає значних інвестицій і не забезпечить підвищення техніко-економічних показників гірничого виробництва. Тому безальтернативним варіантом вирішення проблеми розвитку гірничого виробництва країни є створення і впровадження гірничих машин нового, більш високого технічного рівня, виготовлених українськими машинобудівниками, що забезпечить як підвищення експлуатаційних показників самих машин, так і можливість комплексного технічного переозбро-

ення і реконструкції галузі. Наявність на території України розвинених підприємств електротехнічної і машинобудівної промисловості дасть можливість успішно вирішити поставлену задачу.

Поряд з удосконалюванням механічної частини бурових верстатів необхідно поліпшувати і привідну систему, що повинна відповідати досягнутому рівню в електротехнічній промисловості. Тільки так вдасться створити конкурентноздатну машину.

На кар'єрах ГЗК Кривбасу накопичено великий досвід експлуатації привідних систем для шарошкових верстатів обертового буріння. Парк бурових машин, що залишився в експлуатації, оснащений в основному верстатами СБШ-250 МН заводу "Рудгормаш" (м. Воронеж, Росія). На верстатах застосовуються привід обертання по системі "тиристорний перетворювач – двигун постійного струму" та гідравлічний серводвигун з поршнями приводу подачі, котрі поступово рухаються. Живлення двигуна здійснюється від шестерного гідронасоса постійної продуктивності з асинхронним нерегульованим приводом. У гідросистему введено пропорційний регулятор витрати мастила. Привід ходу верстата здійснюється від короткозамкненого нерегульованого асинхронного двигуна (МТКН511-8, 30 кВт, 11,5 1/с) з релейно-контактним керуванням.

Істотним недоліком такої системи електроприводу бурового механізму є застосування привідних систем постійного струму. Двигуни постійного струму в порівнянні з асинхронними двигунами при однакових швидкостях і потужностях у півтора-два рази важчі й у три рази дорожчі. Момент інерції та відношення його до пускового моменту, що визначають швидкодію асинхронного двигуна, в 2–2,5 рази менші, ніж у двигунів постійного струму. Двигун постійного струму оснащений колектором, що знижує надійність і ускладнює його експлуатацію у кар'єрних умовах.

В даний час спостерігається широке впровадження асинхронного частотно-регульованого електропривода, що обумовлено високими техніко-економічними показниками короткозамкненого асинхронного двигуна і значними успіхами в розвитку силової перетворювальної техніки та автоматичних засобів керування. Головним напрямком розвитку асинхронного регульованого електропривода є створення частотно-регульованого електропривода на основі інверторних перетворювачів частоти з автономним інвертором струму (АІТ), а також з автономним інвертором напруги і широтно-імпульсною модуляцією (АІН-ШІМ).

Нині в зарубіжному і вітчизняному гірничорудному виробництві підтримуються тенденції до впровадження автоматизованих електроприводів. На практиці спостерігається:

- застосування регульованих електроприводів для досягнення нових якісних результатів у технології, заміна нерегульованих приводів регульованими в енергоємному устаткуванні з метою енергозбереження;
- підвищення рівня комп'ютеризації електроприводів, механізмів, агрегатів і комплексів і розвиток засобів технічного контролю з використанням керуючих контролерів;
- розвиток засобів і методів самонастроювання й автоматичної оптимізації систем керування;
- активний розвиток систем діагностики, обслуговування, візуалізації технологічних процесів і процесів керування.

Проекти виробництва нового технологічного обладнання виконуються з використанням систем автоматизованих електроприводів змінного струму. Частка електроприводів постійного струму в таких проектах незначна і постійно зменшується. Зазвичай приводи постійного струму зберігаються тільки в проектах модернізації діючого устаткування з за-

старілими засобами і системами керування, з високим рівнем енерговитрат у технологічному процесі при глибокому регулюванні швидкості.

Проекти модернізації діючого устаткування в частині автоматизованих електроприводів виконуються в основних чотирьох варіантах:

- 1) заміна аналогових і релейно-контактних систем керування на цифрові з використанням промислових комп'ютерів, технологічних контролерів, логічних контролерів, інтелектуальних модулів периферії, що відповідають нижньому і верхньому рівню автоматизації;
- 2) реалізація варіанта 1, доповнена заміною аналогових блоків керування комплектних електроприводів постійного струму на цифрові з використанням контролерів привода;
- 3) реалізація варіанта 2, доповнена заміною силових блоків комплектних електроприводів (електродвигуни і мережі електроживлення залишаються незмінними);
- 4) повна модернізація автоматизованих електроприводів – заміна електропривода постійного струму на електроприводи змінного струму.

Найбільш витратним (але і найбільш ефективним) є варіант 4, що реалізується на бурових верстатах буропідричних свердловин. При модернізації електроприводів бурових верстатів, що експлуатуються на кар'єрах Кривбасу ТОВ "Оркіс" (м. Жовті Води, Україна), яка проводилась разом із НГУ (м. Дніпропетровськ, Україна), був частково реалізований варіант 4.

На першому етапі для підвищення експлуатаційної надійності приводу обертання у 2000 р. при модернізації верстата СБШ 250 МН на Центральному ГЗК (м. Кривий Ріг, Україна) замість тиристорного приводу постійного струму був встановлений тиристорний привід змінного струму з перетворювачем частоти на основі інвертора струму з прямою циф-

ровою системою керування [3] (розробка ВАТ ХЕМЗ, м. Харків, Україна). Як привідний двигун був використаний спеціально розроблений асинхронний двигун обертання АМРУ280М4БУ2 з потужністю 90 кВт, номінальною частотою обертання 1 480 об./хв при тривалості вмикання 100 % та підвищеною перевантажувальною здатністю, виготовлений на Ново-Каховському електромеханічному заводі (м. Нова Каховка, Україна). Тиристорний перетворювач частоти, виконаний з ланкою постійного струму, містить регульований випрямляч напруги й автономний інвертор струму [4]. Дросель, що згладжує, вмикається у коло постійного струму. Подавачем струму статора є вихідний сигнал функціонального перетворювача, в якому реалізується нелінійна залежність струму статора від частоти ковзання. На відміну від привідної системи на постійному струмі використовується контур швидкості з регулятором швидкості і датчиком напруги, зворотний зв'язок по швидкості замикається від спостерігача [5]. У привідній системі реалізований частотно-струмовий принцип керування. Досвід експлуатації цієї привідної системи показав її високу надійність, не зважаючи на складності перетворювача частоти і системи керування.

Водночас на Інгулецькому ГЗК проводилися промислові випробування верстата СБШ-250/270-32 виробництва ВАТ "НКМЗ" (м. Краматорськ, Україна) за спільним з ВАТ "КриворіжНДПРудмаш" проектом. Верстат обладнаний приводом обертання по системі "тиристорний перетворювач – двигун постійного струму". Для спусково-підйомних операцій става був застосований тиристорний привід постійного струму. Він обертає гідронасос змінної продуктивності, який живив гідродвигун, що через знижувальний редуктор створював натяг системи поліспасти. Таке конструктивне вирішення дало можливість відмовитися від гідроциліндрів подачі. Для операції буріння використовувався асин-

хронний нерегульований двигун з гідронасосом постійної продуктивності і пропорційним регулятором витрати мастила. Для привода ходу верстата був застосований гідравлічний двигун, який під час руху верстата одержував живлення від гідронасоса зі змінною продуктивністю [6–8].

З урахуванням отриманих результатів роботи бурового устаткування в умовах кар'єру був розроблений і створений буровий верстат нового покоління СБШС-250Н, змонтований і введений в експлуатацію на ЦГЗК в 2003 р. [9]. Верстат розроблений на ВАТ "НКМЗ" (м. Краматорськ) разом з ТОВ "Оркіс" (м. Жовті Води), НГУ (м. Дніпропетровськ) при фінансовій підтримці ВАТ "Центральний ГЗК" (м. Кривий Ріг).

Це був другий етап, на якому повністю реалізувався варіант 4 повної модернізації як механічної частини, так і електроустаткування бурового верстата.

Верстат обладнаний частотно-керуваними транзисторними приводами змінного струму. Електропривод виконаний на основі дволанкового перетворювача частоти з транзисторним (IGBT) автономним інвертором напруги із широтно-імпульсним керуванням. Частотно-регульовані короткозамкнені асинхронні двигуни встановлені в приводі обертання става (АМРУ280М4БУ2, 1480 об./хв, 90 кВт), у приводі обертання гідронасоса змінної продуктивності для спусково-підйомних операцій (4АМ225М4БУ2, 1470 об./хв, 55 кВт) і в приводі ходу верстата (4АМУ250М8БУ2 740 об./хв, 45 кВт). Для створення натягу поліспасти в період операції буріння застосовується нерегульований привід (двигун мастилонасоса АМУ132М4У2 1500 об./хв, 7,5 кВт).

Перетворювачі частоти розроблені фірмою "Triol Corporation" (м. Харків), в яких керовані вентилями силового каналу мають модульне виконання з безпотенційними (ізолюваними) корпусами. У схемі автономного інвертора напруги використані силові модулі з

обробкою інформації “інтелектуальні”, де поряд із силовими транзисторними ключами інтегровані датчики струму, напруги, температури, пристрої керування (драйвера) і захисту. Застосовується спеціально розроблений для керування електродвигунами сигнальний процесор (DSP), що дає можливість оптимізувати алгоритм широтно-імпульсного керування транзисторним інвертором напруги, а також здійснювати пряме цифрове векторне керування асинхронним електроприводом. Блоки електроніки конструктивно розраховані на високий рівень вібрацій і ударних навантажень. Використані два комплекти транзисторних перетворювачів частоти для чотирьох двигунів.

Залежно від виконуваних технологічних операцій до перетворювачів підключаються двигуни ходу або обертання і гідронасосу змінної продуктивності. При підключенні силового перетворювача до асинхронного двигуна система керування автоматично визначає параметри об'єкта керування і здійснює налагодження системи регулювання на ці параметри. Такі технічні рішення по системі приводу бурового верстата дають можливість забезпечити:

- вирішення складних технологічних задач за рахунок регулювання параметрів буріння, у тому числі й у замкнених системах автоматичного регулювання;
- істотне заощадження енергії та ресурсів завдяки оптимізації режимів роботи устаткування з урахуванням властивостей і характеристик порід, що буряться, та високих енергетичних показників;
- ефективне використання приводних електродвигунів за рахунок оптимізації режимів роботи бурового верстата;
- збільшення ресурсу роботи електротехнічного і механічного устаткування.

На підставі зіставлення технічних показників запроваджених приводних систем

змінного струму можна зробити такі висновки:

- 1) найменші максимальні значення статорного струму й електромагнітного моменту, розмах пульсацій струму, моменту і швидкості спостерігаються при живленні двигуна від АІН-ШІМ, а найбільші – від АІТ;
- 2) при рівних максимальних (пікових) значеннях статорного струму найбільша перевантажувальна здатність по моменту спостерігаються при живленні двигуна від АІН-ШІМ, а найменша – від АІТ;
- 3) для асинхронного двигуна відношення розмаху пульсацій швидкості до її середнього значення значно більше при живленні від АІТ, ніж при живленні від АІН-ШІМ – у всьому діапазоні регулювання швидкостей;
- 4) керування електроприводом здійснюється в обертовій системі координат, а саме векторів статорного струму і напруги, а система координат пов'язана з вектором потокозчеплення ротора;
- 5) параметри керування двигуна визначаються за допомогою спостерігача;
- 6) основним зовнішнім контуром розглянутих електроприводів є контур контролювання частоти обертання двигуна;
- 7) керування здійснюється без установлення датчиків на двигуні.

Наступним напрямком покращення роботи бурових верстатів, у якому працюють наукові співробітники НГУ, на підставі керуючих бортових мікроконтролерів є здійснення комплексної автоматизації управління буровими верстатами. Це повинно забезпечити буріння в автоматичному режимі за задалегідь заданою програмою, автоматизацію допоміжних операцій, можливість застосування форсованого чи полегшеного режиму. Крім того, розробляється комплексна система автоматичного керування, яка включає:

- систему коректування параметрів режиму, систему автоматичного забурювання свердловин за спеціальною програмою;
- пристрій, який формує програму коректування залежності від глибини свердловини і міцності розбурюваної породи, що дає можливість збільшити працездатність шарошкових верстатів;
- систему автоматичного захисту від вібрацій, зашламовування свердловини, перевантажень по обертовому моменту і потужності;
- систему автоматичного пуску від керованого перетворювача асинхронного приводу компресора, а у подальшому і керування компресором у процесі буріння, що значно скорочує енергоспоживання верстата і здешевлює буропідливні роботи.

Надалі необхідно вирішувати задачі, пов'язані з адаптацією процесу керування руйнуванням порід залежно від умов буріння, що можливе на базі бортового керуючого мікроконтролера й автоматизованої системи керування верстатом. При цьому бортовий мікроконтролер одержує безпосередньо інформацію від датчиків параметрів буріння. За інформацією датчиків керуючий мікроконтролер буде розраховувати параметри режиму буріння і робити поправки до роботи привода обертання, подачі і компресора.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Бызов В. Ф., Паранько И. С., Евтехов В. Д.** Потенциал недр Украины. // Горный журнал. – 2000. – № 6. – С. 138–140.
2. **Колосов В. А., Воловик В. П., Дядечкин Н. И.** Современное состояние и перспективы развития предприятий по добыче и переработке железорудного и флюсового сырья в Украине. // Горный журнал. – 2000. – № 6. – С. 162–164.
3. Декларацийний патент України на винахід 42249 А "Електропривод бурового механізму". / О. І. Дмитрієнко, В. А. Оселедько, В. М. Кириченко, І. І. Епштейн, М. В. Найдюнов, Я. С. Балтер, А. О. Семикін, В. М. Ропало, В. С. Хілов. Оpub. Б.І.П.В. 15.10.2001; Бюл. № 9.
4. **Калашников О. Ю., Джержинский В. А.** Формирование технической политики АО "НКМЗ" в области производства горного оборудования. // Зб. наук. тр. НГАУ. – 2002. – № 13, том 2. – С. 146–152.
5. **Калашников О. Ю., Джержинский В. А.** Новая техника украинских машиностроителей для открытых разработок. // Горный журнал. – 2000. – № 6. – С. 152–153.
6. **Лавренко Ю. В., Михалев Ю. Н., Мучнистый Ю. А.** Современная техника для буровзрывных работ. // Горные машины и автоматика. – 2003. – № 8. – С. 14–16.
7. **Хілов В. С.** Удосконалювання приводних систем бурових верстатів для кар'єрів Кривбасу. // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн.зб., 2005. – № 71. – С. 70–77.
8. **Півняк Г. Г., Бешта О. С., Хілов В. С.** Принципи побудови системи керування електроприводом обертання ставу верстата шарошечного буріння. // Вісник НТУ"ХПІ". – 2003. – № 10, Т. 1. – С. 141–143.
9. **Півняк Г. Г., Бешта А. С., Хілов В. С.** Управление приводом вращения става шарошечного бурения на основе асимптотического идентификатора состояния. // Электротехника. – 2004. – № 6. – С. 23–26.
10. **Півняк Г. Г., Бешта О. С., Хілов В. С.** Адаптивний нечіткий регулятор потужності для керування процесом буріння. // Технічна електродинаміка. – 2004. – № 6. – С. 47–52.
11. **Півняк Г. Г., Бешта А. С., Хілов В. С.** Идентификация момента сопротивления приводной системы. // Тр. Междунар. 13 научн.-техн. конф. "Электроприводы переменного тока", Екатеринбург. – 2005. – С. 345–348.
12. **Pivnyak G., Beshta A., Khilov V.** AC drive system for actuator's power control // XIII International Symposium on Theoretical Electrical Engineering ISTET'05, Lviv, 2005. – P. 368–370.
13. **Півняк Г. Г., Бешта О. С., Хілов В. С., Федорейко В. С.** Привідна система спусково-підйомних операцій бурового верстату. // Вісник НТУ"ХПІ". – 2005. – № 45. – С. 223–225.