

*к. т. н., доц. Амосов В.О.,
асистент Марусей О.В.
(ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)*

УДОСКОНАЛЮВАННЯ СХЕМИ УПРАВЛІННЯ ШАХТНИМ ВЕНТИЛЯТОРОМ

Наведені результати досліджень, що дозволяють істотно підвищити ефективність роботи вентилятора, розроблена схема управління вентилятором з регульованою частотою обертання ротора.

Проблема і її зв'язок з науковими й практичними завданнями. Постійне збільшення потужності й глибини вугільних шахт, зв'язане з підвищенням активності гірничих робіт вимагає застосування найбільш удосконалених приводів вентиляторів головного провітрювання, потужність яких доходить до $3000 \div 4000$ кВт [1].

За своєю питомою вагою у електромеханічному господарстві вентиляційні установки головного провітрювання (ВУГП) займають одне з перших місць.

Вентилятор повинен також забезпечувати надійність та безперервність роботи. Тому велике значення мають питання економічного обґрунтування та вибору електроприводу і схем живлення [4].

Електропривод являє собою електромеханічне устаткування, призначене для приводу у рух робочого органу машини і управління її технологічним процесом. Він складається з трьох частин : електричного двигуна, якій виконує зміни електромеханічної енергії (перетворення); механічної частини, яка виконує передачу механічної енергії робочого органу машини й системи управління, яка забезпечує управління технологічним процесом. Характеристики двигуна і можливості системи управління визначають потужність механізму, якість виконання технологічних операцій, динамічні навантаження механічного устаткування та інші вимоги. Можливість електромеханічної системи спонукає рішучу дію на важливі показники робочої машини й акцентують увагу на якості та економічній ефективності технологічних процесів.

Особливого значення набувають роботи з удосконалювання електроприводів діючих вентиляторів головного провітрювання, режими роботи яких у силу обмеженості діапазону частот регулювання не забезпечують роботи в зоні економічної ефективності [2, 3].

Аналіз досліджень і публікацій. Шахтні вентиляційні установки головного провітрювання являються одним з найбільш енергомістських споживачів електричної енергії серед діючих на сьогодні вугільних шахт, тому електропривод к ним необхідно вибирати у тісному зв'язку з питанням електропостачання шахти з урахуванням підвищення шахтного коефіцієнта потужності [4].

Найбільш вигідний варіант визначається розрахунками. Частіше електропривод потужних шахтних ВУГП базується на синхронних двигунах, однак в окремих випадках економічно ефективнішим є використання асинхронних двигунів з фазним ротором [5].

При виборі параметрів електроприводу шахтних ВУГП повинні бути врахованими деякі вимоги : потужність обираемого електродвигуна повинна бути більшою, ніж більша вимагаєма потужність за весь час розрахункової роботи ВУГП; втрата напруги при пуску ВУГП не повинна перебільшувати значень, допустимих для нормальної роботи інших споживачів електричної енергії, які живляться від того ж близького джерела, що й електропривод, який проектується; обертаючий момент, розвинений обраним електродвигуном, повинен забезпечити нормальний запуск на протязі усього часу розгону. Обрані двигуни треба перевірити по умовам нагріву при запуску, тому що шахтні ВУГП мають відносно великі пускові моменти.

Постановка завдання. В даній роботі досліджується і розробляється ефективна схема регулювання режиму роботи ВУГП, що забезпечує підвищення його ККД.

Виклад матеріалу і його результати. Однією з основних вимог до ВУГП є необхідність тривалої роботи з номінальним навантаженням, крім того, електропривод повинен забезпечувати пуск і розбіг вентилятора з великим динамічним моментом інерції до номінальної швидкості обертання. Потужність приводного двигуна взагалі визначають за формулою :

$$N_{\text{Д.Н.}} \geq K \cdot N_{\text{В.маx}} \cdot \left(\frac{n_{\text{Д.Н.}}}{n_{\text{В.Н.}}} \right)^3 \text{ кВт}, \quad (1)$$

де $N_{\text{Д.Н.}}$ – номінальна потужність приводного електродвигуна;

$K=1.1 \div 1.2$ – коефіцієнт запасу потужності електродвигуна;

$N_{\text{В.маx}}$ – найбільша потужність на валу вентилятора, кВт;

$n_{\text{Д.Н.}}$ – номінальна частота обертання електродвигуна, об/хв;

$n_{\text{В.Н.}}$ – номінальна частота обертання вентилятора, об/хв.

Не дозволяється при одній номінальній частоті обертання обирати двигун з номінальною потужністю меншою, ніж найбільша потужність на валу вентилятора, відповідаючій цій частоті обертання, навіть тоді, коли фактична потужність на його валу, визначена параметрами провітрювання шахти, значно менша найбільшій потужності на валу вентилятора. В іншому разі незаплановані зміни характеристики шахтної мережі (закорочування вентиляційного струменю й т.п.) може привести до перевантаження приводного електродвигуна й виходу його з роботи.

Статистичними дослідженнями ефективності діючих шахтних вентиляторів встановлено, що більш половини з них, а також 35 % найбільш великих з них експлуатуються з ККД менш, ніж 0,6. В багатьох випадках параметри провітрювання шахти хоч і змінюються у невеликих межах, але знаходяться у нижній частині зони економічної роботи вентилятора з аеродинамічним регулюванням, або спиняються за її межами.

Експлуатація вентилятора, якій має велику енергомісткість та постійно цілодобово працює з низьким ККД, приводить до великого споживання електроенергії.

Одним з основних напрямків удосконалення існуючого електроприводу є створення вентиляторів головного провітрювання з великою глибиною економічного регулювання їх подачі та тиску (депресії).

Розрахунок та визначення необхідного діапазону регулювання швидкості вентилятора проводиться по наступній схемі.

Загальними принципами, котрі надають дію необхідності регулювання подачі ВУГП, являються :

- сезонні коливання температури всмоктуємого повітря поверхні :

$$Q_{\text{ПОТР}} = (0.1 \div 0.15) \cdot Q_{\text{НОМ}} \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{ПОТР}}$ – необхідна подача, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{\text{НОМ}}$ – номінальна подача, $\text{м}^3/\text{с}$;

- розвиток гірничих робіт :

$$Q_{\text{ПОТР}} = (1.5 \div 2.0) \cdot Q_{\text{НОМ}} \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (3)$$

- зміни ритму ведення гірничих робіт :

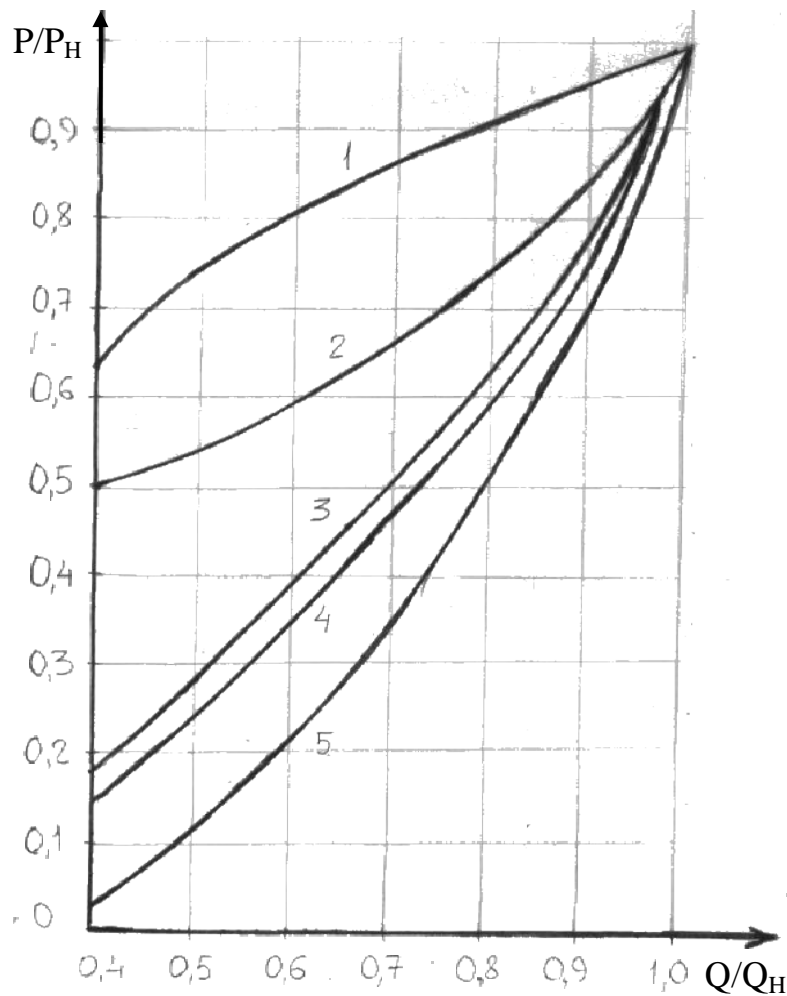
$$Q_{\text{ПОТР}} = (1.0 \div 1.15) \cdot Q_{\text{НОМ}} \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (4)$$

- святкові дні :

$$Q_{\text{ПОТР}} = (0,4 \div 0,5) \cdot Q_{\text{НОМ}} \quad \text{м}^3/\text{с}. \quad (5)$$

Таким чином, для шахтних ВУГП якісним показником є регулювання швидкості ротору вентилятора по подачі $D(\omega) = 2 : 1$ ((2) ÷ (5)).

З розглянутих схем регулювання (рис.1) найбільш ефективною вважається схема регулювання зі змінюваною частотою обертання ротора вентилятора.



1 – дросельне регулювання; 2 – регулювання направляючим апаратом; 3 – регулювання муфтами сковзання; 4 – реостатне управління асинхронним електродвигуном; 5 – регулювання у каскадних схемах включення асинхронного електродвигуна

Рисунок 1 – Криві потужності, які споживаються приводом вентилятора, при різноманітних способах регулювання продуктивності

Дослідження необхідної глибини регулювання вентиляторів вказали, що діапазон регулювання необхідних параметрів провітрювання вугільних шахт може бути забезпечений вентиляторам при регулюванні частоти обертання їх ротора від n_n до $0.5 \cdot n_n$. В реальних умовах на шахті ім. Г. Г. Капустіна використовується для провітрювання шахти вентилятор ВЦ-31,5 з регулюванням осьовим направляючим апаратом ОНА. Робота вентилятора характеризується низьким ККД (не більш 65 %). Для приводу вентиляторної установки використовується асинхронний двигун з фазним ротором типу АКН-2-15-69-10УХЛ4 напругою 6 кВ, потужністю $P_{дв} = 800$ кВт [6].

Для запуску електродвигуна використовуються роторні резистори, які набрані у секції та підключені до станції управління.

Але у дійсних умовах не зроблені розрахунки по можливості використання станції роторних резисторів вентиляторів для регулювання частоти обертання ротора ВУГП з метою зменшення витрат електроенергії і підвищення ККД установки. Крім того, роторна станція використовується лише для запуску вентилятора.

Розрахунки вказали на те, що для чинних умов експлуатації необхідно прийняти двигун на напругу 10 кВ типу АКД-2-17-76-10УХЛ4, потужністю $P_{дв} = 800$ кВт.

У зв'язку з тим, що ККД вентилятора дуже низький (≈ 60 %) через відносно невелику глибину регулювання подачі та тиску вентилятора (депресії) за допомогою осьового напрямляючого апарата ОНА, то для зменшення затрат електроенергії та збільшення ефективності регулювання зазначеними параметрами приймаємо для регулювання асинхронний вентиляційний каскад (АВК). Багатокількісні дослідження вказують на необхідність використання для вентиляторів каскадних схем підключення асинхронних електродвигунів, у яких потужність пристроїв для регулювання швидкості складають тільки частину потужності двигуна. Найкращі показники у цьому випадку мають каскади з удосконаленими статичними тиристорними перетворювачами потужності – АВК. Простота цієї схеми, можливість комплектації з серійних тиристорних перетворювачів, роблять цю схему легко використовуємою для модернізації діючих установок. У реальних умовах при дуже низькому ККД вентилятора (60 %) треба застосовувати систему регулювання по мережі АВК. Управління тиристорними перетворювачами виконується системою імпульсно-фазового управління СІФУ, виконаною по трифазній схемі (рис.2). СІФУ використовується у реверсивних тиристорних перетворювачах при лінійному та нелінійному урахуванні груп вентиляторів перетворювача, а також при окремому управлінні групами. Схема

забезпечує регулювання кута управління вентиляторів однієї з двох груп мостового інвертору.

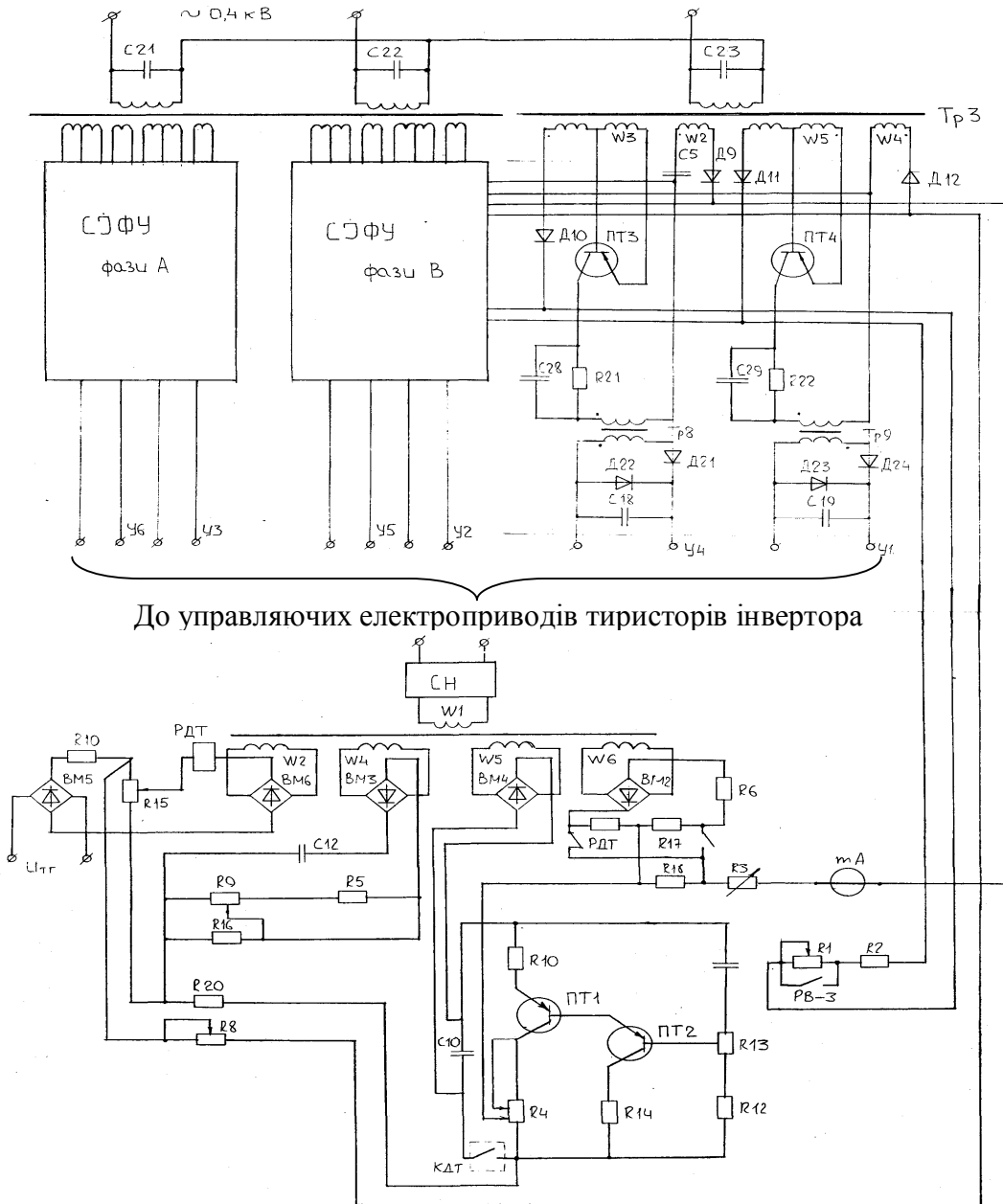


Рисунок 2 – Система імпульсно-фазового управління (СІФУ) інвертору

Управління кола анодної групи інвертору замкнено на резисторах R1 та R2, а управління катодною групою виконується задатчиком інтенсивності, виконаним на напівпровідних тріодах ПТ1 та ПТ2. На початку процесу гальмування при замиканні контактора КДТ з резистора R18

знімається напруга, що відповідає величині електрорушійної сили. Однак, час гальмування приводу регулюється зменшенням постійного заряду конденсатора С13 за допомогою резисторів R12 та R13. При збільшенні напруги на конденсаторі транзистори ПТ1 та ПТ2 відкриваються і напруга збільшується. На вхід пропорційного регулятора струму також підводиться напруга відносно швидкості обертання двигуна. Сигнал зворотного зв'язку підсумовується з завданням на резисторі R16 : назустріч йому у двигуновому режимі і разом у режимі гальмування. Сумарний сигнал зрівнюється з відносною напругою у колі діодів Д10, Д11, бази тріодів ПТ3, ПТ4, котрі виконують функцію ключів в колах накопичувачів С5 та С6 й вихідних трансформаторах Тр8, Тр9. При досягненні заданої швидкості реле РДТ, яке контролює швидкість двигуна, вимикається, і розмикає коло контактора КП1, вимикаючи динамічне гальмування.

Необхідна потужність трансформатора визначається за формулою

$$P_{\text{НЕОБХ}} = P_{\text{Н}} \cdot \left(1 - \frac{n_{\text{Н}}}{n_0 \cdot D(\omega)} \right) \text{ кВт} , \quad (6)$$

де $P_{\text{Н}}$ – номінальна потужність електродвигуна;

$n_{\text{Н}}$ – номінальна частота обертання валу електродвигуна;

n_0 – номінальна частота обертання робочого колеса вентилятора;

$D(\omega) = 2$ – діапазон регулювання швидкості робочого колеса вентилятора.

Електрорушійна сила (ЕРС) обмотки низької напруги трансформатора визначається за формулою :

$$E_{2\text{T}} = \frac{E_{\text{РН}} \cdot S_{\text{МАХ}} - \Delta U}{\cos \beta_{\text{МІН}}} \text{ В} , \quad (7)$$

де $E_{\text{РН}}$ – номінальна напруга обмотки ротора приводного електродвигуна;

$S_{\text{МАХ}}$ – найбільше значення скочвання електродвигуна при регулюванні швидкості;

ΔU – просумована втрата напруги на одночасно працюючих вентилях інвертора та випрямлювача;

$\cos \beta_{\text{МІН}}$ – значення косинусу найменшого кута (15°) відкривання тиристора.

Отримані результати розрахунків ($P_{TP} = 406,7$ кВт, $E_{2T} = 534,9$ В) дозволяють зробити вибір трансформатора – обираємо трансформатор загального призначення ТМ – 630/10.

Номінальний струм тиристорного перетворювача визначається за формулою :

$$I_{H.П} \geq I_{2H} \cdot \sqrt{\frac{3}{2}} \text{ А}, \quad (8)$$

де I_{2H} – номінальний струм обмотки ротора електродвигуна вентилятора.

Номінальна напруга перетворювача визначається за формулою :

$$I_{H.П} \geq 1.35 \cdot U_{PH} \cdot S_{PH.АЙБ} \text{ В}, \quad (9)$$

де U_{PH} – номінальна напруга обмотки ротора електродвигуна.

У якості перетворювача АВК приймаємо агрегатні вузли керуемого випрямляча ЕКТ – 80.01750 – 2221 – УХЛ4.

У якості роторного перетворювача приймаємо блок ЕКТ з заміною тиристорних вентилів на діодні типу Д143-800, які мають східні установчі розміри.

Невикористані елементи тиристорного блоку можливо використовувати у якості комплекту робочого блоку ЕКТ.

СІФУ інвертора дозволяє отримати проти-ЕРС, яка відтворюється у роторному колі, вона відображається формулою :

$$e_{\partial u} = E_{PO} \cdot \cos\left(\beta_{НАЙМ} + \left(\frac{\pi}{2} \cdot \beta_{НАЙМ}\right)\right) \cdot \frac{U_y}{U_{MAX}} \text{ В}, \quad (10)$$

де U_{MAX} – амплітуда опорної напруги;

U_y – напруга управління СІФУ.

Розрахунок аеродинамічних характеристик вентилятора відбувається за формулами подібності лопасних машин :

$$\frac{H_H}{H_M} = \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^2, \quad (11)$$

$$\frac{Q_H}{Q_M} = \frac{n_H}{n_M}, \quad (12)$$

де Q_M, H_M – відносно продуктивність та тиск вентилятора при зміні режиму роботи відносно до номінального;

Q_H, H_H – відносно продуктивність та тиск вентилятора у номінальному режимі роботи.

Підставляючи значення частоти обертання робочого колеса вентилятора n_M при застосуванні АВК у формули (11) та (12), виконаємо розрахунок аеродинамічних характеристик вентилятора на окремі значення частоти n_M .

Результати розрахунків свідчать, що при застосуванні АВК ККД вентилятора підвищується з 60 до 81 відсотка, що впливає на зріст ефективності роботи вентилятора.

Висновки й напрямки подальших досліджень. Отримані результати досліджень показують, що застосування системи регулювання АВК істотно підвищує ефективність існуючих на шахтах ВУГП. Надалі необхідно досліджувати можливість застосування АВК на ВУГП, на яких застосовані менш ефективні способи регулювання режимів (наприклад, за допомогою закрилків, направляючого апарата й ін.).

Приведены результаты исследований, позволяющие существенно повысить эффективность работы вентилятора, разработана схема управления вентилятором с регулируемой частотой вращения ротора.

The results of researches allowing essentially to increase an overall performance of the ventilating fan are instanced, the circuit design of steering by the ventilating fan with an adjustable rotational speed of a rotor is developed.

Бібліографічний список.

1. Правила безпеки у вугільних шахтах. – К.: Держнаглядохоронпраці, 2000. – 496 с.

2. Керівництво по проектуванню вентиляції вугільних шахт. – М.: Надра, 1975. – 238 с.

3. Шахтні вентиляційні установки головного провітрювання. / Під загал. ред. Г. А. Бабака. – М.: Надра, 1982. – 296 с.

4. Разумний Ю.Т., Шкрабець В.П. Підвищення ефективності електропостачання вугільних шахт. / Ю.Т. Разумний, В.П. Шкрабець. – К.: Техніка, 1986. – 136 с.

5. Чершаних В.М. Системи електроприводу і автоматики шахтних стаціонарних машин та установок / В.М. Чершаних, Д. І. Родькин, В.В. Каневський. – М.: Надра, 1976. – 398 с.

*6. Морозов Н. В. Довідник по електропостачанню вугільних шахт.
/ Н. В. Морозов. – М.: Надра, 1984. – 405 с.*

*Рекомендовано до друку
д. т. н., проф. Бабіюком Г.В.*