

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА СИСТЕМА ПНЕВМОТРАНСПОРТУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ БОРОШНОМЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Приведено енергозберігаючу систему пневмотранспортування зерна та продуктів його помолу на борошномельних підприємствах. Запропоновано блок-схему системи та спосіб керування технологічними параметрами вентиляторів пневмотранспортерів з регульованим електроприводом.

Умовні позначення

a_v, b_v, c_v – постійні коефіцієнти, які залежать від конструкції вентилятора;

n_v – частота обертання робочого колеса вентилятора;

H_v – напір вентилятора Па;

Q – розхід повітря, м³/год.

Q – продуктивність вентилятора м³/год;

η_v – коефіцієнт корисної дії вентилятора;

η_n – коефіцієнт корисної дії передачі;

M_e – електромагнітний момент АД;

M_m – механічні втрати моменту АД;

ω – кутова швидкість вентилятора;

A, B, C, D, E, F, G, L – коефіцієнти апроксимації, які визначаються для конкретного вентилятора.

На енергоємність пневмотранспорту впливають технологічні параметри пневмомережі, такі, як тиск і витрата повітря, котрі потрібно регулювати в залежності від завантаження матеріалопроводів. Для регулювання цих параметрів розроблені різні типи систем автоматичного керування (САК), які розглянуті в [1,2]. Застосовані в САК датчики технологічних параметрів і використання заслінок в процесі регулювання дає незначну економію електричної енергії, але призводить до зменшення надійності їх роботи.

Робота виконується в рамках пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки “Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в промисловості, енергетиці та агропромисловому комплексі” на 2002 – 2006 роки.

Метою даної роботи є створення енергозберігаючої системи пневмотранспортування продукції борошномельних підприємств за рахунок використання регульованого електроприводу.

Застосування пневмотранспорту на борошномельних підприємствах дозволяє покращити умови праці, санітарний і екологічний стан цехів, попереджає небезпеку зараження цехів і продукції шкідниками зерна і борошна, зменшує небезпеку пожеж і вибухів, сприяє гнучкості систем, герметизації і автоматизації процесу, можливості переміщення сипких матеріалів за складною траєкторією, забір матеріалів із різних засобів доставки і важкодоступних місць, але разом із цим є ряд вагомих недоліків, а саме [3]:

- при переводі млинів на пневматичний транспорт питомі витрати енергії на 1 т продукції зростають у деяких випадках на 50 і більше відсотків;
- коефіцієнти корисної дії вентиляторів високого тиску не перевищують 0,7;
- не створені автоматичні системи і конструкції для контролю і автоматичного керування пневмотранспортними установками.

В умовах роботи борошномельних заводів пневмотранспортні установки компонуєть розгалуженими, тобто з декількох матеріалопроводів, які обслуговуються загальною повітрорудною машиною. Матеріалопроводи однієї установки транспортують продукти, близькі між собою за аеродинамічними характеристиками.

Досвід експлуатації пневмотранспортних установок у борошномельній промисловості показує [4], що їх енергетичні показники на різних підприємствах змінюються у великих межах. Питомі витрати електроенергії на окремих підприємствах перевищує середній для борошномельної промисловості показник 95 кВт·год/т. Питомі витрати електроенергії тільки на пневмотранспорт знаходяться в межах від 20 до 44 кВт·год/т. Доля витрат електроенергії, що споживається пневмотранспортними установками, в загальних витратах енергії на вироблення 1 т борошна складає 21-37%. Повний ККД пневмотранспортних установок борошномельних заводів не перевищує 10%. Тому зменшення витрат енергії на пневмотранспорт є важливим фактором підвищення ефективності виробництва на борошномельних заводах.

Аналіз енергетичних характеристик млина типу Р6–АВМ–15 показав, що при різних режимах роботи пневмотранспортної установки, енергоємність пневмотранспортування зерна і продуктів його помолу більша на 20–35% від необхідної [5].

При використанні регульованого електроприводу вентиляційної установки на вищезгаданому млині можна змінювати частоту обертання робочого колеса таким чином, щоб забезпечити будь-який режим роботи пневмотранспортної установки.

Для регулювання частоти обертання асинхронного електродвигуна сьогодні випускається широкий спектр частотних перетворювачів, за допомогою яких швидкість електродвигунів можна регулювати від нуля до номінальної величини.

Аеродинамічна характеристика вентилятора визначається за виразом:

$$H_{\epsilon} = -a_{\epsilon} Q^2 + b_{\epsilon} n_{\epsilon} Q + c_{\epsilon} n_{\epsilon}^2 . \quad (1)$$

Коефіцієнти a_{ϵ} , b_{ϵ} , c_{ϵ} визначаємо за методом найменших квадратів з системи рівнянь:

$$\begin{cases} a_{\epsilon} \sum Q_i^4 + b_{\epsilon} \sum Q_i^3 n_i + c_{\epsilon} \sum Q_i^2 n_i^2 = \sum H_i Q_i^2 \\ a_{\epsilon} \sum Q_i^3 n_i + b_{\epsilon} \sum Q_i^2 n_i^2 + c_{\epsilon} \sum Q_i n_i^3 = \sum H_i Q_i n_i \\ a_{\epsilon} \sum Q_i^2 n_i^2 + b_{\epsilon} \sum Q_i n_i^3 + c_{\epsilon} \sum n_i^4 = \sum H_i n_i^2 \end{cases} \quad (2)$$

На основі [6] і виразів (1), (2) за допомогою пакету програм MathCAD на персональному комп'ютері була апроксимована аеродинамічна характеристика вентилятора типу ЦП-30 (рис. 1 крива 1) залежністю:

$$H_{\epsilon} = -4.105 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 + 8.417 \cdot 10^{-5} \cdot Q \cdot n + 7.272 \cdot 10^{-4} \cdot n^2 . \quad (3)$$

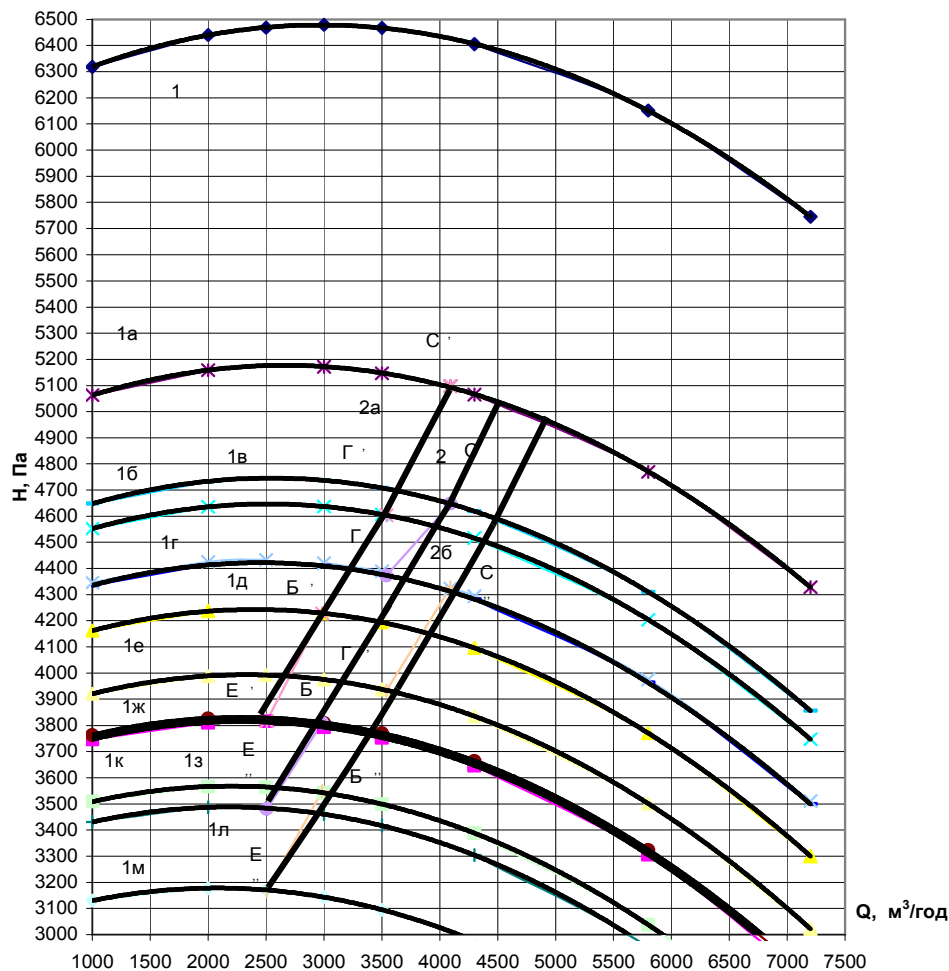


Рис. 1. Аеродинамічні характеристики вентиляційної установки (1) і пневмомережі (2) при регулюванні продуктивності вентилятора шляхом зміни швидкості обертання

При цьому крива 1 відповідає швидкості обертання електродвигуна 2900 об./хв., 1а – 2592 об./хв., 1б – 2482 об./хв., 1в – 2452 об./хв., 1г – 2399 об./хв., 1д – 2396 об./хв., 1е – 2347 об./хв., 1ж – 2277 об./хв., 1з – 2230 об./хв., 1к – 2225 об./хв., 1л – 2152 об./хв., 1м – 2128 об./хв., 1н – 2031 об./хв., 2 – 100 %, 2а – 120 %, 2б – 80 % завантаження пневмомережі.

Як видно з рис. 1, вентиляційна установка при номінальній частоті обертання створює тиск на 1300 Па більший ніж потрібно для пневмомережі, яка перевантажена на 20%, і швидкість руху повітря в ній більша на 4 м/с від потрібної. При номінальному завантаженні пневмомережі і номінальній швидкості руху повітря 16 м/с, (точка Г рис. 1) потрібно компенсувати тиск в 2400 Па. за допомогою заслінки. Коли застосувати регульований електропривод, то можна виходити на будь - який режим роботи пневмомережі (криві 1а – 1м) в залежності від її завантаження і швидкості руху повітря в матеріалопроводі.

Потужність електродвигуна для приводу вентилятора пневмотранспорту визначають за виразом:

$$P = \frac{H \cdot Q}{\eta_e \cdot \eta_n \cdot 3600 \cdot 102} \quad (4)$$

На основі рис. 1 і виразу (4) можна зробити висновок, що застосування регульованого приводу дозволить зменшити потужність приводного електродвигуна і тим самим зменшити споживання електричної енергії.

Перехідні процеси в пневмотранспортній установці протікають дуже швидко (долі секунди), тому потрібно застосовувати швидкодіючу систему автоматичного керування.

Вимоги до електроприводу пневмотранспортерів борошномельних підприємств носять різнобічний характер. Це пов'язано з важкими умовами експлуатації, невисокою точністю підтримки параметрів на виході агрегата, низькою кваліфікацією обслуговуючого персоналу. В таких умовах проблемною є надійна експлуатація давачів технологічних процесів в пневмережах - продуктивності та тиску. Тому виникає необхідність у побудові систем регулювання без давачів технологічних параметрів, але з використанням технічних рішень, адекватних за своїми функціональними можливостями і сумісних з частотнорегульованим електроприводом.

На сьогодні відомий спосіб керування технологічними параметрами вентилятора [7], в якому частота обертання електродвигуна регулюється перетворювачем за алгоритмом в обчислювальному блоці для якого електроенергетичні сигнали надходять з датчиків струму, напруги та частоти, що встановлені в колі живлення електродвигуна. Алгоритм обчислення здійснюється за модульно-векторними величинами електроенергетичних сигналів, в результаті чого отримуються дійсні кількісно-напірні характеристики вентилятора.

Недоліком даного способу є те, що інформація для його реалізації надходить із зовнішніх датчиків, що ускладнює алгоритм роботи системи в цілому, знижує швидкість системи регулювання, що недопустимо в пневмотранспортерах для транспортування борошна.

Принципово новий підхід для вирішення вказаної проблеми запропоновано в [8].

Поставлена задача досягається за рахунок того, що в способі керування технологічними параметрами вентилятора для реалізації алгоритму сигнали надходять безпосередньо з перетворювача частоти з векторним керуванням, принцип роботи якого передбачає отримання електромеханічних параметрів електроприводу (електромагнітний момент та швидкість електродвигуна), з допомогою яких здійснюється обчислення за заданим алгоритмом за абсолютними значеннями.

Функціональна схема системи регулювання запропонованого способу зображена на рис. 2

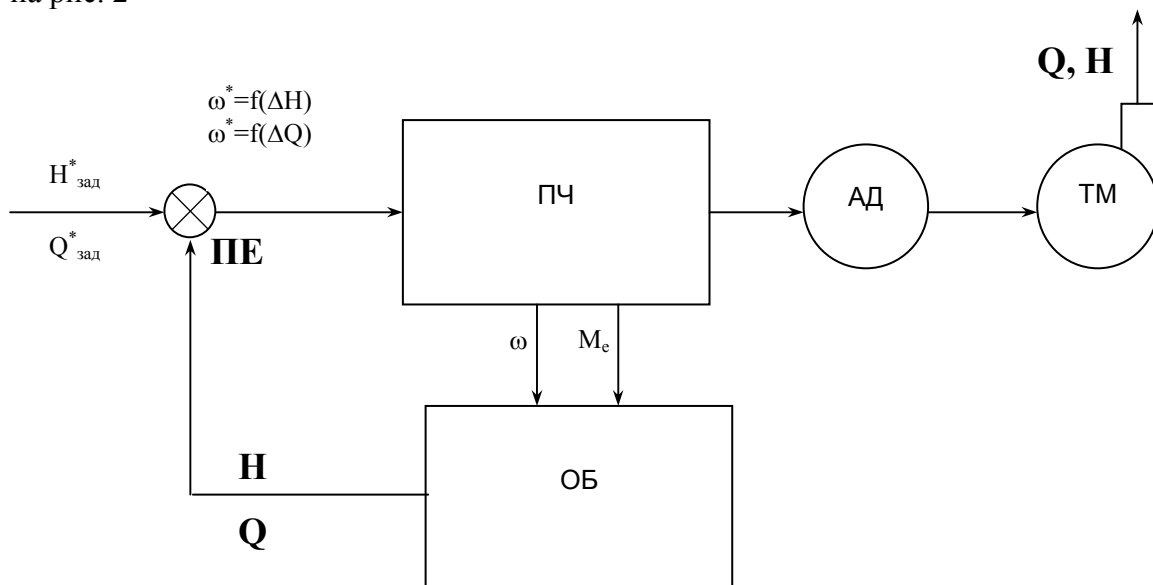


Рис 2. Функціональна схема системи регулювання частоти обертання вентилятора

Спосіб керування технологічними параметрами вентиляторів пневмотранспортерів з регульованим електроприводом реалізовується наступним чином. При зміні режимів роботи вентилятора згідно з вимогами технологічного процесу змінюються електроенергетичні параметри асинхронного електродвигуна (АД), які, в свою чергу, контролюються частотним перетворювачем з векторним керуванням і за їхніми значеннями обчислюються величини електромагнітного моменту M_e і кутової швидкості ω , які поступають в обчислювальний блок (ОБ), де реалізований алгоритм:

$$(M_e - M_m) \cdot \omega = \frac{H \cdot Q}{\eta_{II} \cdot \eta_m \cdot 3600 \cdot 102} \quad (5)$$

За рівнянням (5) обчислюються реальні значення $H(Q)$, що порівнюються в елементі (ПЕ) із заданим значенням $H^*_{зад}(Q^*_{зад})$, сигнал похибки $\Delta H(\Delta Q)$ подається на вхід частотного перетворювача і є функцією задання швидкості обертання.

Для реалізації алгоритму (5) визначаються параметри H і η_m , що отримуються експериментальним способом або із довідникової літератури і апроксимуються наступними виразами:

$$H = -A \cdot Q^2 + B \cdot Q \cdot \omega + C \cdot \omega^2; \quad (6)$$

$$\eta_m = -D \cdot \omega^2 + E \cdot \omega + F \cdot Q^2 + G \cdot Q + L, \quad (7)$$

де A, B, C, D, E, F, G, L – коефіцієнти апроксимації, які визначаються для конкретного вентилятора.

Коефіцієнти виразу (7) визначаються методом найменших квадратів із системи рівнянь:

$$\begin{cases} D \sum \omega^4 + E \sum \omega^3 + F \sum Q^2 \omega^2 + G \sum Q \omega^2 + L \sum \omega^2 = \sum \eta_m \omega^2 \\ D \sum \omega^3 + E \sum \omega^2 + F \sum Q^2 \omega + G \sum Q \omega + L \sum \omega = \sum \eta_m \omega \\ D \sum \omega^2 Q^2 + E \sum Q^2 \omega + F \sum Q^4 + G \sum Q^3 + L \sum Q^2 = \sum \eta_m Q^2 \\ D \sum \omega^2 Q + E \sum Q \omega + F \sum Q^3 + G \sum Q^2 + L \sum Q = \sum \eta_m Q \\ D \sum \omega^2 + E \sum \omega + F \sum Q^2 + G \sum Q + L n = \sum \eta_m \end{cases} \quad (8)$$

Для вентилятора типу ЦП – 30 вираз (7) на основі системи рівнянь (8) прийме вигляд:

$$\eta_m = -2.393 \cdot 10^{-7} \cdot \omega^2 + 2.152 \cdot 10^{-4} \cdot \omega - 0.013 \cdot Q^2 + 0.319 \cdot Q - 3.218 \cdot 10^{-3}. \quad (9)$$

Таким чином, впровадження даної системи регулювання частоти обертання вентилятора пневмотранспортної установки млина дозволить економити електричну енергію до 20–30%, а також підвищити надійність роботи пневмотранспортної установки млина, так як в САК інформація про величину технологічних параметрів формується в частотному перетворювачі на основі завантаженості приводного електродвигуна, а не надходить із зовнішніх давачів.

This work is devoted to construction of the energetic protecting system of pneumatic transportation of corn and products of its grinding on flour-grinding enterprises. A block-chart of the system and method of management of the technological parameters of ventilators of pneumatic conveyers is offered with managed of electric drive.

Література

1. Москаленко А.И. Новое в автоматизации зерноперерабатывающих предприятий – М.: Колос, 1974. – 183 с.
2. Птушкин А.Г., Новицкий С.А. Автоматизация производственных процессов в отрасли хранения и переработки зерна. – М.: Колос, 1979. – 335 с.
3. Гапонюк О.И., Мельник В.В. Пути снижения энергоемкости зерноперерабатывающих производств // Хранение и переработка зерна. – 2001. - № 2. – С. 59 – 60.
4. Снижение энергоемкости мельничных пневмотранспортных установок // Н.П. Володин, А.И. Кривошеин, М.Г. Касторных, А.В. Тантлевский. – М.: 1978. – 224 с.
5. Корчемний М.О., Клендій П.Б. Дослідження та аналіз енергетичних характеристик борошномельних підприємств // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2003. - № 3. – С. 38 – 42.
6. Дзядзио А.М., Кеммер А.С. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1967. – 250 с.

7. Рогоза М.В. Создание систем автоматического регулирования параметрами электроприводов турбомеханизмов шахт при питании от автономного источника // Технічна електродинаміка. – 2001. - № 5. – С. 42 – 44.
8. Пат. 60176А Україна, МКИ 7F01D17/24. Спосіб керування технологічними параметрами турбомеханізмів: Пат. 60176А Україна, МКИ 7F01D17/24 М.О.Корчемний, В.С.Федорейко, В.З.Понятишин, П.Б.Клендій, О.В.Нестеренко, М.І.Рутило (Україна); Заявл.21.02.2003; Опубл. 15.09.2003, Бюл. № 9. – 2 с.

Одержано 22.12.2004 р.