

## ОСОБЛИВОСТІ ПРАКТИЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БАГАТОАСОРТИМЕНТНИХ КОМПЛЕКСІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ



**В. В. Івашук**, канд. техн. наук,  
**Ю. Б. Беляєв**, докт. техн. наук,  
**Я. В. Смітюх**, канд. техн. наук

**Постановка проблеми.** Багатоасортиментні виробництва використовують значну кількість транспортерів для вирішення задачі маршрутизації зважених технологічних потоків.

При цьому слід застерегти проти помилкової практики щодо придбання підприємствами харчової промисловості техніки, що була у вжитку. Це зокрема електричні машини, вихід з ладу яких завжди призводить до значних затрат, тривалої зупинки конвеєра або ж до списання технологічного обладнання на металобрухт.

Зараз існує багато розбіжностей стосовно вимог до механічних виконавчих систем, адже під час вирішення транспортних задач харчових виробництв поширеним обмеженням є точність позиціонування вихідного механізму. Так, задачі пакувального обладнання вимагають значної кількості повторюваних дій, які спрямовані на підтримання чіткого виконання завдань щодо механічних переміщень. Типовими характеристиками двигунів, які призначені для роботи як серводвигуни є можливість працювати: у широкому діапазоні швидкостей без перегріву; при швидкостях близьких до нульової; зберігаючи необхідний обертальний момент при змінному зовнішньому навантаженні. Згадані операції механічного переміщення мають виконуватися електромашинами, які призначені для роботи в короткочасно повторюваному режимі [1].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** У звичайному проектному варіанті серводвигуни виконуються з малими діаметрами ротора, що дає змогу зменшити їх власний момент інерції, причому в конструкції синхронних серводвигунів підтримання моменту рушення здійснюється за допомогою статорної напруги. Остання методика надає можливість

керувати швидкістю аж до нульового значення з підтриманням заданого моменту і вмикати гальма одразу ж при знеструмленні двигуна.

Для деяких завдань позиціонування вдалим рішенням є застосування крокових двигунів, керованих типовими програмами і драйверами, ціна й асортимент яких задовольняється пропозиціями сучасного ринку засобів автоматизації. Обмеженням для їхнього застосування є незначні швидкість і потужність.

Поширеним попитом користується асинхронний трифазний двигун з короткозамкненим ротором завдяки прийнятній вартості й обсягу профілактичного обслуговування. Керування швидкістю такого двигуна відбувається шляхом підтримання постійного співвідношення напруги і частоти струмів статорної обмотки.

Асинхронний двигун змінного струму як сервомотор значно дешевше у виробництві, ніж двигун постійного струму. У звичайному асинхронному двигуні (АД) з короткозамкненим ротором власний момент і поле підтримуються за рахунок зміни поля статора як такого, що індукуює струм в обмотку ротора. У загальному випадку момент двигуна також залежить від частоти роторних струмів [2], а тому в разі зниження частоти живлення статорних обмоток двигуна виникає потреба в підтримці його електромагнітного моменту. Ця проблема спричинює обмеження, встановлені максимальним струмом живлення статорної обмотки і температурним класом двигуна. У загальному випадку проблему можливо було б вирішити збільшенням потужності обраного для керування двигуна, але це спричинить збільшення моменту інерції власного ротора двигуна, його габаритів і маси.

У разі потреби форсування моменту асинхрон-

ного двигуна користуються підсиленням індукції магнітного поля, яка є корельованою з напругою живлення статорної обмотки (рис. 1).

Класичні різновиди двигунів обладнані вентилятором, який підключено безпосередньо до вала двигуна. Коли двигун працює на малій швидкості, вентилятор майже не рухається і не продукує достатню кількість повітря для охолодження двигуна. Таке перегрівання є наслідком підвищених струмів обмоток двигуна, які необхідні для збільшення його обертового моменту і підтримання природної жорсткості механічної характеристики (рис. 2). Потреба в підвищенні струмів у статорному колі виникає, коли двигун стартує під навантаженням або на малих швидкостях, оскільки за цих умов зміна електромагнітного поля двигуна не може сформувати необхідний для пересування механізму імпульс сили. Якщо у нового мотора, що встановлений під час ремонту на агрегат, момент інерції буде істотно більшим, система керування може набувати незадовільної динамічної похибки під час позиціонування чи утримання механізму. При утриманні двигуну необхідно продукувати момент, який переважає момент навантаження почергово в обох напрямках, що створюється відповідним електромагнітним полем двигуна.

При використанні групи механічних важелів на

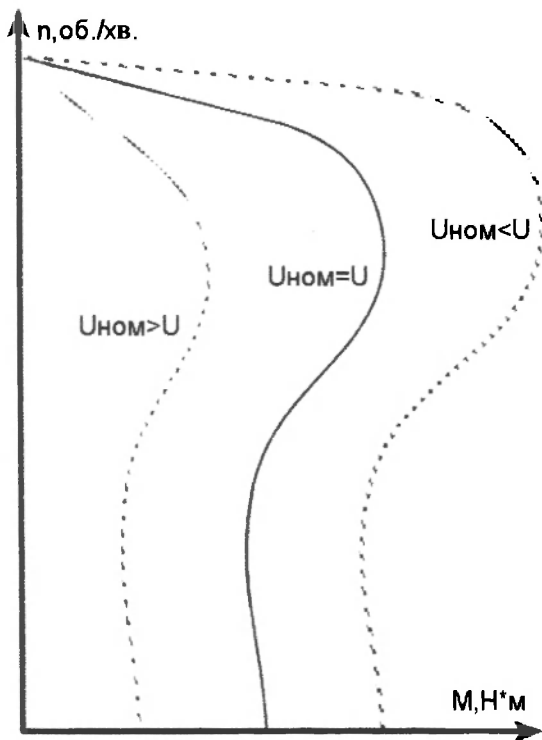


Рис. 1. Залежність механічної характеристики АД від напруги живлення

конвеєрних лініях виникає необхідність подолання перехідних коливань механізму, обумовлених моментами навантаження і рушення електродвигуна, а також моментом інерції рухомих мас, що буде приведений до точки гальмування – вихідного вала механізму.

Отже, помилка позиціонування вихідного механізму  $\Delta\alpha$  виникатиме за будь-яких умов гальмування:

$$\Delta\alpha = f(M_{EM}, M_{HAB}, J),$$

$$M_{HAB} = g_1(\tau_I), J = g_2(\tau_I), \quad (1)$$

де  $M_{EM}$  – момент, який створений електричною машиною;

$M_{HAB}$  – момент навантаження;

$J$  – момент інерції всіх рухомих мас приведених до двигуна;

$g_1, g_2$  – невизначені функції для кожної наступної операції в моменти часу  $\tau_I$ .

Головне рівняння динаміки електроприводу:

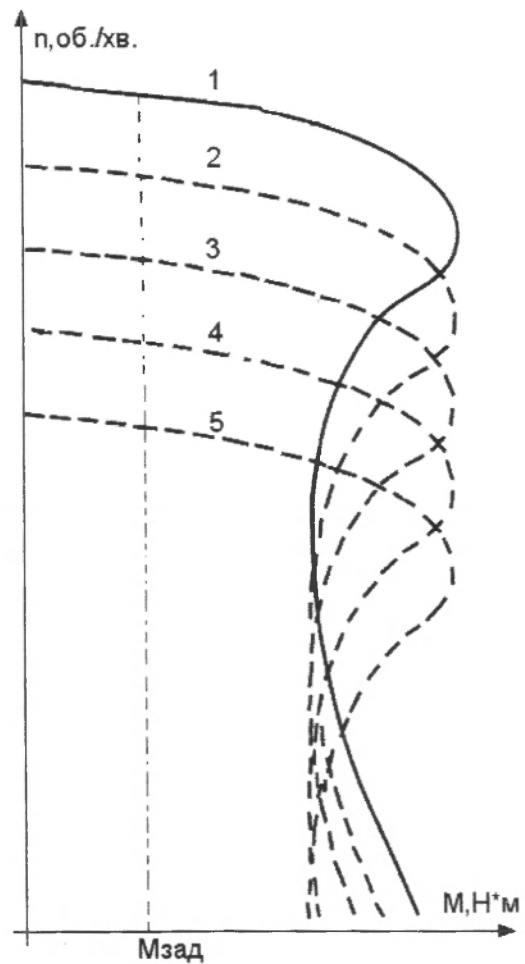


Рис. 2. Уповільнення АД при регулюванні співвідношення частота – напруга живлення

$$M_{EM} - M_{НАВ} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

де  $d\omega$  – зміна швидкості вихідного валу двигуна. А отже помилка позиціонування буде мати за основу прискорення, що реалізується одним із можливих варіантів гальмування електропривода [3] або ж моментом інерції після знеструмлення двигуна.

З усіх можливих варіантів поєднання методів рекуперативного і гальмування електромеханічними гальмами виявляється найбільш вдалим з точки зору теплового режиму.

У разі застосування електромеханічних гальм (рис. 3) існує час, в який гальма створюють необхідний момент навантаження ( $T_{спов}$ ) і час, необхідний для усунення цього навантаження від валу двигуна ( $T_{приск}$ ).

За умов рівноваги механічної системи: відповідність сили руху до сили навантаження і рівність моментів опору і рухомих моментів змушують рухатися систему без прискорення або зупиняють її рух. При цьому не слід забувати про наявність маятникового моменту механізму навколо точки зупинки, який залежить від довжини важеля, його маси і початкової швидкості на момент увімкнення гальма.

Таким чином, виникає потреба в максимальному наближенні до рівноважного стану в системі електропривода, коли електромагнітний момент буде відповідати всім силам опору, що існують у системі електропривода, а в тому числі й такі, що важко опрацювати експериментальними методами (тертя передавального механізму, маятникові моменти важелів).

В ідеальному випадку, за підтримки моменту двигуна, більшого за момент навантаження, необхідно максимально наблизити частоту обертання двигуна до нульової. У результаті такої зупинки навантаженню буде надано малу частку енергії, якої буде недостатньо для створення небезпечного коливання відносно точки гальмування:

$$J \frac{d\omega}{dt} \rightarrow 0.$$

Отже, необхідно розрахувати таку мінімальну швидкість, за якої включення гальма не спричинить передачу імпульсу сили, достатньої для виникнення недопустимої помилки  $\Delta\alpha$  (1).

У разі зменшення швидкості перетворювачем частоти критичний момент електропривода підтримується за рахунок підвищеної напруги

живлення двигуна. Обмеженням має стати максимальний струм статорної обмотки двигуна і максимальна вихідна напруга частотного перетворювача. Такий порядок гальмування надає можливість стабільного керування швидкістю, оскільки швидкість прямо пропорційно залежить від частоти живлення двигуна

$$n_{EM} = f(f_{ЖИВ})$$

і дає змогу контролювати зміну частоти для всього механізму навантаження.

У подальшому процедура сповільнення руху електропривода зводиться до зменшення напруги, наслідком чого є збільшення параметра ковзання і зменшення жорсткості механічної характеристики електропривода. Оскільки зміна швидкості при зміні напруги статорного кола є нелінійною функцією, то за невідомого значення моменту навантаження слід користуватися зворотним контуром за положенням (швидкістю) вихідного валу електропривода. Якщо під час розрахунку електромеханічного гальма вводиться коефіцієнт запасу за потрібним моментом гальмування (найчастіше він становить не менше 200% від можливого максимального моменту), то не слід

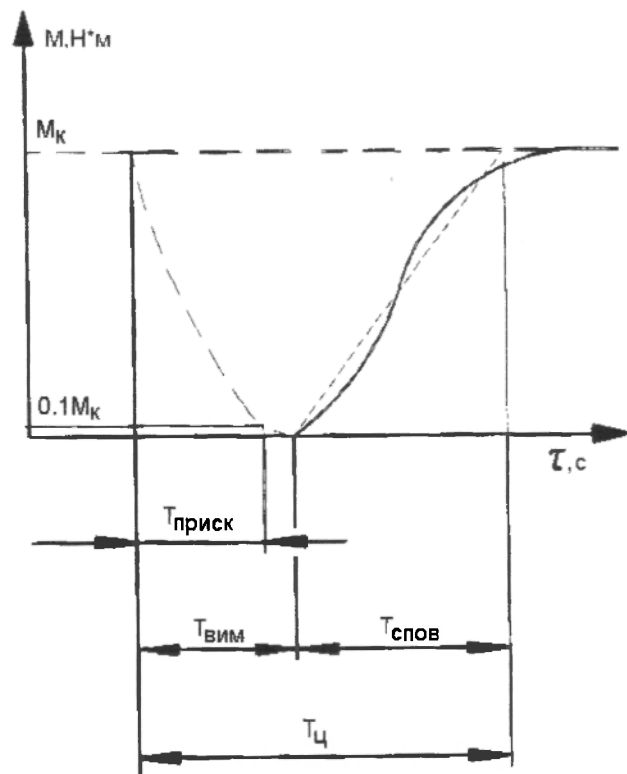


Рис. 3. Реакція механічних гальм під час прискорення і сповільнення

очікувати жодних проблем із скиданням швидкості прикладеного до вала двигуна рушійного моменту.

Якщо двигун буде зупинятися за допомогою електромеханічних гальм, то час його гальмування можна розраховувати за формулою:

$$T_{зуп} = \frac{J \cdot \Delta n}{M_{НАВ} - M_{ГАЛ}}$$

де  $M_{ГАЛ} = f(\tau)$

На практиці швидкість прискорення і сповільнення після дії електричних гальм можна апроксимувати лінійною залежністю. Розпочавши зниження напруги живлення статорного кола електропривода, необхідно контролювати відпрацювання положення (швидкості) для запобігання зміни напрямку обертання або прискорення під дією маятникового моменту механізму. За умови наближення до швидкості, що не дає можливості збільшувати її і підтримувати рухомий момент, відбувається включення гальм. Для реактивного навантаження за цільову швидкість можна приймати рівноважний стан або нульову швидкість.

Задача набирає вигляду екстремальної, яка полягає в пошуку такого струму статорної обмотки, який дасть змогу утримувати рухомий момент, що не перевищить момент навантаження введеного механізму.

Переважна кількість частотних перетворювачів працює з контролером для забезпечення основного технологічного процесу. На положення ротора вказує датчик – оптичний енкодер або резольвер, який підключено до вихідного вала двигуна через прямий привід. Використовуючи контролер для підрахунку імпульсів енкодера нескладно вирішити задачу щодо динамічного навантаження двигуна.

Так, у програмі пересування складального робота, закладений в контролері руху, існує така команда: проїхати в певному напрямку задану відстань від її початкового положення. Контролер задає частотному перетворювачу певну частоту, яка відповідає за швидкість переміщення і напругу, яка формує в подальшому момент, необхідний для обробки заданих переміщень. Мотор починає обертати ротор, з яким з'єднано енкодер і виконавчий орган механізму. Енкодер виробляє імпульси, а контролер підраховує абсолютне значення реалізованого руху. Поки енкодер не підраховує задану

кількість імпульсів, частотний перетворювач не змінює вихідної напруги або частоти.

Якщо ж під дією будь-яких зовнішніх сил відбудеться утримання робочого органу виконавчого пристрою і контролер обрахує як помилку опрацювання завдання частотним перетворювачем, то він збільшить момент напругою живлення двигуна і повторить завдання по частоті обертання. Постійна часу сервомотора обов'язково враховується в програмі управління контролера, а це дає змогу адекватно змінювати момент і виконувати сповільнення механізму. За імпульсами з енкодера йде перевірка, ротор на місці (код енкодера не змінюється) або зрушився (на виході енкодера з'явиться зміщений код).

Переваги використання сервомоторів з контролерами руху полягають в економії часу обробки при оптимізації маршрутів руху й економії в перехідних режимах. Додатково варто згадати про зміни режимів руху для різних мас навантаження, що переробляються, або маршрутних завдань у задачах позиціонування упаковки на конвеєрній стрічці.

Типові сигнали на шині обміну «контролер-перетворювач частоти» включають завдання струму двигуна і сигналу швидкості двигуна, які надсилаються від сервопривода назад на контролер руху або контролер головної задачі, де вони можуть бути використані у перевірці логіки опрацювання інформації контролера частотним перетворювачем двигуна. Вхідні сигнали від контролера руху або головного контролера можуть бути також використані для установки форсованих режимів струму і швидкості приводу.

Подальшим розв'язанням задачі позиціонування в короткочасно повторюваному режимі є оптимізація теплового навантаження при забезпеченні встановленого часу експлуатації двигуна і опрацюванні типового перебігу механічних навантажень.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Машины электрические вращающиеся: ГОСТ 183–74. – [Действителен с 1976-01-01]. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 46 с. – (Межгосударственный стандарт).
2. Усольцев А. А. Частотное управление асинхронными двигателями: учеб. пособие / А. А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
3. Івашук В. В. Автоматизований електропривод: конспект лекцій для студентів спеціальності 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» денної та заочної форм навчання / В. В. Івашук. – К.: Нац. ун-т харчових технологій. – К.: НУХТ, 2007. – 30 с – Бібліогр.: – С. 30.