

УДК 621.327.539

ВПЛИВ ЧАСТОТИ СТРУМУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЛОЧНИХ СЕПАРАТОРІВ

В.Ю. Рамиш, кандидат технічних наук

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

Проведені дослідження впливу частоти струму на кутову швидкість, технологічні та енергетичні характеристики молочних сепараторів. Встановлено залежності продуктивності, моменту статичних опорів молочного сепаратора та питомої витрати електроенергії від частоти струму.

Молочний сепаратор, електропривод, частота струму, продуктивність, момент статичних опорів, питома витрата електроенергії.

Відхилення частоти струму від нормованих значень викликає порушення нормального ходу технологічних процесів, випуск неякісної продукції, скорочення строку служби електрообладнання, зростання втрат електроенергії в елементах системи електроспоживання, виникнення аварійних ситуацій, небезпечних для життя людей [1].

Молочні сепаратори застосовують для відокремлення вершків від відвійок. При зміні частоти струму змінюється кутова швидкість двигуна, яка, в свою чергу, обумовлює зміну технологічних та енергетичних характеристик робочих машин [2].

Мета досліджень — встановити вплив відхилення частоти струму на технологічні та енергетичні характеристики молочних сепараторів.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз зміни кутової швидкості електроприводів молочних сепараторів та втрат енергії при зміні частоти струму проводився з використанням положень теорії електропривода, які

стосуються електромеханічних властивостей асинхронних електродвигунів, приводних характеристик робочих машин і механізмів, енергетики усталених режимів електроприводів та застосуванням математичного моделювання.

При експериментальних дослідженнях частоту струму змінювали за допомогою перетворювача частоти фірми «Mitsubishi» і визначали кутову швидкість, продуктивність, момент статичних опорів молочного сепаратора та розраховували питому витрату електроенергії.

Результати досліджень. При зміні частоти струму двигун працює на робочій ділянці механічної характеристики. При цьому можна вважати, що механічна характеристика двигуна на ній лінійна [2], тобто

$$M_o = \beta_o (\omega_o - \omega), \quad (1)$$

де M_o – момент двигуна, Н·м; β_o – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с; ω_o – синхронна кутова швидкість, с^{-1} ; ω – задана кутова швидкість, с^{-1} .

Механічна характеристика молочного сепаратора має вентиляторний вигляд [3,4]:

$$M_c = M_o + b \cdot \omega^2, \quad (2)$$

де M_c – момент статичних опорів робочої машини при заданій кутовій швидкості, Н·м; M_o – початковий момент, Н·м; b – коефіцієнт, Н·м·с²; ω – кутова швидкість, с^{-1} .

При зміні частоти струму механічна характеристика двигуна на робочій ділянці описується рівнянням:

$$M_o = \beta_o \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right), \quad (3)$$

де f – частота струму, Гц; p – число пар полюсів.

В усталеному режимі роботи

$$\beta_o \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right) = M_o + b \omega^2, \quad (4)$$

або

$$\beta_o \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega_n \omega_* \right) = M_0 + b \omega_n^2 \omega_*^2. \quad (5)$$

Синхронна кутова швидкість при номінальній частоті струму f_n :

$$\omega_{0n} = \frac{2\pi f_n}{p}. \quad (6)$$

Тоді рівняння (5) запишеться у вигляді:

$$\beta_o (\omega_{0n} f_* - \omega_n \omega_*) = M_0 + b \omega_n^2 \omega_*^2, \quad (7)$$

звідки отримаємо

$$f_* = \frac{M_0 + b \omega_n^2 \omega_*^2 + \beta_o \omega_n \omega_*}{\beta_o \omega_{0n}}. \quad (8)$$

Якщо знехтувати початковим моментом $M_0=0$, то:

$$f_* = \frac{b \omega_n^2 \omega_*^2 + \beta_o \omega_n \omega_*}{\beta_o \omega_{0n}}, \quad (9)$$

або

$$f_* = K_z s_n \omega_*^2 + \frac{\omega_n}{\omega_{0n}} \omega_*, \quad (10)$$

де K_z – коефіцієнт завантаження двигуна; s_n – номінальне ковзання двигуна.

Електродвигун молочного сепаратора має жорстку механічну характеристику, у якого номінальне ковзання невелике і $\omega_n \approx \omega_{0n}$, тому першим доданком у виразі (10) можна знехтувати. Тоді отримаємо:

$$f_* = \omega_*. \quad (11)$$

У молочних сепараторів продуктивність квадратично залежить від кутової швидкості:

$$Q = d^2 \omega^2 z \cdot \operatorname{tg} \alpha (R_o^2 - R_m^2) (\rho_n - \rho_{жс}) \eta_c / (8,6 \eta_n), \quad (12)$$

де Q – продуктивність, кг/с; d – діаметр кульки жиру, м; ω – кутова швидкість, с^{-1} ; z – кількість міжтарілочних просторів у барабані; α – кут нахилу тарілки до горизонталі, град; R – радіус обертання, м; ρ_n – густина плазми,

кг/м³; $\rho_{ж}$ – густина жиру, кг/м³; η_c – ККД сепаратора; η_n – динамічна в'язкість плазми, Ст.

Звідси випливає, що у молочних сепараторів

$$Q_* = \omega_*^2. \quad (13)$$

Тоді закон зміни продуктивності молочного сепаратора запишеться у вигляді:

$$Q_* = f_*^2. \quad (14)$$

Закон зміни моменту статичних опорів молочного сепаратора має вигляд:

$$M_c = M_0 + b\omega_n^2 f_*^2, \quad (15)$$

Залежності продуктивності і моменту статичних опорів молочного сепаратора СОМ-3-1000М від частоти струму показані на рис. 1. Проведені експериментальні дослідження показали, що продуктивність і момент статичних опорів молочного сепаратора при зміні частоти струму змінюються за квадратичним законом.

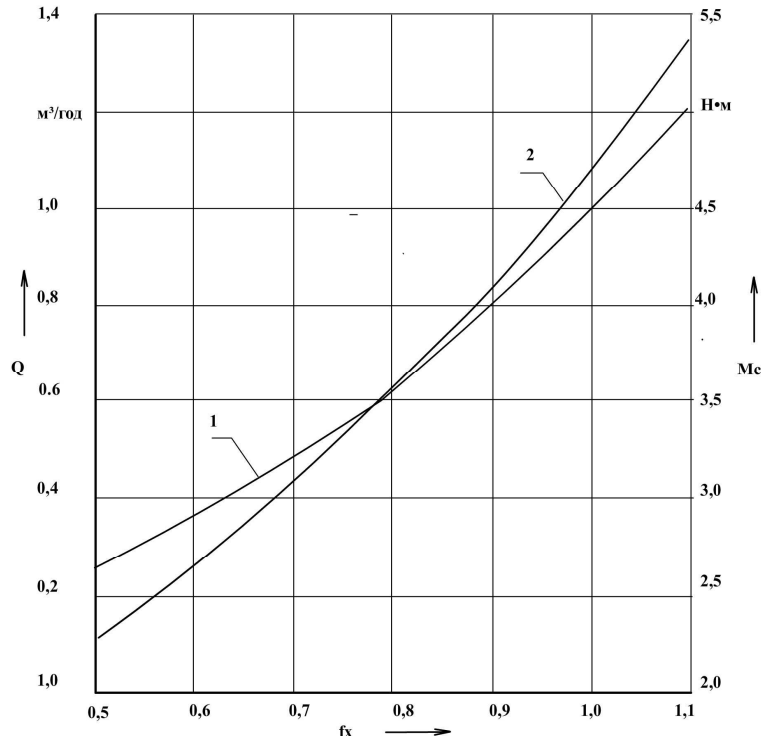


Рис.1. Залежність продуктивності (1) і моменту статичних опорів (2) молочного сепаратора СОМ-3-1000М від частоти струму

Відхилення частоти струму в асинхронних електроприводах викликає зміну постійних і змінних втрат потужності.

Якщо знехтувати механічними втратами, то постійні втрати асинхронного двигуна при зміні частоти струму визначатимуться за формулою [2]:

$$\Delta P_{cm} = \Delta P_{cm1} \approx \Delta P_{cm1n} \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 \left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right)^{1,3}, \quad (16)$$

де ΔP_{cm1n} – втрати в сталі статора при номінальних значеннях частоти і напруги живлення.

Для молочних сепараторів закон зміни напруги при зміні частоти струму має вигляд:

$$U_* = f_*^2. \quad (17)$$

Тоді втрати в сталі двигуна

$$\Delta P_{cm} \approx \Delta P_{cm1n} f_*^{3,3}. \quad (18)$$

Змінні втрати потужності визначаються за формулою [2]:

$$\Delta P_v = M_c \omega_0 s \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right), \quad (19)$$

де R_1 – активний опір обмотки статора, Ом; R_2' – опір обмотки ротора, зведений до обмотки статора, Ом.

У молочних сепараторів момент статичних опорів нелінійно залежить від кутової швидкості, тому вираз для визначення втрат потужності при зміні частоти струму є досить складним. Оскільки при зміні частоти струму ковзання практично не змінюється, то перепад швидкості буде:

$$\Delta \omega = \omega_0 s \approx \omega_0 s_{ном}. \quad (20)$$

Тоді змінні втрати потужності при відхиленні частоти струму визначатимуться виразом:

$$\Delta P_v \approx M_c \omega_0 s_n \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = M_c \frac{2\pi f}{h} s_n \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right). \quad (21)$$

Для молочних сепараторів

$$M_c \approx f_*^2. \quad (22)$$

Тоді змінні втрати потужності:

$$\Delta P_v \approx \Delta P_{vh} f_*^3. \quad (23)$$

Енергетичною характеристикою молочного сепаратора є питома витрата електроенергії, кВт·год/м³, яка визначається як:

$$q = P_l / Q, \quad (24)$$

де P_l – потужність, споживана двигуном з мережі, кВт.

У відносних одиницях вираз (24) має вигляд:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2h} + \Delta P_{ch} + \Delta P_{vh}} \cdot \frac{Q_h}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{vh}(\alpha + \Delta P_v / \Delta P_{vh})}{P_{2h} + \Delta P_{vh}(\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_h}{Q}, \quad (25)$$

де P_{2h} и P_2 – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній і відмінній від номінальної напрузі, Вт; ΔP_{ch} і ΔP_c – постійні втрати, Вт; ΔP_{vh} і ΔP_v – змінні втрати, Вт; α – коефіцієнт втрат.

Розділивши чисельник і знаменник виразу (25) на P_{2h} та враховуючи те, що

$$P_2 / P_{2h} = \omega_*^3 = f_*^3; \quad (26)$$

$$\Delta P_v = P_{2h} \frac{1 - \eta_h}{\eta_h} = \Delta P_{vh}(\alpha + 1), \quad (27)$$

де η_h – ККД двигуна при номінальній напрузі,
отримаємо

$$q_* = \frac{f_*^3 + \frac{1 - \eta_h}{\eta_h} \cdot \frac{(\alpha f_*^{3,3} + f_*^3)}{(\alpha + 1)}}{f_* \left(1 + \frac{1 - \eta_h}{\eta_h} \right)} = f_*^2 \left(\eta_h + \frac{1 - \eta_h}{\alpha + 1} (\alpha f_*^{0,3} + 1) \right). \quad (28)$$

Оскільки $f_*^{0,3} \approx 1$, то

$$q_* = f_*^2. \quad (29)$$

Таким чином, зниження частоти струму викликає зменшення питомої витрати електроенергії у молочних сепараторів, а її підвищення – зростання (рис. 2).

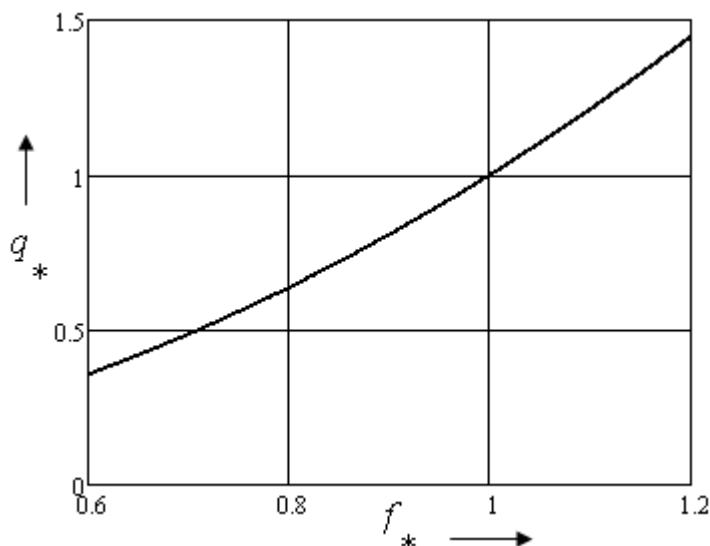


Рис. 2. Залежність питомої витрати електроенергії молочних сепараторів від частоти струму

Висновки

При зміні частоти струму продуктивність та момент статичних опорів молочних сепараторів змінюються прямо пропорційно квадрату частоти струму. При зниженні частоти струму на 2 % продуктивність молочних сепараторів і питома витрата електроенергії знижуються на 4 %.

Список літератури

1. Вплив якості електроенергії на функціонування споживачів у сільському господарстві / Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко, І.І. Мартиненко [та ін.] // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – №1(6). – С. 3–12.
2. Електропривод / [Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І. та ін.]; за ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: Ліра-К, 2009. – 504 с.
3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / [Жулай Є.Л., Зайцев Б.В., Лавріненко Ю.М. та ін.]; за ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.

4. Механізація і та автоматизація у тваринництві і птахівництві / [Марченко О.С., Дацишин О.В., Лавріненко Ю.М. та ін.]; за ред. О.С. Марченка. – К.: Урожай, 1995. – 416 с.

Проведены исследование влияния частоты тока на угловую скорость, технологические и энергетические характеристики молочных сепараторов. Установлены зависимости производительности, момента статических сопротивлений молочного сепаратора и удельного расхода электроэнергии от частоты тока.

Молочный сепаратор, электропривод, частота тока, производительность, момент статических сопротивлений, удельный расход электроэнергии.

The effect of frequency on the current angular speed, technological and energy characteristics of milk separators are carried out. The dependencies of performance, static moment resistance of the milk separator and the specific energy consumption from the current frequency are established.

Milk separator, electric drive, frequency, performance, static moment resistance, the specific energy consumption.