

ВПЛИВ ЧАСТОТИ СТРУМУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОВШОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ

О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, кандидати технічних наук*

Проведено дослідження впливу частоти струму на кутову швидкість, технологічні та енергетичні характеристики ковшових транспортерів. Встановлено залежності продуктивності, моменту статичних опорів ковшового транспортера та питомої витрати електроенергії від частоти струму.

Електропривод, кутова швидкість, частота струму, ковшовий транспортер, продуктивність, момент статичних опорів, питома витрата електроенергії.

Відхилення частоти струму від нормованих значень в асинхронних електроприводах викликає негативні наслідки [1], серед яких найсуттєвішими є порушення нормального ходу технологічних процесів, випуск неякісної продукції та скорочення строку служби електродвигунів.

При відхиленні частоти струму змінюється кутова швидкість двигуна, яка в свою чергу обумовлює зміну технологічних та енергетичних характеристик робочих машин.

Мета досліджень – встановлення впливу відхилення частоти струму на технологічні та енергетичні характеристики ковшових транспортерів.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз зміни кутової швидкості асинхронних електроприводів при відхиленні частоти струму проведено з використанням положень теорії електропривода, які стосуються електромеханічних властивостей 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 норії НЗ-20 та розраховували питому витрату електроенергії.

Результати досліджень. При зміні частоти струму механічна характеристика асинхронного електродвигуна на робочій ділянці описується рівнянням [2]:

$$M_{\delta} = \beta_{\delta} \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right), \quad (1)$$

де M_{δ} – момент двигуна, Н·м; β_{δ} – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с; де f – частота струму, Гц; p – число пар полюсів; ω – задана кутова швидкість, с⁻¹.

Механічна характеристика робочих машин описується рівнянням [3]:

$$M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (2)$$

де M_c – момент статичних опорів робочої машини при заданій кутовій швидкості, Н·м; M_0 – початковий момент, Н·м; $M_{сн}$ – момент статичних опорів при номінальній кутовій швидкості, Н·м; ω і ω_n – задане і номінальне значення кутової швидкості, с⁻¹; x – показник степеня.

У ковшових транспортерів момент статичних опорів зменшується із зростанням кутової швидкості ($x=-1$). В усталеному режимі роботи

$$\beta_a \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right) = \dot{I}_0 + (\dot{I}_{\tilde{n}i} - \dot{I}_0) \left(\frac{\omega_i}{\omega} \right), \quad (3)$$

або

$$\beta_a \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega_i \omega_* \right) = \dot{I}_0 + \frac{\dot{I}_{\tilde{n}i} - \dot{I}_0}{\omega_*}. \quad (4)$$

Синхронна кутова швидкість електродвигуна при номінальній частоті струму f_n :

$$\omega_{0n} = \frac{2\pi f_n}{p}. \quad (5)$$

Тоді рівняння (4) запишеться у вигляді:

$$\beta_a (\omega_{0i} f_* - \omega_i \omega_*) = \dot{I}_0 + \frac{\dot{I}_{\tilde{n}i} - \dot{I}_0}{\omega_*}, \quad (6)$$

звідки

$$f_* = \frac{M_0 + (M_{сн} - M_0) / \omega_* + \beta_a \omega_n \omega_*}{\beta_a \omega_{0n}}. \quad (7)$$

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

$$f_* = \frac{M_{сн} \omega_*^x + \beta_a \omega_n \omega_*}{\beta_a \omega_{0n}}. \quad (8)$$

Оскільки

$$M_{сн} = K_3 M_{дн}, \quad (9)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження двигуна,

$$\beta_a = \frac{M_{дн}}{\omega_0 - \omega_n} = \frac{M_{дн}}{\omega_0 s_n}, \quad (10)$$

де s_n – номінальне ковзання двигуна, то

$$f_* = \frac{K_3 s_n}{\omega_*} + \frac{\omega_n}{\omega_{0n}} \omega_*. \quad (11)$$

Для двигунів із жорсткою механічною характеристикою номінальне ковзання невелике і $\omega_n \approx \omega_{0n}$, тому першим доданком у виразі (11) можна знехтувати. Тоді отримаємо:

$$f_* \approx \omega_*. \quad (12)$$

У ковшових транспортерів продуктивність збільшується із зростанням кутової швидкості приводного вала до певної межі, після чого

за рахунок зменшення коефіцієнта заповнення ковшів залишається незмінною або навіть дещо зменшується. При цьому момент статичних опорів за рахунок зменшення коефіцієнта заповнення ковшів також зменшується.

Проведені експериментальні дослідження зміни продуктивності і моменту статичних опорів норії НЗ-20 при зміні частоти струму показали, що ці залежності є нелінійними та описуються складними функціями.

Залежності продуктивності і моменту статичних опорів норії НЗ-20 від частоти струму показані на рис. 1. При підвищенні частоти струму понад

10 % від номінального значення продуктивність норії нелінійно зростає. При подальшому зростанні частоти струму вона починає зменшуватися внаслідок зменшення коефіцієнта заповнення ковшів. Момент статичних опорів норії при зростанні частоти струму нелінійно зменшується.

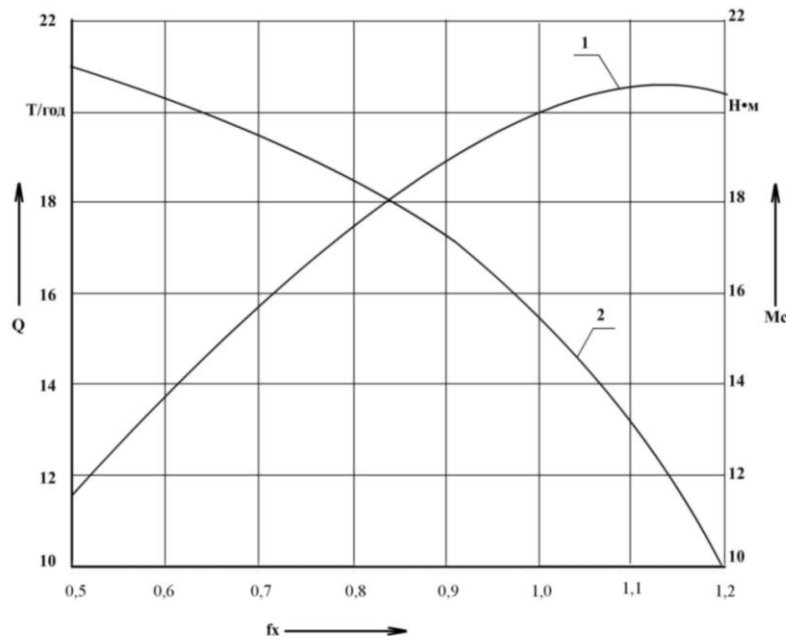


Рис.1. Залежності продуктивності (1) і моменту статичних опорів (2) норії НЗ-20 від частоти струму

Відхилення частоти струму в асинхронних електроприводах впливає на втрати потужності. Якщо знехтувати механічними втратами і втратами потужності в роторі, то постійні втрати асинхронного двигуна при зміні частоти струму визначатимуться за формулою [2]:

$$\Delta P_{cm} = \Delta P_{cm1} \approx \Delta P_{cm1n} \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 \left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right)^{1,3}, \quad (13)$$

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

Для ковшових транспортерів закон зміни напруги на статорі при зміні частоти струму має вигляд:

$$U_* = \sqrt{f_*}. \quad (14)$$

Тоді втрати в сталі двигуна

$$\Delta P_{cm} \approx \Delta P_{cm1n} f^{2,3}. \quad (15)$$

Змінні втрати потужності визначаються за формулою [2]:

$$\Delta P_v = M_c \omega_0 s \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right), \quad (16)$$

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

У ковшових транспортерів 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:

$$\Delta \omega = \omega_0 s \approx \omega_0 s_{in}. \quad (17)$$

Тоді змінні втрати потужності при відхиленні частоти струму визначатимуться виразом:

$$\Delta P_v \approx M_c \omega_0 s_i \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = M_c \frac{2\pi f_* f_i}{p} s_i \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right). \quad (18)$$

Для ковшових транспортерів

$$M_c \approx \frac{M_{сн}}{f_*}. \quad (19)$$

Тоді змінні втрати потужності:

$$\Delta P_v \approx \Delta P_{vh}. \quad (20)$$

Питома витрата електроенергії ковшового транспортера, кВт·год/м³, визначається так:

$$q = P_1 / Q, \quad (21)$$

де P_1 – потужність, споживана двигуном із мережі, кВт.

У відносних одиницях вираз (22) має вигляд:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2n} + \Delta P_{сн} + \Delta P_{vh}} \cdot \frac{Q_n}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{vh} (\alpha f_*^{2,3} + \Delta P_v / \Delta P_{vh})}{P_{2n} + \Delta P_{vh} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (22)$$

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

Оскільки $P_2 / P_{2n} = 1$,

$$\Delta P_n = P_{2n} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} = \Delta P_{vh} (\alpha + 1), \quad (23)$$

де η_n – ККД двигуна при номінальній частоті струму, отримаємо

$$q_* = \frac{1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \cdot \frac{(\alpha f_*^{3,3} + f_*^3)}{(\alpha + 1)}}{Q_* \left(1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right)} = \frac{1}{Q_*} \left(\eta_n + \frac{1 - \eta_n}{\alpha + 1} (\alpha f_*^{2,3} + 1) \right). \quad (24)$$

Таким чином, зниження частоти струму від номінальної викликає збільшення питомої витрати електроенергії у ковшових транспортерів, а її підвищення до 10 % – зменшення (рис. 2).

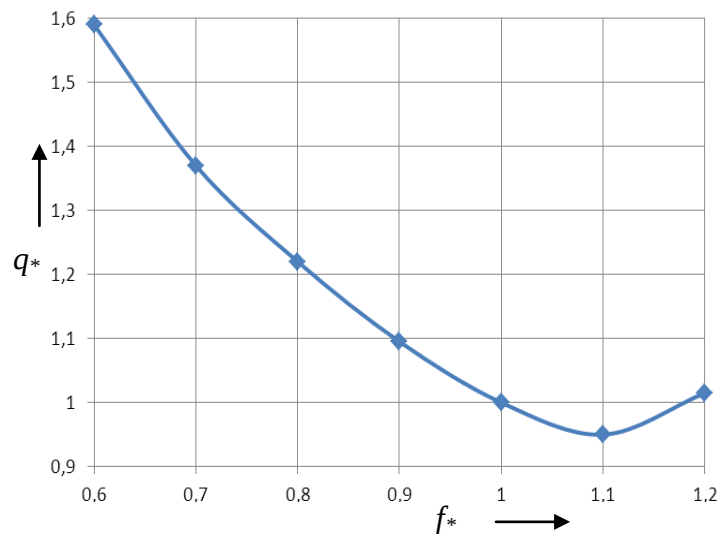


Рис. 2. Залежність питомої витрати електроенергії ковшових транспортерів від частоти струму

Висновки

При зростанні частоти струму продуктивність ковшових транспортерів зростає до певної межі, а потім зменшується. При цьому зменшується момент статичних опорів. При зниженні частоти струму на 2 % продуктивність норій зменшується на 2 %, а питома витрата електроенергії збільшується на 1,5 %.

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.

Проведено исследование влияния частоты тока на угловую скорость, технологические и энергетические характеристики ковшовых транспортеров. Установлены зависимости производительности, момента статических сопротивлений ковшового транспортера и удельного расхода электроэнергии от частоты тока.

Електропривод, угловая скорость, частота тока, ковшовый транспортер, производительность, момент статических сопротивлений, удельный расход электроэнергии.

The effect of frequency on the angular speed, technological and energy characteristics of bucket conveyors are carried out. The dependencies of performance, torque static resistance bucket conveyor and specific energy consumption from the current frequency are established.

Electric drive, angular speed, frequency, bucket conveyor, performance, static moment resistance, the specific energy consumption.

УДК 631.589

СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ НА ОПАЛЕННЯ ТЕПЛИЦЬ У ЗИМОВИЙ ПЕРІОД

А.О. Дудник, кандидат технічних наук

Наведено результати математичного моделювання залежності витрат природного газу на опалення теплиць від параметрів зовнішнього середовища з метою забезпечення заданої внутрішньої температури в теплиці. Розроблено математичну модель у вигляді рівняння регресії, визначено оптимальний режим мікроклімату для забезпечення максимальної продуктивності фотосинтезу.

Математична модель, експеримент, рівняння регресії, мікроклімат теплиці.

Відомо, що підтримання оптимальної температури в теплиці, особливо в зимовий період, є найбільш енергозатратним фактором під час виробництва овочів. Крім того, температурний режим значно впливає на фотосинтез у рослинах і пов'язаний з інтенсивністю сонячної радіації, яка залежить від тривалості світлового дня та зовнішніх погодних умов. Частина сонячної радіації є фотосинтетично активною (ФАР), тобто бере участь у процесі фотосинтезу, а решта, перетворившись в тепло, збільшує температуру в теплиці, при цьому збурюючи впливає на мікроклімат біотехнічного об'єкта [2, 3, 4]. Таким чином, важливим завданням є синтез математичної моделі витрат природного газу на опалення в теплиці з урахуванням збурюючого впливу зовнішніх погодних умов.

Мета досліджень – синтез математичної моделі витрат природного газу у теплиці, яка дозволить дослідити вплив зовнішніх природних факторів (температури та інтенсивності сонячної радіації) на енергетичні витрати та визначити можливі шляхи підвищення енергоефективності при виробництві овочів у спорудах закритого ґрунту.

Матеріали та методика досліджень. Інформація щодо значень параметрів мікроклімату та збурюючих впливів отримана із застосуванням інформаційно-вимірювальної системи моніторингу, яка розроблена з використанням датчиків температури, вологості та інтенсивності сонячної