

УДК 621.327.539

ВПЛИВ ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОВШОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ

*О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, кандидати технічних наук
Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Проведено дослідження впливу відхилення напруги на кутову швидкість, технологічні та енергетичні характеристики ковшових транспортерів. Встановлені залежності продуктивності і питомих витрат електроенергії від напруги.

Ковшовий транспортер, відхилення напруги, електропривод, продуктивність, питомі витрати електроенергії.

При відхиленні напруги від номінального значення виникають збитки, які мають дві складові: електромагнітну і технологічну. Електромагнітна складова визначається втратою активної потужності і зміною терміну служби ізоляції електрообладнання. Технологічна складова збитків обумовлена впливом якості електричної енергії на продуктивність технологічних установок та собівартість продукції, що випускається [1].

Фактичне відхилення напруги в електромережах України значно перевищує допустиме значення. Математичне очікування відхилення напруги знаходиться в межах 16 %, а діапазон зміни напруги складає 15–28 % від номінального [2].

Відхилення напруги викликає зміну кутової швидкості двигуна, яка, в свою чергу, обумовлює зміну технологічних характеристик робочих машин. При цьому також змінюються втрати енергії в електроприводі.

Мета досліджень – встановити вплив відхилення напруги на технологічні і енергетичні характеристики ковшових транспортерів.

Матеріали і методика досліджень. Аналіз зміни кутової швидкості електроприводів транспортерів та втрат енергії при відхиленні напруги 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 напругу на двигуні змінювали за допомогою автотрансформатора, вимірюючи при цьому частоту обертання вала тахометром. Використовуючи залежності продуктивності транспортерів від кутової швидкості, визначали зміну технологічних параметрів транспортера при відхиленні напруги.

Результати досліджень. При відхиленні напруги механічна характеристика електродвигуна на робочій ділянці описується рівнянням [3]:

$$M_o = \beta_o U_*^2 (\omega_o - \omega), \quad (1)$$

де M_0 – момент двигуна, Н·м; β_δ – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с; ω_0 – синхронна кутова швидкість, с⁻¹; ω – задана кутова швидкість, с⁻¹; $U_* = U/U_n$ – напруга у відносних одиницях.

Механічна характеристика ковшових транспортерів при навантаженні має вигляд [4]:

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

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

В усталеному режимі роботи

$$\beta_\delta U_*^2 (\omega_0 - \omega) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega_n}{\omega} \right), \quad (3)$$

або

$$\beta_\delta U_*^2 (\omega_0 - \omega_n \omega_*) = M_0 + \frac{(M_{сн} - M_0)}{\omega_*}, \quad (4)$$

де $\omega_* = \omega/\omega_n$ – кутова швидкість у відносних одиницях.

Після перетворень отримаємо:

$$U_* = \sqrt{\frac{M_{сн} - M_0(1 - \omega_*)}{\beta_\delta(\omega_0 \omega_* - \omega_n \omega_*^2)}}. \quad (5)$$

Якщо знехтувати початковим моментом $M_0=0$, отримаємо

$$U_* = \sqrt{\frac{M_{сн}}{\beta_\delta(\omega_0 - \omega_n \omega_*^2)}}. \quad (6)$$

Оскільки

$$M_{сн} = K_3 M_{дн}, \quad (7)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження двигуна,

$$\beta_\delta = \frac{M_{дн}}{\omega_0 - \omega_n} = \frac{M_{дн}}{\omega_0 s_n}, \quad (8)$$

де s_n – номінальне ковзання двигуна,

то вираз (6) можна записати як

$$U_* = \sqrt{\frac{K_3 s_n}{s \omega_*}} = \sqrt{\frac{K_3 s_n (1 - s_n)}{s(1 - s)}}. \quad (9)$$

Як впливає із виразу (9), кутова швидкість ковшових транспортерів при зміні напруги змінюється за складним алгоритмом (рис. 1).

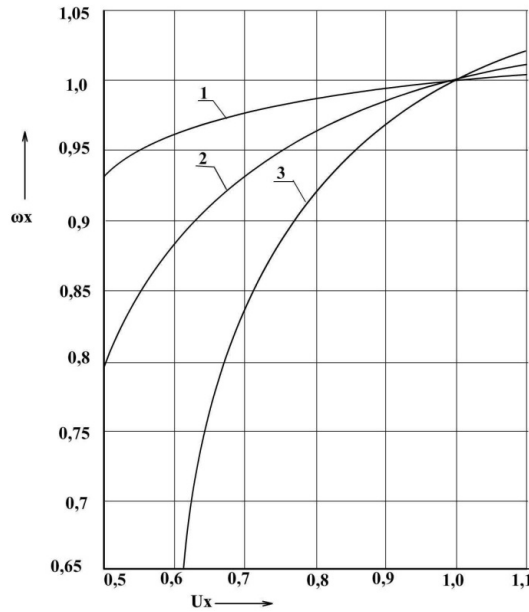


Рис. 1. Зміна кутової швидкості від напруги в електроприводах ковшових транспортерів при номінальному ковзанні двигуна: 1– 0,02; 2 – 0,05; 3 – 0,1

Оскільки відхилення напруги викликає зміну кутової швидкості транспортерів, то змінюються їх продуктивність. Експериментальні дослідження зміни продуктивності і моменту статичних опорів норії НЗ-20 при зміні напруги показали, що ці залежності є нелінійними і описуються складними функціями (рис. 2). При підвищенні напруги продуктивність норії нелінійно зростає, а момент статичних опорів зменшується за рахунок зменшення коефіцієнта заповнення ковшів.

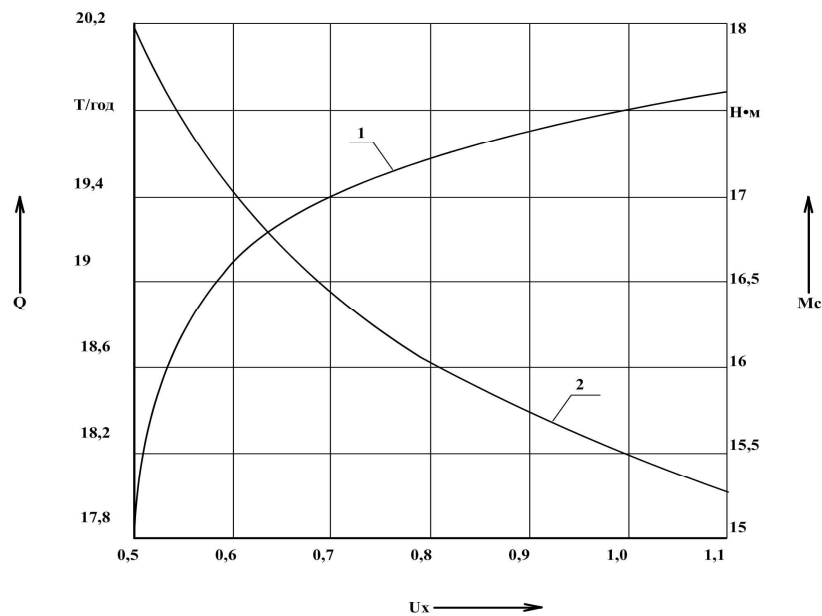


Рис. 2. Залежності продуктивності (1) і моменту статичних опорів (2) норії НЗ-20 від напруги

Відхилення напруги викликає зміну постійних втрат, до яких відносять

механічні та втрати на перемагнічування і гістерезис.

Механічні втрати визначаються за формулою [3]:

$$\Delta P_m = \Delta P_{m.n} \omega_*^2, \quad (10)$$

де $\Delta P_{m.n}$ – механічні втрати при номінальній швидкості.

Втрати в сталі від вихрових струмів і гістерезису при відхиленні напруги визначаються як:

$$\Delta P_{cm} \approx \Delta P_{cm1n} U_*^2 (1 + s^{1.3}), \quad (11)$$

де ΔP_{cm1n} – втрати в сталі статора при номінальній напрузі живлення.

Зміна механічних втрат при відхиленні напруги практично компенсуються зміною втрат в сталі ротора, тому можна вважати, що постійні втрати

$$\Delta P_c = \Delta P_{cn} U_*^2. \quad (12)$$

Змінні втрати при відхиленні напруги не змінюються, оскільки потужність на валу двигуна залишається постійною.

Важливою характеристикою ковшового транспортера є питома витрати електроенергії, кВт·год/т, які визначаються як

$$q = P_1 / Q, \quad (13)$$

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

У відносних одиницях вираз (13) можна записати у вигляді:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2n} + \Delta P_{cn} + \Delta P_{vn}} \cdot \frac{Q_n}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{vn} (\alpha + \Delta P_v / \Delta P_{vn})}{P_{2n} + \Delta P_{vn} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (14)$$

де P_{2n} и P_2 – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній і не номінальній напрузі; α – коефіцієнт втрат.

Розділивши чисельник і знаменник виразу (14) на P_{2n} та враховуючи те, що

$$\Delta P_n = P_{2n} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} = \Delta P_{vn} (\alpha + 1), \quad (15)$$

де η_n – ККД двигуна при номінальній напрузі, отримаємо

$$q_* = \frac{1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \cdot \frac{(\alpha U_*^2 + 1)}{(\alpha + 1)}}{Q_* \left(1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right)} = \frac{\eta_n}{Q_*} + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha + 1)} \cdot \frac{(\alpha U_*^2 + 1)}{Q_*}. \quad (16)$$

Як випливає з формули (16), питома витрати електроенергії ковшового транспортера при відхиленні напруги практично не змінюються.

Висновки

При відхиленні напруги змінюється кутова швидкість і продуктивність ковшового транспортера за складним алгоритмом. У результаті проведених досліджень встановлено, що при зниженні напруги на 20 % продуктивність норій знижується до 2 %, а питома витрати електроенергії – до 0,5 %.

Список літератури

1. Аванесов В.М. Анализ структуры потерь электрической энергии в электроустановках при отклонении напряжения от оптимального значения / В.М. Аванесов, Е.В. Садков // Энергобезопасность в документах и фактах. – 2005. – №4. – С. 19–21.
2. Перова М.Б. Качество сельского электроснабжения: комплексный подход. – Вологда: ВГТУ, 1999. – 72 с.
3. Электропривод / [Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І. та ін.]; за ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: Ліра-К, 2009. – 504 с.
4. Электропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових 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 отклонения напряжения на угловую скорость, технологические и энергетические характеристики ковшовых транспортеров. Установлены зависимости производительности и удельных затрат электроэнергии от напряжения.

Ковшовый транспортер, отклонение напряжения, электропривод, производительность, удельные затраты электроэнергии.

A research of the influence of voltage deviation on the angular speed, technology and energy characteristics of bucket conveyors was conducted. The dependencies of productivity and unit cost of electricity from the voltage were found.

Bucket conveyor, voltage deviation, electric drive, productivity, unit costs of electricity.