

УДК 621.327.539

## ВПЛИВ ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ І ЧАСТОТИ СТРУМУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕПАРАТОРІВ МОЛОКА

Синявський О.Ю., к.т.н.,

Савченко В.В., к.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Тел. (063) 566-96-28

**Анотація** – проведено дослідження впливу відхилення напруги та частоти струму на кутову швидкість і технологічні характеристики сепараторів молока. Встановлені залежності продуктивності сепаратора молока та кутової швидкості барабана від напруги і частоти струму.

**Ключові слова** – сепаратор молока, відхилення напруги, частота струму, електропривод, продуктивність, механічна характеристика.

*Постановка проблеми.* Відхилення напруги і частоти струму від нормованих значень викликає економічні збитки, які мають дві складові: електромагнітну і технологічну. Електромагнітна складова визначається в основному 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].

Сепаратори молока для відокремлення вершків потребують незмінної кутової швидкості барабана. Проте внаслідок відхилення напруги і частоти струму змінюється кутова швидкість двигуна, яка в свою чергу обумовлює зміну технологічних характеристик сепаратора. Тому дослідження зміни технологічних характеристик сепараторів молока при відхиленні напруги та частоти струму має теоретичне і практичне значення.

*Аналіз останніх досліджень.* Допустиме відхилення напруги в Україні становить  $\pm 5\%$ , а гранично допустиме її відхилення  $\pm 10\%$ . Допустиме відхилення частоти струму  $\pm 0,2\%$ , а гранично допустиме відхилення  $\pm 0,4\%$  [6].

Проведені дослідження показали, що фактичне відхилення напруги в електромережах України значно перевищує допустиме значення. Математичне очікування відхилення напруги знаходиться в межах  $16\%$ , а діапазон зміни напруги складає  $15\text{--}28\%$  від номінально-

го [5]. Відхилення напруги у 3-4 рази перевищують допустимі значення. Тривалість постачання неякісної енергії складає (у найвіддаленіших споживачів) 45% від загального часу роботи.

Нині в Україні не проводяться дослідження впливу якості електричної енергії, що постачається сільським електроспоживачам, на технічні характеристики цих споживачів, технологічні характеристики сільськогосподарських машин і агрегатів.

*Формулювання мети статті.* Метою даної роботи є дослідження впливу відхилення напруги і частоти струму у мережі живлення на технологічні характеристики сепараторів молока.

*Основна частина.* При відхиленні напруги і частоти струму асинхронний двигун працює на робочій частині механічної характеристики, яку можна вважати лінійною [2], тобто

$$M_{\partial} = \beta_{\partial}(\omega_0 - \omega), \quad (1)$$

де  $M_{\partial}$  – момент двигуна, Н·м;

$\beta_{\partial}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с;

$\omega_0$  – синхронна кутова швидкість, с<sup>-1</sup>;

$\omega$  – задана кутова швидкість, с<sup>-1</sup>.

Механічна характеристика сепаратора молока має вентиляторний вигляд [3]

$$M_c = M_0 + b\omega^2, \quad (2)$$

де  $M_0$  – початковий момент, Н·м;

$b$  – коефіцієнт, Н·м·с<sup>2</sup>.

При відхиленні напруги механічна характеристика електродвигуна на робочій ділянці опишеться рівнянням

$$M_{\partial} = \beta_{\partial}U_*^2(\omega_0 - \omega), \quad (3)$$

де  $U_* = U/U_n$  – напруга у відносних одиницях.

В усталеному режимі роботи

$$\beta_{\partial}U_*^2(\omega_0 - \omega) = M_0 + b\omega^2, \quad (4)$$

звідки отримаємо

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + b\omega^2}{\beta_{\partial}(\omega_0 - \omega)}}, \quad (5)$$

У відносних одиницях вираз (5) має вигляд

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + b\omega_n^2\omega_*^2}{\beta_{\partial}(\omega_0 - \omega_n\omega_*)}}, \quad (6)$$

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

Як впливає із виразу (6), кутова швидкість сепаратора молока при відхиленні напруги змінюється за складним алгоритмом.

При зміні частоти струму механічна характеристика двигуна на робочій ділянці описується рівнянням [4]:

$$M_{\partial} = \beta_{\partial}\left(\frac{2\pi f}{p} - \omega\right), \quad (7)$$

де  $f$  – частота струму, Гц;

$p$  – число пар полюсів.

В усталеному режимі роботи:

$$\beta_{\partial} \left( \frac{2\pi f}{p} - \omega \right) = M_0 + b\omega^2. \quad (8)$$

Синхронна кутова швидкість при номінальній частоті струму  $f_n$ :

$$\omega_{0n} = \frac{2\pi f_n}{p}. \quad (9)$$

Тоді рівняння (8) запишеться у вигляді

$$\beta_{\partial} (\omega_{0n} f_* - \omega) = M_0 + b\omega^2, \quad (10)$$

звідки отримаємо

$$f_* = \frac{M_0 + b\omega^2 + \beta_{\partial}\omega}{\beta_{\partial}\omega_{0n}}, \quad (11)$$

або

$$f_* = \frac{M_0 + b\omega_n^2\omega_*^2 + \beta_{\partial}\omega_n\omega_*}{\beta_{\partial}\omega_{0n}}. \quad (12)$$

Вираз (11) можна також представити у вигляді

$$f_* = \frac{M_0 + b\omega^2}{\beta_{\partial}\omega_{0n}} + \frac{\omega}{\omega_{0n}} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_{0n}} + \frac{\omega}{\omega_{0n}}. \quad (13)$$

Оскільки для привода сепараторів молока застосовуються електродвигуни з жорсткою механічною характеристикою, то перепад швидкості невеликий і  $\omega_n \approx \omega_{0n}$ , тому першим додатком у виразі (13) можна знехтувати. Тоді отримаємо

$$f_* \approx \omega_*. \quad (14)$$

У сепараторів молока продуктивність залежить від квадрата кутової швидкості

$$Q = d^2 \omega^2 z \operatorname{tg} \alpha \cdot R_{\partial}^2 - R_M^2 (\rho_n - \rho_{жс}) \eta_c / (8,6\eta_n), \quad (15)$$

де  $Q$  – продуктивність;

$d$  – діаметр кульки жиру;

$\omega$  – кутова швидкість;

$z$  – кількість міжтарілочних просторів у барабані;

$\alpha$  – кут нахилу тарілки до горизонталі;

$R$  – радіус обертання;

$\rho_n$  – густина плазми;

$\rho_{жс}$  – густина жиру;

$\eta_c$  – ККД сепаратора;

$\eta_n$  – динамічна в'язкість плазми.

Звідси випливає, що продуктивність сепараторів молока дорівнює

$$Q_* = \omega_*^2. \quad (16)$$

Тоді закон зміни продуктивності сепаратора молока при зміні напруги запишеться у вигляді

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + b\omega_n^2 Q_*}{\beta_\partial (\omega_0 - \omega_n \sqrt{Q_*})}}. \quad (17)$$

Закон зміни продуктивності сепаратора молока запишеться у вигляді

$$Q_* = f_*^2. \quad (18)$$

При експериментальних дослідженнях напругу на двигуні сепаратора молока СОМ-3-1000М змінювали за допомогою автотрансформатора, частоту струму – за допомогою частотного перетворювача, при цьому вимірюючи частоту обертання вала тахометром.

Проведені експериментальні дослідження зміни продуктивності і моменту статичних опорів сепаратора молока СОМ-3-1000М при зміні напруги показали, що із її зростанням продуктивність і момент статичних опорів молочного сепаратора непрямолінійно зростають. Залежності зміни продуктивності і моменту статичних опорів сепаратора при зміні напруги показані на рис. 1.

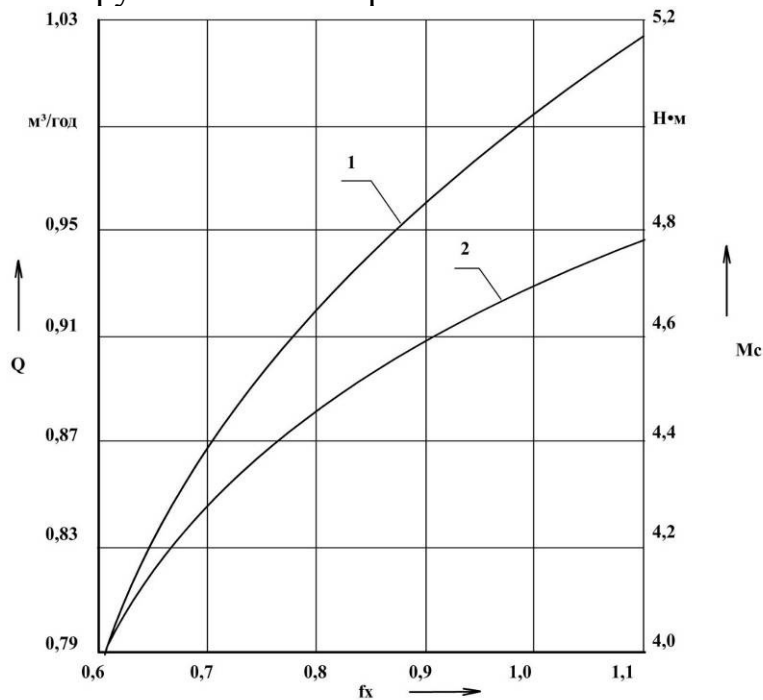


Рис.1. Залежності продуктивності (1) і моменту статичних опорів (2) сепаратора молока СОМ-3-1000М від напруги.

Відхилення напруги впливає на перехідні процеси в електроприводі сепаратора молока, викликаючи при зниженні напруги зростання часу пуску, що призводить до перегрівання двигуна.

Експериментальні криві перехідного процесу  $n = f(t)$  пуску сепаратора молока СОМ-3-1000М при номінальній і зниженій у  $\sqrt{3}$  раз напрузі показані на рис. 2. Як впливає із наведених залежностей, зниження напруги викликає несуттєве зниження частоти обертання, але значно збільшує час пуску.

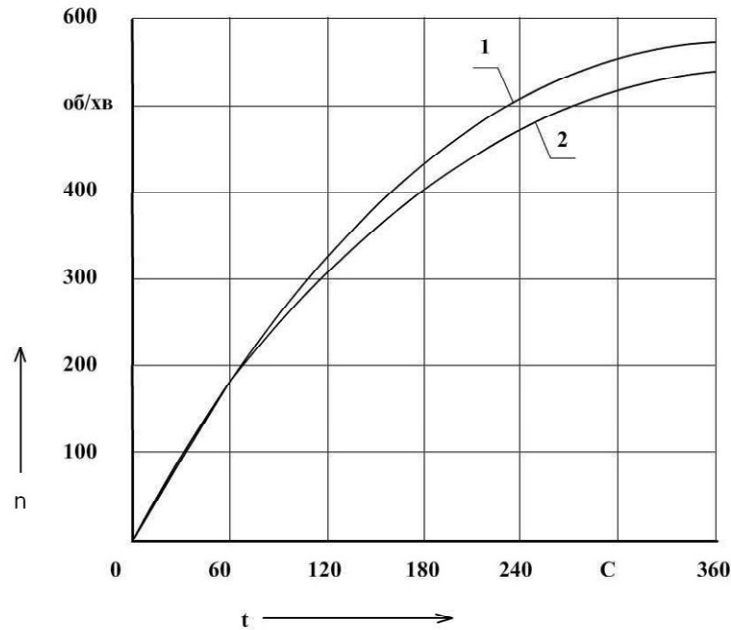


Рис. 2. Криві розгону сепаратора молока СОМ-3-1000М при номінальній (1) і зниженій у  $\sqrt{3}$  раз напрузі (2).

Проведені експериментальні дослідження показали, що продуктивність і момент статичних опорів сепаратора молока залежать від квадрату частоти струму. Залежності зміни продуктивності і моменту статичних опорів сепаратора молока СОМ-3-1000М при зміні частоти струму показані на рис. 3.

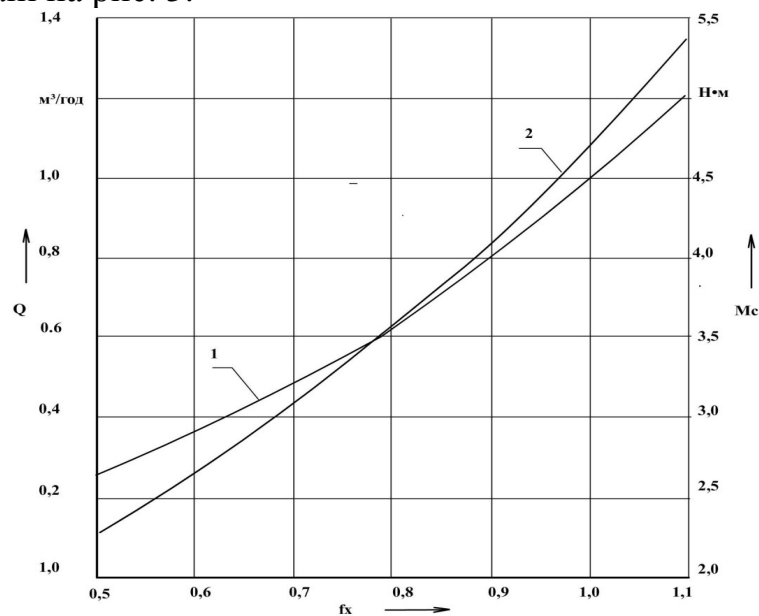


Рис. 3. Залежність продуктивності (1) і моменту статичних опорів (2) сепаратора молока СОМ-3-1000М від частоти струму.

*Висновки.* На основі проведених досліджень встановлено, що при зниженні напруги на 20% кутова швидкість барабана знижується на 4%, а продуктивність сепаратора молока – до 9%. При зниженні частоти струму на 2% його продуктивність знижується до 4%.

### Література

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. Электропривод / [*Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І.* та ін.]; за ред. *Ю.М. Лавріненка.* – К.: Ліра-К, 2009. – 504 с.
3. 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.
4. *Ключев В.И.* Теория электропривода / *В.И. Ключев* – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 560 с.
5. *Перова М.Б.* Качество сельского электроснабжения: комплексный подход / *М.Б. Перова.* – Вологда: Вологодский государственный технический университет, 1999. – 72 с.
6. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. – [Чинний від 1999-01-01]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 31 с. – (Межгосударственный стандарт).

## **ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ ТОКА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕПАРАТОРОВ МОЛОКА**

Синявский А.Ю., Савченко В.В.

### *Аннотация*

**Проведено дослідження впливу відхилення напруги і частоти току на кутову швидкість і технологічні характеристики сепараторів молока. Встановлено залежності продуктивності сепаратора молока і кугової швидкості барабана від напруги і частоти току.**

## **INFLUENCE OF THE VOLTAGE AND FREQUENCY DEVIATION ON TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MILK SEPARATOR**

A. Sinyavsky, V. Savchenko

### *Summary*

**There were researches the influence of the voltage and frequency deviation on angular speed and technological characteristics of milk separators. The dependences of the milk separator performance and the angular speed of the drum on voltage and frequency are established.**