

УДК 621.327.539

**ВПЛИВ ЧАСТОТИ СТРУМУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ СКРЕБПЕРНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРИБИРАННЯ  
ГНОЮ**

*О Ю. Синявський, кандидат технічних наук, доцент*

*В. В. Савченко, кандидат технічних наук, доцент*

*В. Р. Козицький, студент магістратури*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*e-mail: [vit1986@ua.fm](mailto:vit1986@ua.fm)*

**Анотація.** Метою дослідження було встановлення впливу частоти струму на технологічні та енергетичні характеристики скреперних установок для прибирання гною.

*Швидкість руху та продуктивність скреперної установки прямо пропорційно залежать від частоти струму.*

*Зміна частоти струму впливає на втрати потужності в електродвигуні. Зниження частоти струму викликає збільшення питомої витрати електроенергії у скреперних установках, а її підвищення – зменшення. У частотно-регульованих електроприводах при зниженні частоти струму порівняно з номінальною питома витрата електроенергії зменшується порівняно з нерегульованим електроприводом на 2 – 3 %, а при підвищенні – збільшується.*

*На основі проведених досліджень встановлено, що при зниженні частоти струму на 40 % продуктивність скреперних установок знижується до 40 %, а питома витрата електроенергії зростає на 61 %.*

**Ключові слова:** *скреперна установка, частота струму, електропривод, продуктивність, втрати потужності, питома витрата електроенергії*

**Актуальність.** Нині набули значного поширення частотно-регульовані електроприводи. Особливо широко вони застосовуються в електроприводах транспортних машин і механізмів. Тому актуальним є питання впливу відхилення частоти струму на характеристики робочих машин і механізмів

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Відхилення частоти струму викликає зміну кутової швидкості двигуна, яка, в свою чергу, обумовлює зміну технологічних характеристик робочих машин. При зміні частоти струму також

змінюється напруга за певним законом, який визначається механічною характеристикою робочої машини [1].

Частота струму впливає на постійні і змінні втрати енергії в електродвигунах.

**Мета дослідження** – встановлення впливу частоти струму на технологічні та енергетичні характеристики скреперних установок для прибирання гною.

**Матеріали і методи дослідження.** Аналіз зміни кутової швидкості електроприводів скреперних установок для прибирання гною 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, вимірюючи при цьому частоту обертання вала скрепера тахометром і визначали його продуктивність та питому витрату електроенергії.

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

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

де  $M_{\partial}$  – момент двигуна, Н·м;  $\beta_{\partial}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с;  $f$  – частота струму, Гц;  $p$  – число пар полюсів;  $\omega$  – задана кутова швидкість, с<sup>-1</sup>.

У скреперних установках для прибирання гною момент статичних опорів не залежить від кутової швидкості, тобто  $M_c = \text{const}$  [3].

Тоді в усталеному режимі роботи

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

або

$$\beta_{\delta} \left( \frac{2\pi f}{p} - \omega_n \omega_* \right) = M_c. \quad (3)$$

Синхронна кутова швидкість електродвигуна при номінальній частоті струму  $f_n$ :

$$\omega_{0n} = \frac{2\pi f_n}{p}. \quad (4)$$

Тоді рівняння (3) запишеться у вигляді:

$$M_c = \beta_{\delta} (\omega_{0n} f_* - \omega_n \omega_*) = \beta_{\delta} (\omega_{0n} - \omega_n), \quad (5)$$

звідки отримаємо

$$\omega_* = \frac{\omega_{0n}}{\omega_n} (f_* - 1) + 1. \quad (6)$$

Для двигунів з жорсткою механічною характеристикою  $\omega_n \approx \omega_{0n}$ , тому

$$f_* \approx \omega_*. \quad (7)$$

Продуктивність скреперних установок (т/год) прямо пропорційна швидкості руху скрепера:

$$Q = \frac{h_c b S l \rho v k}{C_{1роб.х} + C_{1хол.х}}, \quad (8)$$

де  $h_c$  – середня товщина шару гною в гнойовому каналі, м;  $b$  – ширина гнойового каналу, м;  $l$ ;  $S l$  – робоча довжина ходу першого скрепера, м;  $\rho$  – густина гною, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – середня швидкість руху скрепера за один цикл, м/с;  $k$  – коефіцієнт, що враховує кут нахилу скребка;  $C_{1роб.х}$  – загальна довжина переміщення першого скрепера під час робочого ходу, м;  $C_{1хол.х}$  – загальна довжина переміщення першого скрепера під час зворотного ходу, м.

Швидкість скрепера:

$$v_* = \omega_*. \quad (9)$$

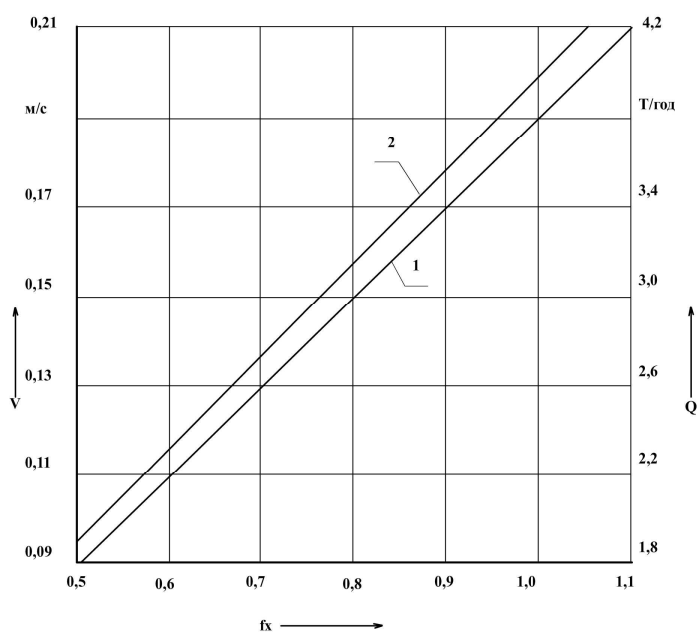
Тоді із (8) і (9) випливає, що і продуктивність скреперних установок прямо пропорційно залежать від кутової швидкості приводного вала:

$$Q_* = \omega_* \cdot \quad (10)$$

Закон зміни продуктивності скреперної установки при цьому запишеться у вигляді:

$$Q_* = f_* \cdot \quad (11)$$

Експериментальні залежності продуктивності і швидкості скреперної установки для прибирання гною УС-15 (рис.1) показали, що вони лінійно залежать від частоти струму.



**Рис.1. Залежності швидкості руху (1) і продуктивності (2) скреперної установки для прибирання гною УС-15 від частоти струму**

Зміна частоти струму впливає на втрати потужності в електродвигуні. Втрати в сталі від вихрових струмів і гістерезису визначаються за формулою [1]:

$$\Delta P_{cm} = \Delta P_{cm1} + \Delta P_{cm2} \approx \Delta P_{cm1n} U_*^2 f_*^{1,3} (1 + s^{1,3}), \quad (12)$$

де  $\Delta P_{cm1n}$  – втрати в сталі статора при номінальних значеннях частоти і напруги живлення, Вт.

При зміні частоти струму у асинхронного електродвигуна втратами в сталі ротора можна знехтувати [1]. Тоді вираз для втрат в сталі при номінальній напрузі матиме вигляд:

$$\Delta P_{cm} \approx \Delta P_{cm1n} f^{1,3}. \quad (13)$$

У частотно-регульованих електроприводах скреперних транспортерів напругу змінюють прямо пропорційно частоті струму:

$$U_* = f_*. \quad (14)$$

Тому втрати в сталі для таких приводів

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

У скреперних установках  $M_c = \text{const}$ , тому при зміні частоти струму перепад швидкості і змінні втрати залишаються постійними:

$$\Delta P_v = \Delta P_{vh} = \frac{M_c^2}{\beta_\phi} \left( 1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = \text{const}. \quad (16)$$

Питому витрату електроенергії у відносних одиницях визначають за формулою:

$$q_* = \frac{P_{1*}}{Q_*} = \frac{P_2 + \Delta P_{vh} (\alpha + \Delta P_v / \Delta P_{vh})}{(P_{2n} + \Delta P_{vh} (\alpha + 1)) Q_*}, \quad (17)$$

де  $P_1$  – потужність, споживана двигуном з мережі, Вт;  $P_{2n}$  и  $P_2$  – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній і відмінній від номінальної частоті струму;  $\Delta P_{cn}$  і  $\Delta P_c$  – постійні втрати потужності;  $\Delta P_{vh}$  і  $\Delta P_v$  – змінні втрати потужності;  $\alpha$  – коефіцієнт втрат.

Розділивши чисельник і знаменник виразу (17) на  $P_{2n}$  та враховуючи те, що

$$\Delta P_n = P_{2n} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} = \Delta P_{vh} (\alpha + 1), \quad (18)$$

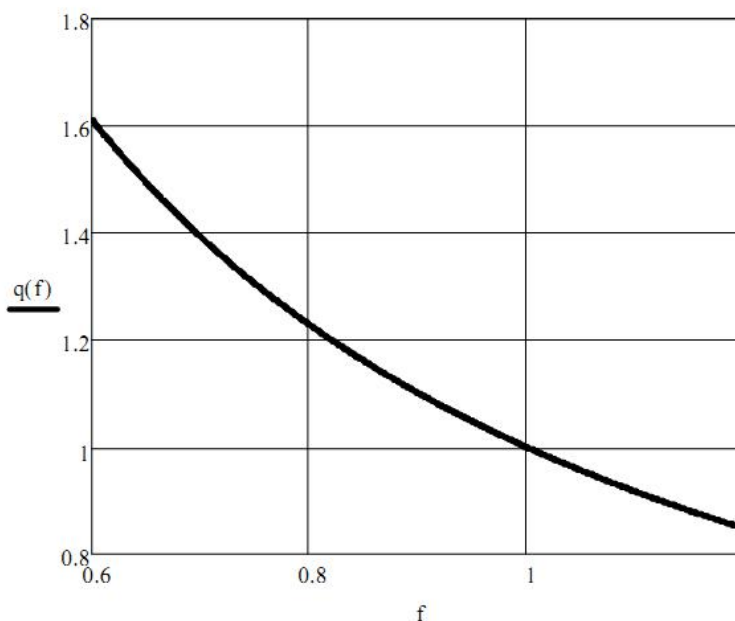
де  $\eta_n$  – ККД двигуна при номінальній напрузі і частоті струму, отримаємо

$$q_* = \frac{1 + \frac{1 - \eta_n \cdot (f_*^{1.3} + 1)}{\eta_n (\alpha + 1)}}{Q_* \left( 1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right)} = \frac{\eta_n}{f_*} + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha + 1)} \cdot \frac{(\alpha f_*^{1.3} + 1)}{f_*} \quad (19)$$

У частотно-регульованих електроприводах скреперних установок питома витрата електроенергії визначається за формулою:

$$q_* = \frac{\eta_n}{f_*} + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha + 1)} \cdot \frac{(\alpha f_*^{3.3} + 1)}{f_*} \quad (20)$$

Таким чином, зниження частоти струму викликає збільшення питомої витрати електроенергії у скреперних установках, а її підвищення – зменшення (рис. 2). У частотно-регульованих електроприводах при зниженні частоти струму порівняно з номінальною питома витрата електроенергії зменшується порівняно з нерегульованим електроприводом на 2 – 3 %, а при підвищенні – збільшується.



**Рис.2. Залежність питомої витрати електроенергії від частоти струму для скреперної установки для прибирання гною**

**Висновки і перспективи.** Продуктивність скреперних установок прямо пропорційна частоті струму. На основі проведених досліджень встановлено, що при зниженні частоти струму на 40 % продуктивність скреперних установок знижується до 40 %, а питома витрата електроенергії зростає на 61 %.

### Список літератури

1. Синявський О. Ю. Вплив частоти струму на технологічні та енергетичні характеристики скребкових транспортерів / О. Ю. Синявський //Енергетика і автоматика. – 2014. – №4. – С. 103 – 108.
2. Електропривод і автоматизація / [Синявський О.Ю., Савченко П.І., Савченко В.В. та ін.]; за ред. О.Ю. Синявського. – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – 586 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.

### References

1. Sinyavsky, O. Yu. (2014). Vplyv chastoty strumu na tekhnolohichni ta enerhetychni kharakterystyky skrebkovykh transporteriv [Influence of frequency of current on technological and energy characteristics of scraper conveyors]. Enerhetyka i avtomatyka, 4, 103 – 108.
2. Sinyavsky, O. Yu., Savchenko, P.I., Savchenko, V. V. (2013). Elektropryvod i avtomatyzatsiia [Electric drive and automation]. Kyiv: Ahrar Media Hrup, 586.
3. Zhulai, Ye. L., Zaitsev, B. V., Lavrinenko, Yu. M. (2001). Elektropryvod silskohospodarskykh mashyn, ahrehativ ta potokovykh liniy [Electric drive of agricultural machines, aggregates and flow lines]. Kyiv.: Vyshcha osvita, 288.

## ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ТОКА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКРЕПЕРНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ УБОРКИ НАВОЗА

*А. Ю. Синявский, В. В. Савченко, В. Р. Козицкий*

**Аннотация.** *Целью исследования было установление влияния частоты тока на технологические и энергетические характеристики скреперных установок для уборки навоза.*

*Скорость движения и производительность скреперной установки прямо пропорционально зависят от частоты тока.*

*Изменение частоты тока влияет на потери мощности в электродвигателе. Снижение частоты тока вызывает увеличение удельного расхода электроэнергии в скреперных установках, а ее повышение - уменьшение. В частотно-регулируемых электроприводах при снижении частоты тока по сравнению с номинальной удельный расход электроэнергии уменьшается по сравнению с нерегулируемым электроприводом на 2 – 3 %, а при повышении - увеличивается.*

*На основе проведенных исследований установлено, что при снижении частоты тока на 40 % производительность скреперных установок снижается до 40 %, а удельный расход электроэнергии возрастает на 61%.*

**Ключевые слова:** *скреперная установка, частота тока, электропривод, производительность, потери мощности, удельный расход электроэнергии*

**INFLUENCE OF CURRENT FREQUENCY ON TECHNOLOGICAL AND ENERGY CHARACTERISTICS OF OF SCRAPER INSTALLATIONS FOR CLEANING MANURE**

***O. Sinyavsky, V. Savchenko, V. Kozysky***

**Abstract.** *The purpose of the study was to determine the influence of the frequency of the current on the technological and energy characteristics of scraper installations for cleaning manure.*

*The speed and performance of the scraper installation directly proportional to the frequency of the current.*

*Changing the frequency of the current affects the loss of power in the electric motor. Reducing the current frequency causes an increase in the specific power consumption in scraper units, and its increase - decrease. In frequency-controlled electric drives, when the current frequency decreases, compared with the nominal specific power consumption, it decreases by 2 – 3 % compared with unregulated electric drive, and increases with increasing frequency.*

*On the basis of the conducted research it was established that when the current frequency is reduced by 40 %, the efficiency of the scraper units decreases to 40%, and the specific power consumption increases by 61 %.*

**Keywords:** *scraper installation, current frequency, electric drive, productivity, power losses, specific power consumption*