УДК 621.327.539

ВПЛИВ ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКРЕПЕРНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРИБИРАННЯ ГНОЮ

О. Ю. Синявський, кандидат технічних наук, доцент

В. В. Савченко, кандидат технічних наук, доцент

П. В. Олійник, кандидат технічних наук, доцент

О. Л. Іжик, студент магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: vit1986@ua.fm

Анотація. *Відхилення напруги від нормованих значень викликає в електроприводах негативні наслідки.*

Метою дослідження було встановлення впливу відхилення напруги на технологічні та енергетичні характеристики скреперних установок для прибирання гною.

Встановлено, що при відхиленні напруги змінюється швидкість руху і продуктивність скреперної установки обернено пропорційно квадрату напруги.

Відхилення напруги викликає зміну втрат активної потужності в електроприводі скреперної установки. Зниження напруги викликає зростання питомої витрати електроенергії в скреперних установках, а підвищення напруги - невелике зниження.

При зниженні напруги на 20 % продуктивність скреперної установки зменшується на 4%, а питома витрата електроенергії збільшується на 11 %.

Ключові слова: ***скреперна установка, електропривод, відхилення напруги, продуктивність, швидкість скрепера, технологічна характеристика, енергетична характеристика***

Актуальність. Відхилення напруги від нормованих значень викликає негативні наслідки [1], серед яких найсуттєвішими є порушення нормального ходу технологічних процесів, простої підприємств та випуск неякісної продукції, скорочення строку служби електрообладнання, зростання втрат електроенергії в елементах системи електропостачання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Економічні збитки, спричинені низькою якістю електричної енергії, мають дві складові: електромагнітну і технологічну. Електромагнітна складова визначається в основному втратою активної потужності і зміною терміну служби електроустаткування. Технологічна складова втрат обумовлена впливом якості електроенергії на продуктивність технологічних установок і собівартість продукції, що випускається [2].

Допустиме відхилення напруги в Україні становить ± 5 %, а гранично допустиме відхилення ± 10 %. Однак фактичне відхилення напруги в електромережах значно перевищує допустиме значення. Математичне очікування відхилення напруги знаходиться в межах 16 %, а діапазон зміни напруги становить 15-28 % від номінального значення [3].

Мета дослідження - встановлення впливу відхилення напруги на технологічні та енергетичні характеристики скреперних установок для прибирання гною.

Матеріали та методи дослідження. Внаслідок відхилення напруги змінюється кутова швидкість двигуна, яка, в свою чергу, обумовлює зміну технологічних характеристик робочих машин.

Аналіз зміни кутової швидкості електропривода при відхиленні напруги проведений з використанням положень теорії електропривода, які стосуються електромеханічних властивостей асинхронних електродвигунів, приводних характеристик робочих машин і механізмів, та застосуванням математичного моделювання.

При експериментальних дослідженнях впливу відхилення показників якості електроенергії на технологічні характеристики скреперних установок для прибирання гною напругу на двигуні змінювали за допомогою автотрансформаторів, вимірюючи при цьому частоту обертання вала

тахогенератором. Зміну технологічних параметрів скреперних установок при відхиленні напруги від номінальних параметрів визначали, використовуючи відомі залежності технологічних параметрів транспортера від швидкості і експериментально зняті залежності кутової швидкості від напруги.

Результати досліджень та їх обговорення. При відхиленні напруги двигун працює на робочій ділянці механічної характеристики. При цьому можна вважати, що механічна характеристика двигуна на цій ділянці лінійна [4], тобто

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

де M_{∂} – момент двигуна; β_{∂} – жорсткість механічної характеристики електродвигуна; ω_0 – синхронна кутова швидкість; ω – задана кутова швидкість.

Механічна характеристика скреперної установки для прибирання гною описується рівнянням [5]:

$$M_c = M_{сн}, \tag{2}$$

де M_c – момент статичних опорів робочої машини при заданій кутовій швидкості; $M_{сн}$ – момент статичних опорів при номінальній кутовій швидкості.

При відхиленні напруги механічна характеристика електродвигуна на робочій ділянці опишеться рівнянням:

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

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

В усталеному режимі роботи

$$\beta_{\partial} U_*^2 (\omega_0 - \omega) = M_{сн}, \tag{4}$$

звідки

$$\omega_* = \frac{\omega_0}{\omega_н} - \frac{M_{сн}}{\beta_{\partial}\omega_н U_*^2}, \tag{5}$$

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

Таким чином, для среперних установок зміна кутової швидкості обернено пропорційна квадрату відхилення напруги.

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

$$Q = \frac{h_c b S_1 \rho v k}{C_{1роб\,х} + C_{1х\,х}}, \tag{6}$$

де h_c – середня товщина шару гною в гнойовому каналі, м; b – ширина гнойового каналу, м; 1; $S1$ – робоча довжина ходу першого скрепера, м; ρ –густина гною, кг/м^3 ; 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:

$$v = k_1 \omega, \tag{7}$$

де k_1 – коефіцієнт пропорційності.

Тоді

$$v_* = \omega_*. \tag{8}$$

Із (6) і (7) випливає, що продуктивність скреперної установки для прибирання гною прямо пропорційна кутовій швидкості електродвигуна:

$$Q = k_2 \omega, \tag{9}$$

або

$$Q_* = \omega_*. \tag{10}$$

З урахуванням (5) закон зміни продуктивності скрепера при зміні напруги запишеться у вигляді:

$$Q_* = \frac{\omega_0}{\omega_н} - \frac{M_{сн}}{\beta_д \omega_н U_*^2}. \tag{11}$$

Аналогічно залежність швидкості скрепера при зміні напруги має вигляд:

$$v_* = \frac{\omega_0}{\omega_н} - \frac{M_{сн}}{\beta_д \omega_н U_*^2}. \tag{12}$$

Таким чином, при підвищенні напруги швидкість скрепера і продуктивність скреперної установки для прибирання гною непрямолінійно зростають. Закон зміни цих величин визначається законом зміни кутової швидкості двигуна при зміні напруги. Залежності продуктивності скреперної установки для прибирання гною при зміні напруги наведено на рис.1.

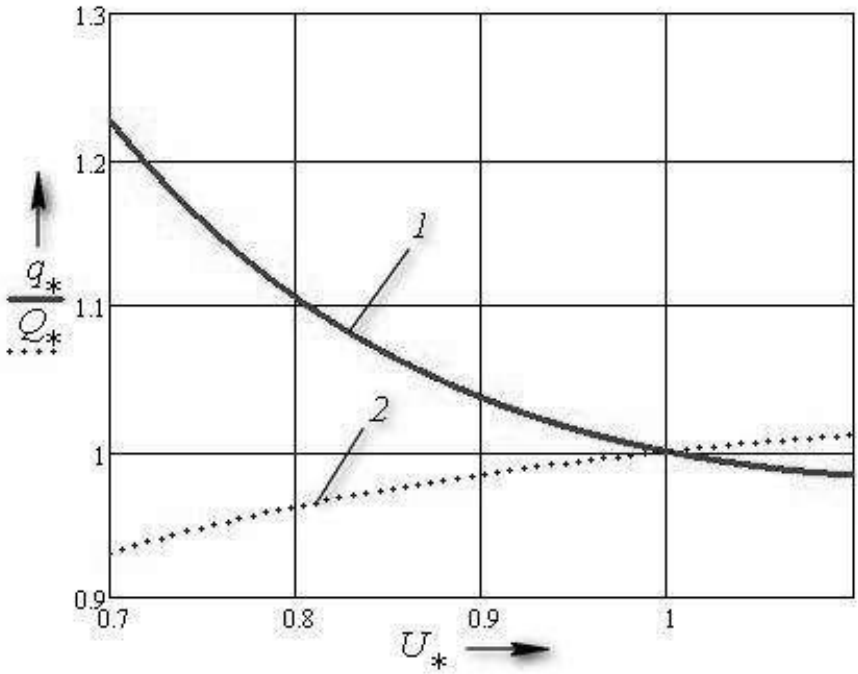

Рис. 1. Залежність питомої витрати енергії (1) і продуктивності (2) скреперної установки для прибирання гною від напруги

Відхилення напруги викликає зміну втрат активної потужності в електроприводі скреперної установки. При цьому змінюються як постійні втрати, до яких відносять механічні втрати і в сталі, так і змінні втрати.

Механічні втрати пропорційні квадрату кутової швидкості [5]:

$$\Delta P_м = \Delta P_{м.н} \omega_*^2, \tag{13}$$

де $\Delta P_{м.н}$ – механічні втрати при номінальному напрузі, Вт.

Втрати в сталі від вихрових струмів і гістерезису визначаються за формулою [5]:

$$\Delta P_{ст} = \Delta P_{ст1} + \Delta P_{ст2} \approx \Delta P_{ст1н}\left(\frac{U}{U_н}\right)^2\left(\frac{f_1}{f_{1н}}\right)^{1,3}\left(1+s^{1,3}\right), \qquad (14)$$

де $\Delta P_{ст1н}$ – втрати в сталі статора при номінальних значеннях частоти і напруги, Вт.

При відхиленні напруги і вираз (14) набуде вигляду:

$$\Delta P_{ст} \approx \Delta P_{ст1н} U_*^2 \left(1+s^{1,3}\right). \qquad (15)$$

Залежність ковзання двигуна стрічкового транспортера від напруги отримують з рівняння (4):

$$s = \frac{K_з s_н}{U_*^2}, \qquad (16)$$

де $K_з$ – коефіцієнт завантаження двигуна.

Тоді рівняння (16) запишеться у вигляді:

$$\Delta P_{ст} \approx \Delta P_{ст1н}\left(U_*^2 + \frac{K_з^{1,3} s_н^{1,3}}{U_*^{0,6}}\right). \qquad (17)$$

Змінні втрати потужності в асинхронному двигуні визначаються за формулою [5]:

$$\Delta P_v = \left(1+\frac{R_1}{R_2^{/}}\right) M_д \left(\omega_0 - \omega\right), \qquad (18)$$

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

У скреперної установки M_c=const, тоді вираз (18) при відхиленні напруги можна записати у вигляді:

$$\Delta P_v = \left(1+\frac{R_1}{R_2^{/}}\right)\frac{M_c^2}{\beta_д U_*^2}, \qquad 19)$$

або

$$\Delta P = \Delta P_{vн} / U_*^2 , \qquad (20)$$

де $\Delta P_{vн}$ – змінні втрати потужності при номінальній напрузі, Вт.

Таким чином, змінні втрати потужності в електроприводі скреперної установки обернено пропорційні квадрату напруги. При підвищенні напруги вони зменшуються в порівнянні з номінальними, а при зниженні - зростають (рис. 2). Постійні втрати потужності, навпаки, при зниженні напруги зменшуються, а при підвищенні - зростають. Оскільки постійні втрати потужності менше змінних втрат, то при зниженні напруги втрати в двигуні зростають, а при підвищенні - дещо зменшуються.

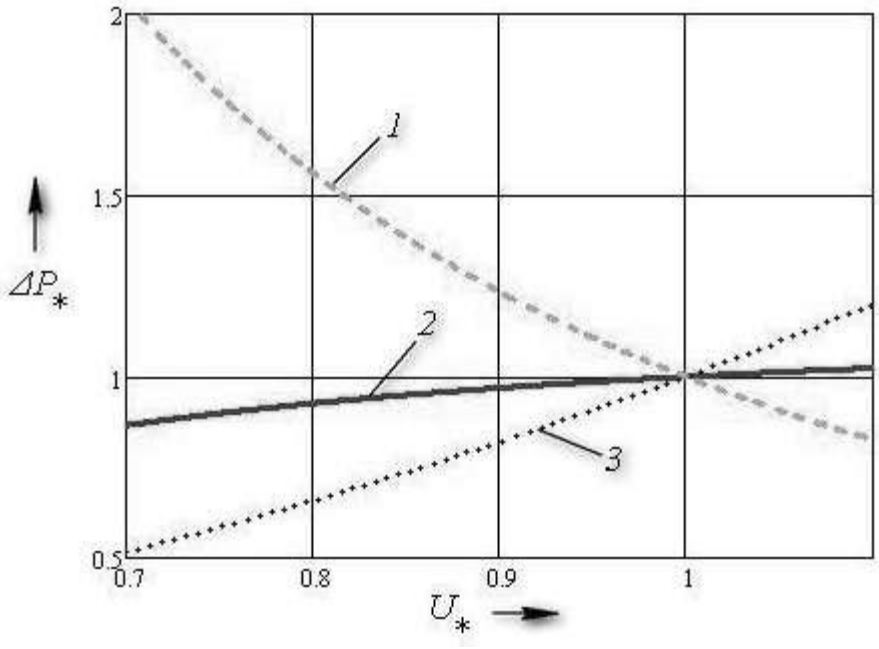

Рис. 2. Зміна складових втрат потужності скреперної установки при відхиленні напруги:

1 - змінні; 2 - механічні; 3 - втрати в сталі

Питома витрата електроенергії, кВт • год / т, визначається як

$$q = P_1 / Q, \tag{21}$$

де P_1 – потужність, споживана двигуном з мережі, кВт; Q – продуктивність скреперної установки, т / год.

У відносних величинах вираз (21) можна записати у вигляді:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2н} + \Delta P_{сн} + \Delta P_{vн}} \cdot \frac{Q_н}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{vн}(\alpha + \Delta P_v / \Delta P_{vн})}{P_{2н} + \Delta P_{vн}(\alpha_н + 1)} \cdot \frac{Q_н}{Q}, \quad (22)$$

де $P_{2н}$ і P_2 – відповідно потужність на валу двигуна при номінальному і відмінному від номінального напрузі, Вт; $\Delta P_{сн}$ и ΔP_c –постійні втрати; ΔPvн і ΔPv - змінні втрати; αн і α - коефіцієнти втрат.

Розділивши чисельник і знаменник виразу (22) на $P_{vн}$ і враховуючи, що

$$P_2 / P_{2н} = M_c \omega / M_c \omega_н = \omega_*, \quad (23)$$

$$\Delta P_н = P_{2н} \frac{1 - \eta_н}{\eta_н} = \Delta P_{vн}(\alpha_н + 1), \quad (24)$$

де $\eta_н$ – ККД двигуна при номінальній напрузі,

отримаємо

$$q_* = \frac{\omega_* + \frac{1 - \eta_н}{\eta_н} \cdot \frac{(\alpha + 1/U_*^2)}{(\alpha_н + 1)}}{\omega_* \left(1 + \frac{1 - \eta_н}{\eta_н}\right)} = \eta_н + \frac{1 - \eta_н}{(\alpha_н + 1)} \cdot \frac{(\alpha + 1/U_*^2)}{\omega_*}. \quad (25)$$

Якщо знехтувати механічними втратами і в стали ротора, тоді постійні втрати

$$\Delta P_c = \Delta P_{сн} U_*^2 \quad (26)$$

і вираз (25) запишеться у вигляді:

$$q_* = \eta_н + \frac{1 - \eta_н}{(\alpha_н + 1)} \cdot \frac{(\alpha_н U_*^2 + 1/U_*^2)}{\omega_*}. \quad (27)$$

Таким чином, зниження напруги викликає зростання питомої витрати електроенергії в скреперних установках (рис. 1), а підвищення напруги - невелике зниження.

Висновки

При відхиленні напруги змінюється швидкість руху і продуктивність скреперної установки для прибирання гною обернено пропорційно квадрату напруги.

У результаті проведених досліджень встановлено, що при зниженні напруги на 20 % продуктивність скреперної установки зменшується на 4%, а питома витрата електроенергії збільшується на 11 %.

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. 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.

3. Перова М.Б. Качество сельского электроснабжения: комплексный подход / М. Б. Перова. – Вологда: Вологодский государственный технический университет, 1999. – 72 с.

4. Гладкий А.М. Вплив відхилення напруги і частоти струму на технологічні характеристики гноєприбиральних транспортерів / А. М. Гладкий, О. Ю. Синявський // Науковий вісник НУБіП України. – 2011. – Вип. 166, ч.4. – С. 26 – 31.

5. Синявський О. Ю. Вплив частоти струму на технологічні та енергетичні характеристики скребкових транспортерів / О. Ю. Синявський // Енергетика і автоматика. – 2014. - №4. – С. 103 – 108.

References

1. Voitiuk, D. H. , Lysenko, V. P., Martynenko, I. I. (2004). Vplyv yakosti elektroenerhii na funktsionuvannia spozhyvachiv u silskomu hospodarstvi [The impact of electricity quality on the functioning of consumers in agriculture]. Elektryfikatsiia ta avtomatyzatsiia silskoho hospodarstva, №1(6), 3–12.

2. Avanesov, V. M., Sadkov, E. V. (2005). Analiz struktury poter' elektricheskoy energii v elektroustanovkakh pri otklonenii napryazheniya ot optimal'nogo znacheniya [Analysis of the structure of electrical energy losses in electrical installations when the voltage deviates from the optimum value]. Energobezopasnost' v dokumentakh i faktakh, №4, 19–21.

3. Perova, M. B. (1999). Kachestvo sel'skogo elektrosnabzheniya: kompleksnyy podkhod [Quality of rural electricity supply: an integrated approach]. Vologda: Vologodskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 72.

4. Hladkyi, A. M., Synyavsky, A.Y. (2011). Vplyv vidkhylennia napruhy i chastoty strumu na tekhnolohichni kharakterystyky hnoieprybyralnykh transporteriv [Effect of voltage deviation and frequency of current on the technological

characteristics of the pusopecal conveyors]. Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy, 166 (4), 26 – 31.

5. Synyavsky, A.Y. (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.

ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКРЕПЕРНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ УБОРКИ НАВОЗА

А. Ю. Синявский, В. В. Савченко, П. В. Олейник, А. Л. Ижик

Аннотация. Отклонение напряжения от нормативных значений вызывает в электроприводах негативные последствия.

Целью исследования было установление влияния отклонения напряжения на технологические и энергетические характеристики скреперных установок для уборки навоза.

Установлено, что при отклонении напряжения изменяется скорость движения и производительность скреперной установки обратно пропорционально квадрату напряжения.

Отклонение напряжения вызывает изменение потерь активной мощности в электроприводе скреперной установки. Снижение напряжения вызывает рост удельного расхода электроэнергии в скреперных установках, а повышение напряжения - небольшое снижение.

При снижении напряжения на 20 % производительность скреперной установки уменьшается на 4 %, а удельный расход электроэнергии увеличивается на 11 %.

Ключевые слова: ***скреперная установка, электропривод, отклонение напряжения, производительность, скорость скрепера, технологическая характеристика, энергетическая характеристика***

INFLUENCE OF VOLTAGE DEVIATION ON TECHNOLOGICAL AND ENERGY CHARACTERISTICS OF SCRAPER INSTALLATION FOR MAGNIFYING

A. Sinyavsky, V. Savchenko, P. Oliynyk, O. Izhik

Abstract. *Deviation of voltage from the normalized values causes in electric drives negative consequences.*

The purpose of the study was to determine the effect of voltage deviation on the technological and energy characteristics of scraper installation for manur cleaning.

It has been established that in the case of voltage deviation, the speed of motion and the performance of the scraper unit for manure cleaning is inversely proportional to the square of the voltage.

The voltage deviation causes the loss of active power in the electric drive of the scraper installation. Lowering the voltage causes an increase in the specific consumption of electricity in scraper installation, and an increase in voltage - a slight decrease.

When the voltage decreases by 20 %, the performance of the scraper installation decreases by 4 %, and the specific power consumption increases by 11 %.

Key words: ***scraper installation, electric drive, voltage deviation, productivity, scraper speed, technological characteristic, power characteristic***