

**ВПЛИВ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ  
ХАРАКТЕРИСТКИ ГНОЄПРИБИРАЛЬНИХ ТРАНСПОРТЕРІВ**

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

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

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*В.Я. Бунько, кандидат технічних наук, доцент*

*М.І. Свирида, магістр*

*ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут»*

*E-mail: [sinyavsky2008@ukr.net](mailto:sinyavsky2008@ukr.net)*

**Анотація.** *Встановлено, що найбільший вплив на електроприводи виробничих машин і механізмів мають відхилення та несиметрія напруги.*

*Несиметрія напруги призводить до збитків, які мають електромагнітну і технологічну складову.*

*Дослідження впливу несиметрії напруги на технологічні характеристики робочих машин і механізмів показали, що при несиметрії напруги зменшується їх продуктивність. Проте відсутні дослідження з впливу несиметрії напруги на енергетичні характеристики робочих машин.*

*Мета дослідження – встановлення впливу несиметрії напруги на енергетичні характеристики гноєприбиральних транспортерів.*

*При несиметрії напруги змінюються постійні і змінні втрати потужності в асинхронному електродвигуні гноєприбиральних транспортерів, що впливає на їх енергетичні характеристики.*

*Запропоновано проводити енергетичну оцінку електропривода гноєприбирального транспортера за питомою витратою електроенергії.*

*Проведено дослідження впливу несиметрії напруги на енергетичні характеристики гноєприбиральних транспортерів. Отримана залежність питомої витрати електроенергії від зміни жорсткості механічної характеристики електродвигуна, яка обумовлена несиметрією напруги. Оскільки при несиметрії напруги зменшується жорсткість механічної характеристики асинхронного двигуна, то зростають ковзання і втрати потужності. Внаслідок цього зростають питомі втрати електроенергії в електроприводі гноєприбиральних транспортерів.*

**Ключові слова:** *гноєприбиральний транспортер, несиметрія напруги, потужність, продуктивність транспортера, питома витрата електроенергії*

**Актуальність.** Найбільший вплив на електроприводи виробничих машин і механізмів мають відхилення та несиметрія наруги. При обробці даних понад 170 експериментів встановлено, що показниками якості електроенергії, які найбільш часто виходять за встановлені межі, є відхилення наруги (68 %) та коефіцієнт несиметрії за нульовою послідовністю (38 %) [1].

Несиметрія наруги призводить до збитків, які мають електромагнітну і технологічну складову. Електромагнітна складова визначається втратою активної потужності і зміною терміну служби ізоляції електрообладнання. Технологічна складова збитків обумовлена впливом несиметрії наруги на продуктивність технологічних установок та собівартість продукції, що випускається [2].

Несиметрія наруги впливає на енергетичні характеристик робочих машин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При несиметрії наруги зменшується момент асинхронного двигуна та зростають втрати енергії [3]. Струм зворотної послідовності спричиняє додаткове нагрівання ротора і статора, що призводить до швидкого старіння ізоляції і зменшення потужності двигуна [4, 5].

Нині отримані аналітичні залежності моменту асинхронного електродвигуна від несиметрії наруги та втрат енергії в усталених режимах роботи при номінальних параметрах живлячої мережі [6].

Проводилися дослідження із впливу несиметрії наруги на технологічні характеристики робочих машин і механізмів. Встановлено, що несиметрія наруги призводить до зменшення їх продуктивності [7].

Проте не проводилися дослідження з впливу несиметрії наруги на енергетичні характеристики електропривода гноєприбиральних транспортерів.

**Мета дослідження** – встановлення впливу несиметрії наруги на енергетичні характеристики електропривода гноєприбиральних транспортерів.

**Матеріали і методи дослідження.** Аналіз зміни кутової швидкості електропривода при несиметрії наруги проведений з використанням положень теорії електропривода, які стосуються електромеханічних властивостей асинхронних електродвигунів, приводних характеристик гноєприбиральних транспортерів та застосуванням математичного моделювання.

При експериментальних дослідженнях із впливу несиметрії напруги на механічну характеристику асинхронного електродвигуна знімали залежності частоти обертання двигуна від електромагнітного моменту при вмиканні в одну із фаз статора реостата. Залежності частоти обертання двигуна від моменту досліджували при різних значеннях опору реостата в фазі статора.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Механічна характеристика електродвигуна на робочій ділянці при несиметрії напруги описується залежністю [8]:

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

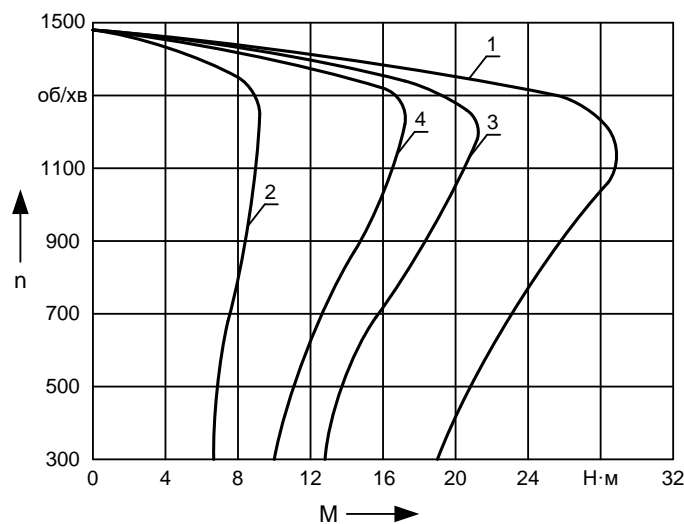
де  $M_{\partial}$  – момент двигуна, Н·м;  $\beta_{\partial a}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при несиметрії напруги, Н·м·с;  $\omega_0$  – синхронна кутова швидкість, с<sup>-1</sup>;  $\omega$  – задана кутова швидкість, с<sup>-1</sup>.

У відносних одиницях жорсткість механічної характеристики двигуна:

$$\beta_{\partial a^*} = \frac{\beta_{\partial a}}{\beta_{\partial}}, \quad (2)$$

де  $\beta_{\partial}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна при номінальній симетричній напрузі, Н·м·с.

Як показали проведені експериментальні дослідження, при несиметрії напруги зменшується жорсткість механічної характеристики електродвигуна (рисунок).



**Рис. Механічні характеристики трифазного асинхронного електродвигуна:**

1 – природна; 2 – при зниженій напрузі в  $\sqrt{3}$  раз; 3 – при коефіцієнті несиметрії напруги 0,86; 4 – при коефіцієнті несиметрії напруги 0,8

Механічна характеристика гноєприбиральних транспортерів [8]:

$$M_c = M_{cn}, \quad (3)$$

де  $M_c$  – момент статичних опорів гноєприбирального транспортера, Н·м, при заданій кутовій швидкості;  $M_{cn}$  – момент статичних опорів, Н·м, при номінальній кутовій швидкості.

Тоді в усталеному режимі роботи

$$\beta_o \beta_{oa^*} (\omega_0 - \omega) = M_{cn}, \quad (4)$$

звідки кутова швидкість

$$\omega = \omega_0 - \frac{M_{cn}}{\beta_o \beta_{oa^*}}. \quad (5)$$

Із формули (5) випливає, що несиметрія напруги призводить до зменшення кутової швидкості гноєприбирального транспортера.

Оскільки продуктивність гноєприбирального транспортера прямо пропорційна швидкості, то

$$Q = Q_n \omega_*, \quad (7)$$

де  $\omega_* = \omega / \omega_n$  – кутова швидкість у відносних одиницях,  $\omega_n$  – номінальна кутова швидкість двигуна,  $\text{с}^{-1}$ .

Таким чином, несиметрія напруги призводить до зменшення кутової швидкості і продуктивності гноєприбиральних транспортерів.

Питома витрата електроенергії гноєприбирального транспортера,  $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$ , визначається за формулою:

$$q = P_l / Q, \quad (8)$$

де  $P_l$  – потужність, споживана двигуном з мережі, кВт.

При відхиленні напруги змінюються постійні і змінні втрати потужності в електродвигуні вентилятора.

Змінні втрати потужності асинхронного електродвигуна визначаються за формулою [8]:

$$\Delta P_v = \Delta P_{v2} + \Delta P_{v1} = \left( 1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) M_o \omega_0 s, \quad (9)$$

де  $\Delta P_{V2}$ ,  $\Delta P_{V1}$  – змінні втрати потужності в колах ротора і статора, Вт;  $R_1$  – активний опір обмотки ротора, Ом;  $R_2'$  – опір обмотки ротора, зведений до обмотки статора, Ом;  $s$  – ковзання двигуна.

Оскільки

$$M_{сн} = K_3 M_{дн}, \quad (10)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт завантаження двигуна,

то вираз (4) можна записати так:

$$\beta_\delta \beta_{\delta a^*} (\omega_0 - \omega) = M_{сн} = K_3 \beta_\delta (\omega_0 - \omega_n), \quad (11)$$

З виразу (11) отримаємо залежність ковзання двигуна від напруги:

$$s = \frac{K_3 s_n}{\beta_{\delta a^*}}. \quad (12)$$

При несиметрії напруги відносна жорсткість механічної характеристики двигуна зменшується, тому зростає ковзання і, відповідно, втрати в двигуні.

Тоді змінні втрати потужності можна записати у вигляді:

$$\Delta P_v = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \beta_\delta \beta_{\delta a^*} \omega_0^2 s^2 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \frac{\beta_\delta \omega_0^2 K_3^2 s_n^2}{\beta_{\delta a^*}}, \quad (13)$$

або

$$\Delta P_v = \Delta P_{вн} / \beta_{\delta a^*}, \quad (14)$$

де  $\Delta P_{вн}$  – змінні втрати потужності при номінальній симетричній нарузі.

У відносних одиницях вираз (8) запишеться у вигляді:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2н} + \Delta P_{сн} + \Delta P_{вн}} \cdot \frac{Q_n}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{вн} (\alpha + \Delta P_v / \Delta P_{вн})}{P_{2н} + \Delta P_{вн} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (15)$$

де  $P_{2н}$  і  $P_2$  – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній симетричній нарузі і несиметрії напруги, Вт;  $\Delta P_{сн}$  і  $\Delta P_c$  – постійні втрати, Вт;  $\Delta P_{вн}$  і  $\Delta P_v$  – змінні втрати, Вт;  $\alpha$  – коефіцієнт втрат.

У гноєприбирального транспортера потужність прямо пропорційні кутовій швидкості

$$P_2 = P_{2н} \cdot \omega_*. \quad (16)$$

Номінальні змінні втрати потужності можна визначити через ККД електродвигуна:

$$\Delta P_{\text{вт}} = \frac{\Delta P_{2н}}{(\alpha + 1)} = \frac{P_{2н}(1 - \eta_n)}{\eta_n(\alpha + 1)}. \quad (17)$$

Підставивши вирази (16) – (17) у вираз (15), після перетворень отримаємо:

$$q_* = \eta_n + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha + 1)} \cdot \frac{(\alpha_a + 1 / \beta_{\alpha a^*})}{Q_*}. \quad (18)$$

Якщо знехтувати постійними втратами в електродвигуні, то вираз (18) набуде вигляду:

$$q_* = \eta_n + \frac{1 - \eta_n}{\beta_{\alpha a^*} Q_*}. \quad (19)$$

Із залежностей (18) та (19) випливає, що несиметрія напруги викликає зростання питомої витрати електроенергії у гноєприбиральних транспортерах, оскільки зменшується жорсткість механічної характеристики електродвигуна.

**Висновки і перспективи.** При несиметрії напруги зменшується жорсткість механічної характеристики електродвигуна. При цьому зростає ковзання та втрати потужності. Внаслідок цього зменшується продуктивність та зростають питомі втрати електроенергії в електроприводі гноєприбиральних транспортерів.

#### Список використаних джерел

1. Дед А. В., Сикорский С. П., Смирнов П. С. Результаты измерений показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения предприятий и организаций. Омский научный вестник. 2018. №2 (158). С. 60 – 63.
2. Аванесов В. М., Садков Е. В. Анализ структуры потерь электрической энергии в электроустановках при отклонении напряжения от оптимального значения. Энергобезопасность в документах и фактах. 2005. №4. С. 19–21.
3. Адамова С. Аналіз впливу якості електроенергії на роботу струмоприймачів. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2018. Вип. 8, т. 2. С. 1-10.
4. Pakkawe Nuyamin, Chaiyapon Thongchaisuratkrul. Effects of Induction Motor Using Unbalance Voltage. International Journal of the Computer, the Internet and Management. 2018, Vol. 26, No. 3, pp. 98-103.
5. Patil R. U., Chaudhari H. B. Behavior of Induction Motor at Voltage Unbalanced. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 2015. Vol. 4. Issue 05, pp. 1344 – 1348.
6. Синявський О. Ю., Горобець В. Г. Вплив якості електроенергії на енергетику електроприводів в усталеному режимі. Науковий вісник НУБіП України. 2010. Вип. 153. С. 133 – 138.
7. Sinyavsky O., Savchenko V., Solomko N., Kisten V., Zalozny R. Influence of electricity quality on technological characteristics of agricultural machines | Wpływ

jakości energii elektrycznej na charakterystyki technologiczne maszyn rolniczych. Przegląd Elektrotechniczny. 2021. Vol. 97(8). P. 84–87.

8. Синявський О. Ю., Савченко В. В., Козирський В. В. та ін. Електропривод і автоматизація. К.: ФОП Ямчинський О. В., 2019. 619 с.

### References

1. Ded, A. V., Sikorskiy, S. P., Smirnov P. S. (2018). Rezul'taty izmereniy pokazateley kachestva elektroenergii v sistemakh elektrosnabzheniya predpriyatiy i organizatsiy [Results of measurements of power quality indicators in power supply systems of enterprises and organizations]. Omskiy nauchnyy vestnik, 2 (158), 60 – 63.

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 optimal value]. Energobezopasnost' v dokumentakh i faktakh, 4, 19–21.

3. Adamova, S. (2018). Analiz vplyvu yakosti elektroenerhii na robotu strumopryimachiv [Analysis of the impact of electricity quality on the operation of current collectors]. Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu, 8 (2), 1-10.

4. Pakkawee, Hayamin, Chaiyapon, Thongchaisuratkrul (2018). Effects of Induction Motor Using Unbalance Voltage. International Journal of the Computer, the Internet and Management, 26 (3), 98-103.

5. Patil, R. U., Chaudhari, H. B. (2015). Behavior of Induction Motor at Voltage Unbalanced. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 4 (5), 1344 – 1348.

6. Sinyavsky A. Yu., Horobets V. H. (2010). Vplyv yakosti elektroenerhii na enerhetyku elektropryvodiv v ustalennomu rezhymi [The influence of electricity quality on the energy of electric drives in the steady state]. Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy, 153, 133 – 138.

7. Sinyavsky, O., Savchenko, V., Solomko, N., Kisten, V., Zalozny, R. (2021). Influence of electricity quality on technological characteristics of agricultural machines. Przegląd Elektrotechniczny, 97(8), 84–87.

8. Sinyavsky, A. Yu., Savchenko, V. V., Kozyrskiy V. V. (2019). Elektropryvod i avtomatyzatsiia [Electric drive and automation]. Kyiv: FOP Yamchynskiy O. V., 619.

## THE INFLUENCE OF VOLTAGE UNSYMMETRY ON THE ENERGY CHARACTERISTICS OF MANURE REMOVAL CONVEYORS

*O. Sinyavsky, V. Savchenko, V. Bunko. M. Svirida*

**Abstract.** *It was established that the greatest impact on electric drives of production machines and mechanisms has deviations and asymmetry of the voltage.*

*Voltage asymmetry leads to losses that have an electromagnetic and technological component.*

*Studies of the influence of voltage asymmetry on the technological characteristics of working machines and mechanisms have shown that their productivity decreases with*

*voltage asymmetry. However, there are no studies on the influence of voltage asymmetry on the energy characteristics of working machines.*

*The purpose of the study is to determine the influence of voltage asymmetry on the energy characteristics of manure removal conveyors.*

*When the voltage is asymmetric, the constant and variable power losses in the asynchronous electric motor of manure removal conveyors change, which affects their energy characteristics.*

*It is proposed to carry out an energy assessment of the electric drive of the manure removal conveyor based on the specific consumption of electricity.*

*A study of the effect of voltage asymmetry on the energy characteristics of manure removal conveyors was conducted. The dependence of the specific power consumption on the change in stiffness of the mechanical characteristics of the electric motor, which is caused by voltage asymmetry, is obtained. Since the stiffness of the mechanical characteristics of the asynchronous motor decreases with voltage asymmetry, slippage and power losses increase. As a result, specific losses of electricity in the electric drive of manure removal conveyors increase.*

***Key words: manure removal conveyors, voltage asymmetry, power, conveyor performance, specific power consumption***