

## ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ РЕЖИМИ РОБОТИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ ЗМІННОМУ ЗАВАНТАЖЕННІ

Квітка С. О., к. т. н.,

Вовк О. Ю., к. т. н.,

Стребков О. А., інж.

Волошина А. А., д. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-57-97

*Анотація* – через те, що робочі машини доволі часто обладнані застарілими приводними електродвигунами та пускозахисною апаратурою, а висока вартість модернізації обладнання не завжди дозволяє забезпечити енергозберігаючі режими роботи спостерігається нераціональне споживання електричної енергії.

Для вирішення вищезначеної проблеми в статті було проведено дослідження електромеханічних та теплових процесів при змінному навантаженні асинхронних електродвигунів та при різному рівні живлячої напруги.

На підставі проведених досліджень розроблена методика аналітичного дослідження коефіцієнта втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні, під яким розуміється відношення втрат активної потужності до активної потужності на його валу у функції коефіцієнта завантаження робочої машини, а також враховано вплив рівня живлячої напруги.

За прийнятою методикою проведено кількісний аналіз коефіцієнта втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні у функції коефіцієнта завантаження робочої машини з урахуванням рівня живлячої напруги. Аналіз отриманих результатів показав, що незалежно від типу робочої машини при зниженні напруги на затискачах електродвигуна відбувається зменшення коефіцієнту втрат активної потужності в ньому в діапазоні завантаження до 50%. При завантаженні електродвигуна на 50-70% коефіцієнт втрат є мінімальним при значенні напруги близькому до номінальної, а в діапазоні від 70% і вище коефіцієнт втрат буде зменшуватись при збільшенні напруги живлення.

Таким чином, використання отриманих результатів дозволяє забезпечити енергозберігаючий експлуатаційний режим роботи асинхронного електродвигуна шляхом визначення оптимального рівня живлячої напруги при змінному завантаженні останнього.

**Ключові слова** – активна потужність, втрати потужності, живляча напруга, коефіцієнт втрат, енергозбереження, режим роботи, асинхронний електродвигун.

*Постановка проблеми.* Робочі машини агропромислового комплексу у більшості випадків обладнані застарілими приводними електродвигунами та пускозахисною апаратурою, а питанню модернізації обладнання майже не приділяється уваги через його високу вартість. Внаслідок цього, через відсутність засобів регулювання режимів роботи електродвигунів при змінному завантаженні робочих машин спостерігається нераціональне споживання електричної енергії.

Тому необхідні науково-технічні рішення в сфері енергозбереження і, як наслідок, дослідження втрат електричної енергії в електродвигунах є актуальним питанням.

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз робіт в цьому напрямку показує, що це питання частково вирішено, наприклад, для електродвигуна, працюючого з перевантаженням, взявши за основу показники номінального режиму його роботи [1].

Проведено дослідження енергозбереження в асинхронних електродвигунах з позиції конструктивного виконання активних частин останнього [2], методів оптимізації втрат електричної енергії в асинхронному електродвигуні [3, 4], запропоновано новий метод мінімізації втрат в асинхронному електродвигуні [5].

Залишаються недослідженими експлуатаційні режими електродвигуна при відхиленнях від номінального режиму роботи: підвищення напруги, зниження напруги, змінне завантаження на його валу.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою статті є аналітичне дослідження електромеханічних та теплових процесів при змінному навантаженні асинхронних електродвигунів, та при різному рівні живлячої напруги.

*Основна частина.* На підставі досліджень, проведених в [6] приймаємо наступну методику аналітичного дослідження коефіцієнта втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні, під яким будемо розуміти відношення втрат активної потужності до активної потужності на його валу у функції коефіцієнта завантаження робочої машини, тобто  $k_{\text{п}} = f(k_3)$  з урахуванням рівня живлячої напруги.

1. Задаємо значенням коефіцієнта завантаження робочої машини та рівня живлячої напруги;

2. Визначаємо ковзання асинхронного електродвигуна при заданих значеннях  $k_3$  та  $k_u$  з урахуванням типу робочої машини. Для робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою ( $x = 0$ ) ця залежність буде наступною:

$$s = \frac{k_3}{k_U^2} \cdot s_H. \quad (1)$$

Для робочої машини з лінійно-зростаючою механічною характеристикою ( $x = 1$ ) ця залежність буде наступною:

$$s = \frac{m_0 + \frac{1 - m_0}{1 - s_H}}{\frac{k_U^2}{k_3 \cdot s_H} + \frac{1 - m_0}{1 - s_H}}. \quad (2)$$

Для робочої машини з нелінійно-зростаючою (параболічною) механічною характеристикою ( $x = 2$ ) ця залежність буде наступною:

$$s = \frac{-K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 4 \cdot K_1 \cdot K_3}}{2 \cdot K_1}, \quad (3)$$

$$\text{де } K_1 = k_3 \cdot s_H \cdot (1 - m_0); \quad (4)$$

$$K_2 = -2 \cdot K_1 - k_U^2 \cdot (1 - s_H)^2; \quad (5)$$

$$K_3 = k_3 \cdot s_H \cdot (1 - m_0 + m_0 (1 - s_H)^2). \quad (6)$$

Для робочої машини з нелінійно-спадаючою (гіперболічною) механічною характеристикою ( $x = -1$ ) ця залежність буде наступною:

$$s = \frac{\frac{k_u^2}{s_H} + m_0 - \sqrt{\left(\frac{k_u^2}{s_H} + m_0\right)^2 - 4 \frac{k_u^2}{s_H} (m_0 + (k_3 - m_0)(1 - s_H))}}{2 \cdot \frac{k_u^2}{s_H}}. \quad (7)$$

3. Визначаємо силу електричного струму в контурі схеми заміщення асинхронного електродвигуна:

$$I' = \frac{k_u U_H}{\sqrt{(R_1' + R_2''/s)^2 + (x_1' + x_2'')^2}}. \quad (8)$$

4. Визначаємо механічну потужність електродвигуна:

$$P_{mx} = 3R_2'' \frac{1-s}{s} I'^2. \quad (9)$$

Визначаємо додаткові втрати активної потужності в електродвигуні:

$$\Delta P_{\text{дод}} = \frac{I'}{I'_n} \Delta P_{\text{дод.н}}, \quad (10)$$

де

$$\Delta P_{\text{дод.н}} = 0,005 \frac{P_{2н}}{\eta_n}. \quad (11)$$

5. Визначаємо втрати активної потужності в механічній системі електродвигуна:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{тр.н}} \left( \frac{1-s}{1-s_n} \right)^2, \quad (12)$$

де

$$\Delta P_{\text{тр.н}} = P_{\text{мх.н}} - P_{2н} - \Delta P_{\text{дод.н}}. \quad (13)$$

6. Визначаємо інші сумарні втрати активної потужності  $P_{\Sigma}$ , використовуючи схему заміщення асинхронного електродвигуна:

$$P_{\Sigma н} = 3(R_1' + R_2'') I'^2 + 3R_1 I_0^2, \quad (14)$$

де

$$I_0 = \frac{\kappa_u U_n}{\sqrt{R_1^2 + (x_1' + x_{\mu})^2}}. \quad (15)$$

7. Визначаємо втрати активної потужності в електродвигуні без урахування втрат в магнітопроводі:

$$\Delta P' = \Delta P_{\Sigma н} + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{дод}}. \quad (16)$$

8. Визначаємо втрати активної потужності в магнітопроводі:

$$\Delta P_{\text{м}} = \kappa_u^2 \Delta P_{\text{м.н}}. \quad (17)$$

9. Визначаємо загальні втрати активної потужності в електродвигуні:

$$\Delta P = \Delta P' + \Delta P_{\text{м}}. \quad (18)$$

10. Визначаємо механічну потужність, яка передається на вал робочій машині:

$$P_2 = P_{mx} - \Delta P_{тр} - \Delta P_{од}. \quad (19)$$

11. Визначаємо коефіцієнт втрат активної потужності:

$$\kappa_n = \frac{\Delta P}{P_2}. \quad (20)$$

За методикою, викладеною вище, проведемо кількісний аналіз коефіцієнта втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні у функції коефіцієнта завантаження робочої машини, з урахуванням рівня живлячої напруги.

Кількісний аналіз проведемо на прикладі електродвигуна типорозміру 4A100S2У3.

Приймаємо значення коефіцієнта прикладеної напруги  $\kappa_u$  в межах від 1,1 до 0,8; значення коефіцієнта завантаження  $\kappa_z$  від 0 до 1,2. Розраховуємо коефіцієнт втрат активної потужності електродвигуна, працюючого з різними типами робочих машин. Результати представляємо графічно (рис. 1-4).

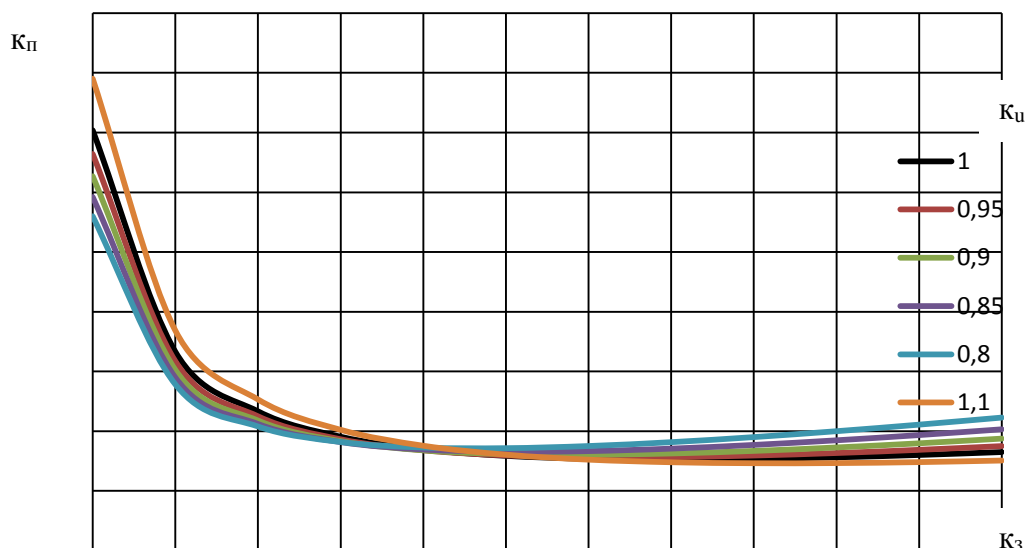


Рис. 1. Залежності коефіцієнта втрат електродвигуна від його завантаження, працюючого в парі з робочою машиною з незалежною від швидкості механічною характеристикою ( $x = 0$ )

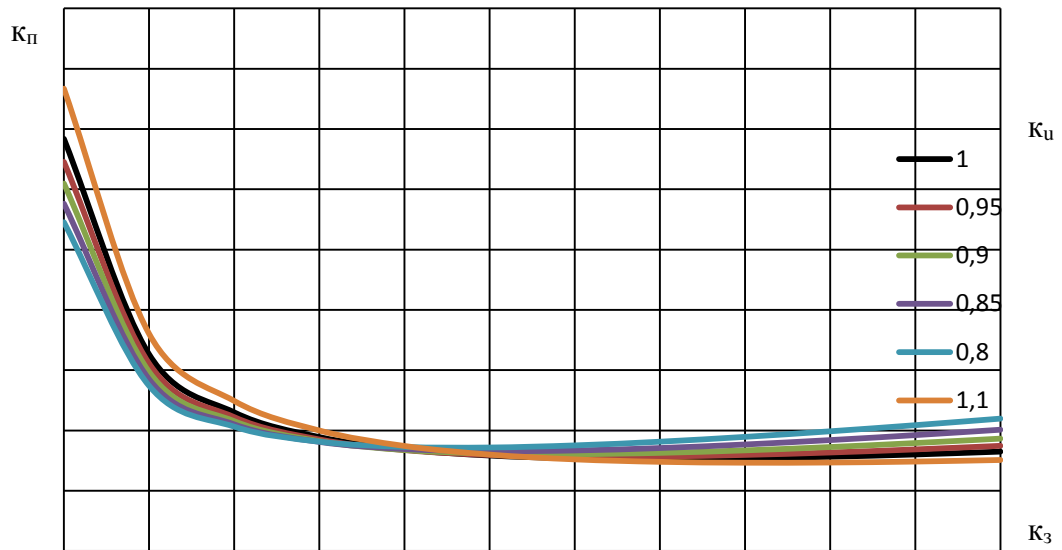


Рис. 2. Залежності коефіцієнта втрат електродвигуна від його завантаження, працюючого в парі з робочою машиною з лінійно-зростаючою механічною характеристикою ( $x = 1$ )

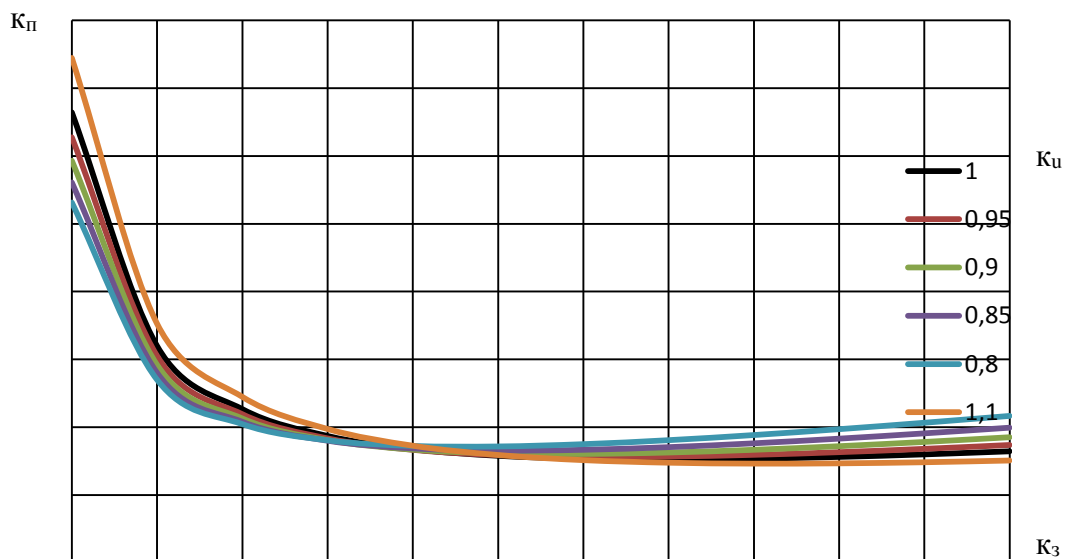


Рис. 3. Залежності коефіцієнта втрат електродвигуна від його завантаження, працюючого в парі з робочою машиною з нелінійно-зростаючою механічною характеристикою ( $x = 2$ )

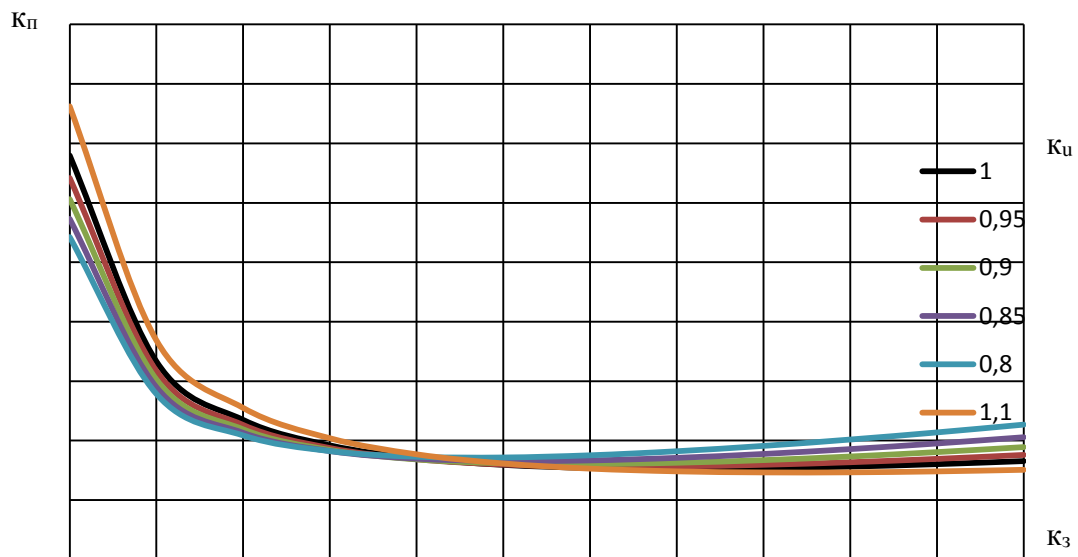


Рис. 4. Залежності коефіцієнта втрат електродвигуна від його завантаження, працюючого в парі з робочою машиною з нелінійно-спадаючою механічною характеристикою ( $x = -1$ )

Аналіз залежностей коефіцієнта втрат активної потужності електродвигуна типорозміру 4A100S2Y3 в залежності від його завантаження показав, що незалежно від типу робочої машини при зниженні напруги на затискачах електродвигуна відбувається зменшення коефіцієнта втрат активної потужності в ньому в діапазоні завантаження до 50%. При завантаженні електродвигуна на 50-70% коефіцієнт втрат є мінімальним при значенні напруги близькому до номінальної, а в діапазоні від 70% і вище коефіцієнт втрат буде зменшуватись при збільшенні напруги живлення.

#### Висновки.

1. Розроблена методика аналітичного дослідження втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором у функції коефіцієнта його завантаження та рівня живлячої напруги.

2. Аналіз отриманої залежності коефіцієнта втрат активної потужності показує, що вона носить нелінійний екстремальний характер і, її використання дозволяє забезпечити енергозберігаючий експлуатаційний режим роботи асинхронного електродвигуна шляхом визначення оптимального рівня живлячої напруги при змінному завантаженні останнього.

#### Література:

1. Овчаров С. В., Стребков А. А. Исследование потерь активной энергии в асинхронном электродвигателе в эксплуатационных условиях // Восточно-Европейский журнал

передовых технологий. 2015. Т. 2, № 8 (74). С. 22-28.

2. *Sun D. S.* Research on Voltage-Chopping and Energy-Saving Controlling Technology for Three-Phase AC Asynchronous Motor // *Advanced Materials Research*. 2012. Vol. 433-440. P. 1033-1037.

3. Optimization of Electric Energy in Three-Phase Induction Motor by Balancing of Torque and Flux Dependent Losses / *N. T. Hung* [et al.] // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2014. P. 497-507. DOI: 10.1007/978-3-642-41968-3\_50.

4. Novel Loss Optimization in Induction Machines with Optimum Rotor Flux Control / *S. Grouni* [et al.] // *International Journal of Systems Control*. 2010. Vol. 1, Is. 4. P. 163-169

5. *Dhaoui M., Sbita L.* A New Method for Losses Minimization in IFOC Induction Motor Drives // *International Journal of Systems Control*. 2010. Vol. 1, is. 2. P. 93-99.

6. *Квитка С. О., Вовк О. Ю., Волошина А. А., Стребков О. А.* Розробка системи забезпечення ресурсоенергозберігаючого експлуатаційного режиму роботи асинхронного електродвигуна // *Енергетика і автоматика*. 2016. № 4. С. 89-97.

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ЗАГРУЗКЕ

Квитка С. А., Вовк А. Ю., Стребков А. А., Волошина А. А.

**Аннотация** – на основании проведенных исследований разработана методика аналитического исследования коэффициента потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе, под которым понимается отношение потерь активной мощности к активной мощности на его валу в функции коэффициента загрузки рабочей машины, а также учтено влияние уровня питающего напряжения.

По принятой методике проведен количественный анализ коэффициента потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе в функции коэффициента загрузки рабочей машины с учетом уровня питающего напряжения. Анализ полученных исследований показал, что независимо от типа рабочей машины при снижении напряжения на зажимах электродвигателя происходит снижение коэффициента потерь активной мощности в нем в диапазоне загрузки до 50%. При загрузке электродвигателя на 50-70% коэффициент потерь минимален при значении напряжения близком к номинальному, а в диапазоне от 70% и выше коэффициент потерь будет



уменьшаться при увеличении питающего напряжения.

Таким образом, использование полученных зависимостей позволяет обеспечить энергосберегающий эксплуатационный режим работы асинхронного электродвигателя путем определения оптимального уровня питающего напряжения при переменной его нагрузке.

## ENERGY SAVING MODES OF INDUCTION MOTORS WITH VARIABLE LOAD

S. Kvitka, O. Vovk, O. Strebkov, A. Voloshina

### *Summary*

Due to the fact that working machines are often equipped with outdated drive motors and start-up protection equipment, and the high cost of equipment modernization does not always allow to provide energy-saving modes of operation, there is an irrational use of electric energy.

To solve the above problem in the article was carried out the study of Electromechanical and thermal processes at variable load asynchronous motors, as well as at different levels of supply voltage.

On the basis of the research the developed methodology the analytical study of the ratio of active power losses in the asynchronous motor, which is defined as the ratio of active power losses the active power on the shaft as a function of the load factor of the working machine, and also takes into account the influence of the level of the supply voltage.

According to the adopted method, a quantitative analysis of the coefficient of loss of active power in the asynchronous motor in the function of the coefficient of loading of the working machine, taking into account the level of supply voltage, is carried out. The analysis of the obtained studies showed that regardless of the type of working machine, when the voltage at the terminals of the electric motor decreases, the coefficient of active power loss in it in the loading range is reduced to 50%. When the electric motor is loaded by 50-70%, the loss coefficient is minimal at a voltage close to the nominal value, and in the range from 70% and above the loss coefficient will decrease with an increase in the supply voltage.

Thus, the use of the obtained dependences makes it possible to provide an energy-saving operating mode of the asynchronous electric motor by determining the optimal level of the supply voltage at its variable load.