

УДК 621.313-57

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО РЕЖИМУ
РОБОТИ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА**

С. О. Квітка, О. Ю. Вовк, кандидати технічних наук

А. А. Волошина, доктор технічних наук

О. А. Стребков, аспірант

Таврійський державний агротехнологічний університет

e-mail: sashko@yandex.ru

Анотація. *Розроблена методика єдиної енергетичної оцінки експлуатаційних режимів роботи асинхронних електродвигунів, на основі якої розроблена система забезпечення ресурсоенергозберігаючого експлуатаційного режиму роботи останніх.*

Ключові слова: *асинхронний електродвигун, теплове зношення ізоляції, енергозбереження, втрати активної потужності*

В Україні існує народногосподарська проблема ресурсоенергозбереження в електродвигунах, які використовуються в агропромисловому комплексі.

Суть проблеми полягає в тому, що експлуатаційна надійність асинхронних електродвигунів в агропромисловому комплексі залишається низькою через велику кількість негативних експлуатаційних впливів. Крім того, при змінному завантаженні робочих машин спостерігається нераціональне споживання електричної енергії приводними електродвигунами [3].

Тому необхідні науково-технічні рішення, як в сфері енергозбереження, так і підвищення експлуатаційної надійності приводних асинхронних електродвигунів.

Втрати електричної енергії в електродвигуні та витрати його ресурсу тісно пов'язані, але оцінка втрат електричної енергії здійснюється в одиницях електричної енергії, а витрати ресурсу ізоляційної конструкції – в одиницях

зношення ізоляції. У результаті важко оцінити в цілому експлуатаційні режими асинхронних електродвигунів.

Тому розробка методики єдиної енергетичної оцінки експлуатаційних режимів роботи асинхронних електродвигунів і на її основі розробка системи забезпечення ресурсоенергозберігаючого експлуатаційного режиму роботи останніх є актуальним завданням.

Мета досліджень – підвищення експлуатаційної надійності асинхронного електродвигуна та зниження питомих втрат активної потужності в ньому.

Матеріали та методика досліджень. Для оцінки втрат електричної енергії в електродвигуні і витрат ресурсу ізоляційної конструкції була розроблена методика єдиної енергетичної оцінки експлуатаційних режимів роботи електродвигунів [2].

При цьому було прийнято, що оскільки при виготовленні обмоток статора асинхронного електродвигуна витрачається значна кількість електричної енергії, витрати ресурсу обмоток електродвигуна можуть бути еквівалентно вираженими в кількості витраченої електричної енергії на виготовлення та монтаж обмоток, віднесеної до одної базової години ресурсу ізоляції, тобто кВт·год/бгод.

Для оцінки експлуатаційного режиму роботи електродвигуна еквівалентно виражається витрата ресурсу в витратах електричної енергії, що складається з втрат активної енергії в електродвигуні та еквівалентними витратами електричної енергії за рахунок теплового зношення ізоляційної конструкції.

Таким чином, оцінка експлуатаційного режиму роботи електродвигуна здійснена єдиним енергетичним показником – еквівалентним коефіцієнтом втрат за наступним алгоритмом.

Вартість обмоток асинхронного електродвигуна визначається так [3]:

$$C_o = m \cdot c_o \cdot k_e, \quad (1)$$

де m – маса трьох обмоток статора асинхронного електродвигуна, кг;

$ц_о$ – ціна обмотувального проводу, грн/кг;

$к_с$ – коефіцієнт виготовлення обмоток статора асинхронного електродвигуна.

Кількість електричної енергії, яка витрачається на виготовлення обмотувального проводу і виготовлення обмоток, визначається так [3]:

$$W_e = \frac{C_o}{ц_e}, \quad (2)$$

де $ц_e$ – ціна електричної енергії, грн/кВт·год.

Питомі витрати електричної енергії на одиницю витрати ресурсу ізоляційної конструкції обмоток статора асинхронного електродвигуна розраховуються за формулою [3]:

$$W_{n.e} = \frac{W_e}{20000}. \quad (3)$$

Усталене перевищення температури ізоляції над температурою навколишнього середовища, у разі представлення електродвигуна як гомогенного тіла, визначається так [3]:

$$\tau_y = \frac{\Delta P}{L}, \quad (4)$$

де ΔP – втрати активної потужності в електродвигуні, Вт;

L – тепловіддача електродвигуна, Вт/°С.

Швидкість теплового зношення ізоляції визначається за формулою [1]:

$$\varepsilon = \varepsilon_n e^{B \left(\frac{1}{\Theta_n} - \frac{1}{\tau_y + \theta_{сер} + 273} \right)}, \quad (5)$$

де ε – поточна швидкість теплового зношення ізоляції, бгод/год;

ε_n – номінальна швидкість теплового зношення ізоляції, бгод /год;

B – параметр класу ізоляції, К;

Θ_n – абсолютна номінальна температура ізоляції, К;

τ_y – усталене перевищення температури ізоляції над температурою навколишнього середовища, °С;

$\theta_{сер}$ – температура навколишнього середовища, °С.

Потужність електричної енергії, яка витрачається на теплове зношення ізоляції, визначається так [3]:

$$P = W_{y.э} \cdot \varepsilon. \quad (6)$$

Еквівалентний коефіцієнт втрат активної потужності в електродвигуні і активної потужності, яка витрачається на теплове зношення ізоляції визначається за формулою [3]:

$$\kappa_{np} = \frac{\Delta P + P}{P_2}. \quad (7)$$

Результати досліджень. На базі розробленої методики енергетичної оцінки експлуатаційного режиму роботи асинхронного електродвигуна проведемо дослідження втрат активної потужності на прикладі електродвигуна типорозміру 4A100S2У3 з такими даними:

$\tau_n=90^\circ\text{C}$, $\varepsilon_n=1\text{бч/ч}$, $V=10200\text{К}$, $\Theta_n=403\text{К}$, $C_0=846$ грн, $c_e=1,5$ грн/кВт·год, $\Delta P_n=624$ Вт, $L=6,93\text{Дж/с}^\circ\text{C}$.

Знайдемо залежність втрат активної потужності в електродвигуні у функції потужності на його валу відповідно до [3].

$$\Delta P = \kappa_n P_2, \quad (8)$$

де κ_n – коефіцієнт відношення втрат активної потужності в електродвигуні до активної потужності на його валу.

Для цього скористаємося залежністю $\kappa_n=f(P_2)$, знайденою в [3] і наведеною на рис. 1 при температурі навколишнього середовища $+40^\circ\text{C}$. Результати наведені в таблиці.

Розрахункові дані для визначення еквівалентного коефіцієнта втрат

$P_2, \text{Вт}$	2500	3000	3500	4000	4500	5000
κ_n	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,2
$\Delta P, \text{Вт}$	360	427	510	624	786	975
$\tau_y, ^\circ\text{C}$	52	62	74	90	113	141
$\varepsilon, \text{бч/ч}$	0,07	0,15	0,37	1	4,06	16,44
$P, \text{Вт}$	12	26	63	170	690	2795
$\Delta P+P, \text{Вт}$	372	453	573	794	1476	3770
κ_{np}	0,14	0,15	0,16	0,2	0,33	0,75

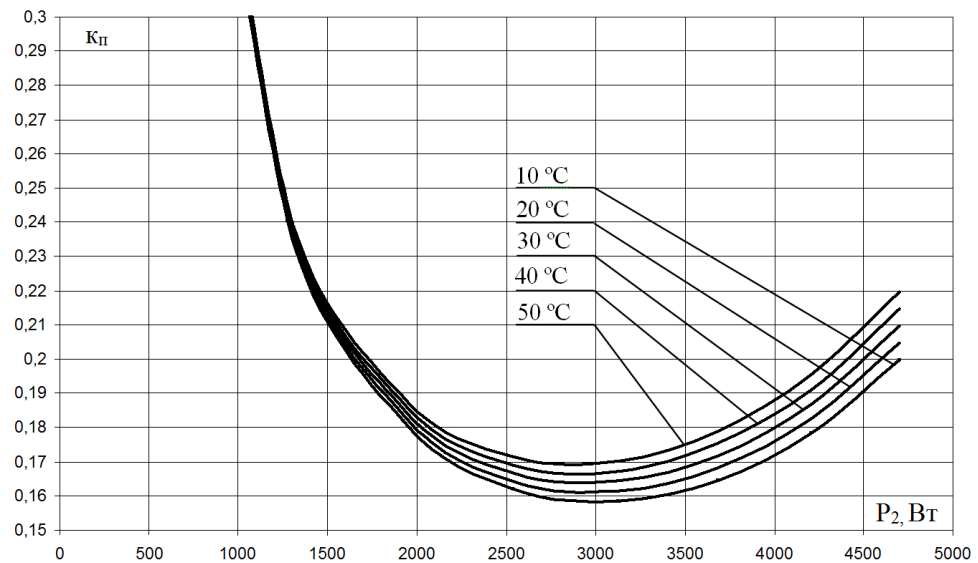


Рис. 1. Залежності коефіцієнта втрат активної потужності k_n у функції активної потужності на валу P_2 при температурах навколишнього середовища: 10 °C, 20 °C, 30 °C, 40 °C, 50 °C

У результаті розрахунків знаходимо залежність коефіцієнта втрат активної потужності в електродвигуні і активної потужності, яка витрачається на теплове зношення ізоляції (рис. 2).

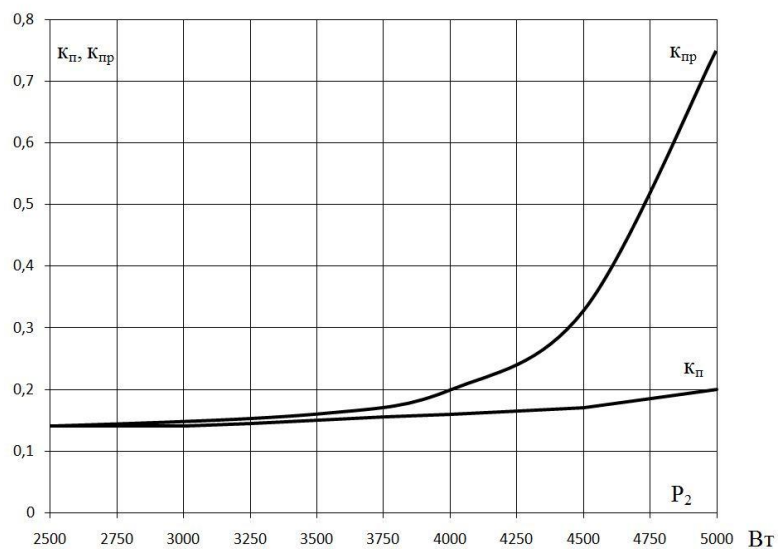


Рис. 2. Залежність коефіцієнтів втрат активної потужності в електродвигуні у функції потужності на валу

Як видно з рис. 2, еквівалентний коефіцієнт втрат $\kappa_{пр}$ суттєво зростає зі збільшенням навантаження електродвигуна і враховує як втрати активної потужності в електродвигуні, так і еквівалентні втрати активної потужності на теплове зношення ізоляції.

В результаті проведених досліджень запропонована математична модель ресурсоенергозберігаючого режиму роботи асинхронного електродвигуна, варіант якої приведений на прикладі приводу робочої машини з лінійно-зростаючою механічною характеристикою.

1. Вимірюється ковзання s .

2. Розраховується коефіцієнт завантаження електродвигуна [1]:

$$\kappa_3 = \frac{\left(\frac{1-s_H}{s_H} - m_0\right)s + m_0 s_H}{1-s}, \quad (9)$$

де s_H – номінальне ковзання електродвигуна;

m_0 – відносний момент зрушення робочої машини.

3. Розраховується ковзання електродвигуна при заданому значенні кратності прикладеної напруги і знайденому значенні коефіцієнта завантаження електродвигуна [1]:

$$s' = \frac{\kappa_3 - m_0 s_H}{\frac{1-s_H}{s_H} \kappa_u^2 + \kappa_3 - m_0}. \quad (10)$$

4. Розраховуються втрати активної потужності в намагнічуючому контурі при заданому значенні кратності прикладеної напруги [1]:

$$\Delta P'_c = \kappa_u^2 \Delta P_{сн}, \quad (11)$$

де $\Delta P_{сн}$ – номінальні втрати активної потужності в намагнічуючому контурі, Вт.

5. Розраховуються втрати активної потужності в обмотках електродвигуна [1]:

$$\Delta P'_m = 3(R_1' + R_2'') \frac{\kappa_u^2 U_H^2}{(R_1' + R_2'' / s')^2 + (x_1' + x_2'')^2}, \quad (12)$$

де R_1', R_2'', x_1', x_2'' – параметри схеми заміщення однієї фази асинхронного електродвигуна, Ом.

6. Розраховуються загальні втрати активної потужності [1]:

$$\Delta P' = \Delta P_c' + \Delta P_m'. \quad (13)$$

7. Розраховується усталене перевищення температури ізоляції над температурою навколишнього середовища [1]:

$$\tau_y = \frac{\Delta P'}{L}. \quad (14)$$

8. Розраховується швидкість теплового зношення ізоляції [1]:

$$\varepsilon = \varepsilon_n e^{B \left(\frac{1}{\Theta_n} - \frac{1}{\tau_y + \vartheta_{сер} + 273} \right)}. \quad (15)$$

9. Розраховуються еквівалентні втрати на теплове зношення ізоляції [3]:

$$P = W_{y.э} \cdot \varepsilon. \quad (16)$$

10. Розраховується еквівалентний коефіцієнт втрат активної потужності в електродвигуні [3]:

$$\kappa_{np} = \frac{\Delta P + P}{P_2}. \quad (17)$$

11. Визначається значення кратності напруги κ_u з умови мінімального еквівалентного коефіцієнта втрат.

Ця математична модель реалізована в структурній схемі системи забезпечення ресурсоенергозберігаючого експлуатаційного режиму роботи асинхронного електродвигуна (рис. 4), яка працює так.

Мікропроцесорна система отримує сигнали від електродвигуна і аналізує режим його роботи по запропонованому алгоритму, після чого змінює величину підведеної до електродвигуна напруги до оптимального значення, забезпечуючи ресурсоенергозберігаючий режим роботи асинхронного електродвигуна, тобто знижуючи питомі втрати електричної енергії.

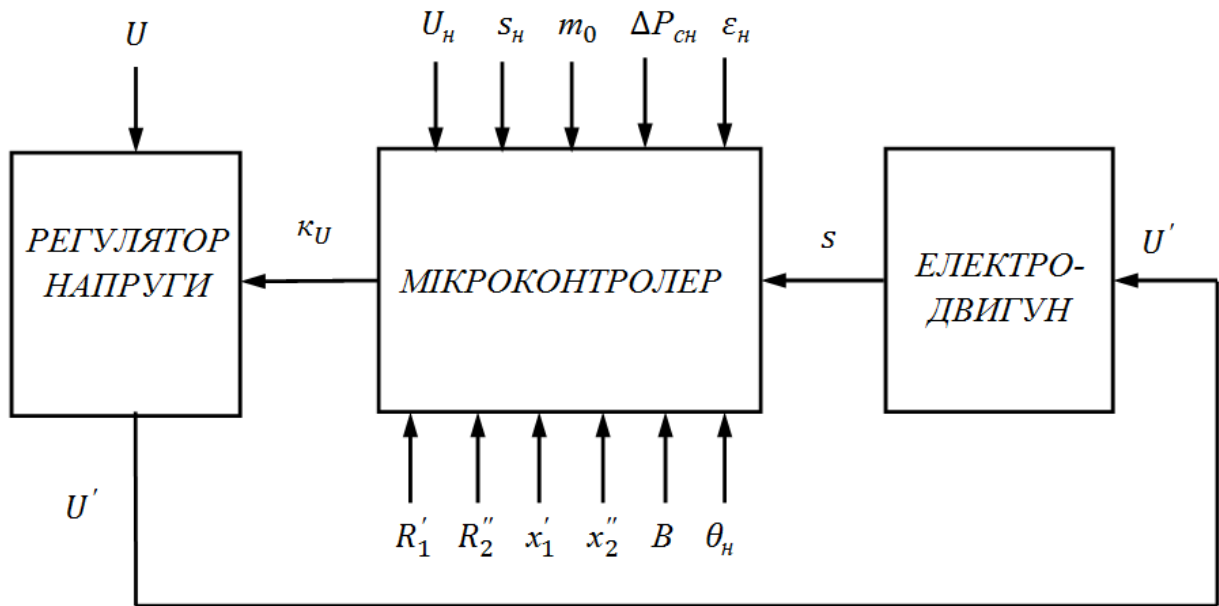


Рис. 4. Структурна схема системи забезпечення ресурсоенергозберігаючого експлуатаційного режиму роботи асинхронного електродвигуна

Висновки

Розроблена система забезпечення ресурсоенергозберігаючого експлуатаційного режиму роботи асинхронного електродвигуна дозволяє знизити втрати активної потужності при неповному завантаженні робочої машини. Так, наприклад, при коефіцієнті завантаження робочої машини $\kappa_3=0,9$, зменшуючи кратність підведеної напруги до 0,8, втрати активної потужності в електродвигуні зменшуються на 38%.

Список літератури

1. Овчаров В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / В. В. Овчаров. – Киев: УСХА, 1990. – 168 с.
2. Овчаров С. В. Исследование потерь активной энергии в асинхронном электродвигателе в эксплуатационных условиях / С. В. Овчаров, А. А. Стребков

// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 2, № 8(74). – С. 22-28.

3. Овчаров С. В. Разработка методики энергетической оценки эксплуатационных режимов работы силового электрооборудования / С. В. Овчаров, А. А. Стребков // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – Т. 1, № 3(23). – С. 21-26.

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
РЕСУРСОЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО
РЕЖИМА РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

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

Аннотация. *Разработана методика единой энергетической оценки эксплуатационных режимов работы асинхронных электродвигателей, на основании которой разработана система обеспечения ресурсоэнергосберегающего режима работы последних.*

Ключевые слова: *асинхронный электродвигатель, тепловой износ изоляции, энергосбережение, потери активной мощности*

**DEVELOPMENT OF THE SYSTEM TO ENSURE RESOURCE-EFFICIENT
OPERATING MODE OF THE ASYNCHRONOUS MOTOR**

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

Annotation. *The method of the unified energy performance assessment modes asynchronous motor and on its basis a system to ensure resources and energy saving mode are developed.*

Keywords: *asynchronous motor, wear thermal insulation, wear thermal insulation, energy saving, power losses*