

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЗА ІНТЕГРАЛЬНИМ ПОКАЗНИКОМ

Сотнік О. В., Сорокін М. С., Величко І. А.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

*Наведено метод оцінки надійності роботи асинхронного двигуна за інтегральним показником, що враховує умови експлуатації асинхронного двигуна.*

**Постановка проблеми.** Довготривала та надійна робота електрообладнання на виробництві та у сільському господарстві визначає ефективність всіх технологічних циклів. Головну роль при цьому відіграють електричні двигуни (ЕД). Це пов'язано з тим, що вихід з ладу ЕД призводить до порушення технологічних циклів, витрат на ремонт та заміну двигуна. А також це відбивається на зменшенні кількості та збільшенні собівартості сільгосппродукції. Найбільш поширені у сільськогосподарському виробництві є асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором.

Особливості роботи асинхронних двигунів в умовах сільськогосподарського виробництва (режими роботи ЕД, наявність аварійних ситуацій, вібрація, вологість, агресивне середовище тощо) знижують надійність роботи двигунів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Термін роботи електродвигунів (ЕД) до першого капітального ремонту у середньому у промисловості складає 5 років (в залежності від умов експлуатації та ще ряду причин). У сільськогосподарському виробництві це значення складає – 2-3 роки. У більшості випадків відмови двигунів виникають через пошкодження обмоток статора - 85-95 %, 2-5 % - відмови через пошкодження підшипників. Тому особливу увагу слід приділяти стану обмотки.

**Мета статті.** Проаналізувати метод діагностики асинхронних двигунів, що працюють в умовах сільськогосподарського виробництва за інтегральним показником.

**Основні матеріали досліджень.** Термін служби ЕД безпосередньо пов'язаний з їх надійністю і режимом експлуатації, перед усім їх завантаженням. У значній мірі це стосується обмотки, яку треба розглядати як центральну частину електричної машини. Відповідно закону Монтзінгера термін служби обмотки при підвищенні температури на  $10^{\circ}\text{C}$  знижується на половину. Тобто не останнє місце займає стан ізоляції обмотки [1, 2]:

$$T_{p_{сер}} = T_{p_o} e^{-\ln 2 \frac{\theta}{\Delta\theta}}, \quad (1)$$

де  $T_{p_{сер}}$  - середній ресурс ЕД;

$T_{p_o}$  - початковий ресурс ізоляційного матеріалу;

$\theta$  - температура, що відповідає класу ізоляції,

$\Delta\theta$  - приріст температури, при якому відбувається скорочення терміну служби в два рази.

Можливість використання рівняння (1) для визначення експлуатаційної надійності ЕД підтверджується результатами випробувань, проведеними різними дослідниками. Правило восьми - десяти градусів внаслідок своєї простоти знаходить практичне застосування та дозволяє робити досить умовні розрахунки. Недоліком рівняння (1) є його емпіричний і формальний характер, що не дозволяє отримувати достовірних результатів. Неврахування умов експлуатації при використанні виразу (1) може призвести до помилкових висновків. Окремі автори пропонували підняти термін служби і відповідний йому ресурс ЕД за рахунок зниження робочої температури на  $10^{\circ}\text{C}$ , інші робили висновок про необхідність захисту асинхронних двигунів тільки при значеннях струмів більш ніж 1,41 від номінального. Однак, зниження робочої температури на  $10^{\circ}\text{C}$  в умовах експлуатації не призводило до збільшення терміну служби. На щастя, пропозиція про збільшення робочого струму двигуна в 1,41 рази не було прийнято, що призвело б до більш серйозних наслідків. На підставі аналізу зроблено висновок, що на інтенсивність старіння ізоляції впливає не тільки перевищення температури, а й умови експлуатації. Показник ступеня руйнування ізоляції,  $\Delta\theta_n = 10^{\circ}\text{C}$  застосовується лише для умов експлуатації, в яких ресурс ЕД складає 20000 годин. Величину, що характеризує ступінь відмінності умов експлуатації, що задані технічними параметрами ЕД від реальних, пропонується характеризувати інтегральним показником [3]:

$$K = \frac{\Delta\theta}{\Delta\theta_n}, \quad (2)$$

Вираз (1) з урахуванням (2) набуває вигляду

$$T_{p_{сер}} = T_{p_o} e^{-\ln 2 \frac{\theta}{\Delta\theta_n K}}, \quad (3)$$

Вирішивши вираз (3) щодо величини  $K$ , отримуємо:

$$K = \frac{-\ln 2 \cdot \theta}{(\ln T_{p_{сер}} - \ln T_{p_o}) \cdot \Delta\theta_n}, \quad (4)$$

Дослідження реальних технологічних процесів за допомогою виразу (4), що визначає величину  $K$ , вихо-

дячи з середнього ресурсу і типу ЕД, дозволило отримати діапазон його зміни від - 0,6 до 1,2. Якщо умови експлуатації характеризуються  $K = 0,6$ , то ресурс ЕД становить 150 годин; якщо  $K = 1,2$  - він перевищить номінальне значення (20000 годин). Зі збільшенням інтегрального показника умов експлуатації зростає ресурс ЕД. Таким чином, інтегральний показник є узагальненою кількісною характеристикою ресурсу, що дозволяє давати рекомендації по його збільшенню. Одним із заходів по збільшенню ресурсу може бути обмеження максимальною можливою температурою, яка залежить від інтегрального показника. Якщо  $K = 1,1$  - допустимі тривалі перевантаження до 140% від номінального значення, а при  $K = 0,6$  навіть повне розвантаження двигуна не призводить до помітного збільшення його ресурсу. Іншим способом є збільшення початкового ресурсу, що забезпечується застосуванням ізоляційних матеріалів з більш високим класом нагрівостійкості. У разі, якщо значення  $K$  перевищує одиницю, можна застосувати ізоляцію з більш низьким класом нагрівостійкості, а при  $K = 0,6$  - забезпечити нормативний ресурс неможливо навіть при класі нагрівостійкості "Н". Найбільш ефективним заходом, що підвищує експлуатаційну надійність ЕД, на нашу думку, є усунення причин відмов. Відомо, що надійність ЕД може бути описана законом Вейбулла, окремим випадком якого є експоненціальний розподіл. Ймовірність безвідмовної роботи за час  $t$  за сукупністю причин відмов, виявлених в результаті дефекації, двигунів, що вийшли з ладу, описується як добуток ймовірностей, так як відмови є незалежними подіями:

$$P(t) = e^{-\lambda_0 t^\alpha} = \prod_{i=1}^n P_i(t) = \prod_{i=1}^n [1 - Q_i(t)], \quad (5)$$

де  $\lambda_0, \alpha$  - параметри закону розподілу,

$Q_i(t)$  - ймовірність відмови ЕД по  $i$  - тій причині.

Коефіцієнт, що характеризує ступінь впливу причин відмов на ресурс ЕД може бути отриманий з виразу:

$$k_i = \frac{1}{\alpha} \left( \ln \left( -\ln \left( \prod_{i=1}^n P_i(t) \right) \right) \right) = \frac{1}{\alpha} \left( \ln \left( -\ln \left( \prod_{i=1}^n (1 - Q_i(t)) \right) \right) \right), \quad (6)$$

Рішення цього рівняння після відповідних перетворень:

$$K_i = -\frac{t^{1-\alpha}}{\alpha(1-Q_i(t)) \cdot \lambda_n}, \quad (7)$$

Величина  $K$  залежить від параметрів закону розподілу і від ймовірності відмови з цієї причини, яка може приймати значення від 0 до 1.

Інтегральний показник умов експлуатації може бути отриманий з виразу [3]:

$$K = -\frac{-\ln 2 \frac{\theta}{\Delta \theta_n}}{\frac{1}{\alpha} \ln \left( \ln \frac{t^{1-\alpha}}{\alpha K_i \lambda_0} \right) - \ln T_{p_0} - \frac{1}{\alpha} \ln(\lambda_0 Q_i(t))}, \quad (8)$$

Отримавши з (8) значення  $K$ , при усуненні різних негативних факторів експлуатації за допомогою вибору відповідних заходів, можна прогнозувати ресурс ЕД.

**Висновки.** Результати аналітичних досліджень і дані різних авторів дозволили встановити, що основною причиною відмов асинхронних двигунів є пошкодження обмотки. Правильно підібраний і належним чином налаштований захист здатний значно покращити експлуатаційну надійність асинхронних двигунів.

#### Список використаних джерел

1. Жерве Г. К. Промышленные испытания электрических машин. [4-е изд., сокр. и перераб.] – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
2. Балахонов А. М. Методы и средства диагностики технического состояния электрифицированных машин сельскохозяйственного производства: дис. канд. техн. наук: 05.20.02 "Электрификация сельскохозяйственного производства" / А. М. Балахонов. – М.: МИИСХ им. Горячкина, 1989. – 220 с.
3. Медведев А. А., Суворов С. А., Максимов В. М. Влияние условий окружающей среды на эксплуатационную надежность асинхронных двигателей. // Тр. академии / РИАМА - М., 2000. – Вып. 2. - С.252-254.

#### Аннотация

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ПО ИНТЕГРАЛЬНОМУ ПОКАЗАТЕЛЮ

Сотник О. В., Сорокин М. С., Величко И. А.

Приведен метод оценки надежности работы асинхронного двигателя по интегральному показателю, что учитывает условия эксплуатации асинхронного двигателя.

#### Abstract

### RESEARCHING METHOD OF IMPROVING RELIABILITY IN OPERATION OF ASYNCHRONOUS MOTORS IN AGRICULTURAL PRODUCTION BY INTEGRATED INDICATOR

O. Sotnik, M. Sorokin, I. Velychko

The method for estimating the reliability of an asynchronous motor by integrated parameter, which takes account into the conditions of the asynchronous motor.