

**ДІАГНОСТУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ  
І ЗАХИСТ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ЗА ТЕМПЕРАТУРОЮ СТАЛІ  
ТА КРАТНІСТЮ СИЛИ СТРУМУ**

**ОВЧАРОВ В.В., доктор технічних наук, професор,  
РИЖКОВ А.О., аспірант**

*Робота присвячена дослідженню способу діагностування експлуатаційних режимів роботи та захисту асинхронних двигунів за температурою сталі та кратністю сили струму.*

*Експлуатаційний режим, температура обмотки, температура сталі, швидкість теплового зносу ізоляції, діагностування, захист.*

Щорічний вихід з ладу асинхронних двигунів в АПК України становить 10 – 25%, що призводить до незапланованих витрат пов'язаних з раптовою зупинкою технологічного обладнання та ремонтом асинхронних двигунів [1, 2]. Причиною є недостатній рівень експлуатації асинхронних двигунів, зокрема – недосконалість контролю, діагностування та захисту двигунів. Одним із шляхів вирішення цієї народногосподарської проблеми є підвищення рівня експлуатації шляхом об'єктивного безперервного контролю, діагностування та надійного захисту асинхронних електродвигунів.

Ізоляція обмотки асинхронних двигунів є самим вразливим елементом її конструкції, тому надійність асинхронного двигуна в основному визначається надійністю ізоляції.

Підчас експлуатації двигуни в умовах сільськогосподарського виробництва зазнають ряду експлуатаційних впливів, результатом яких є погіршення теплового

стану двигуна. Відомо, що в загальному зношенні ізоляції визначальним є саме тепловий знос [2].

Швидкість теплового зносу ізоляції, як об'єктивний параметр функціонального діагностування режиму роботи асинхронного двигуна, визначається за виразом [2]

$$\varepsilon = e^{B\left(\frac{1}{\Theta_H} - \frac{1}{\Theta}\right)}, \quad (1)$$

де  $B$  – параметр, що характеризує клас ізоляції асинхронного двигуна для різних ізоляційних матеріалів, К;

$\Theta_H$  – абсолютна температура фазної обмотки асинхронного двигуна при номінальному навантаженні на валу для цього класу ізоляції та номінальних умовах навколишнього середовища, К;

$\Theta$  – абсолютна температура фазної обмотки асинхронного двигуна, К.

Отже, швидкість теплового зносу ізоляції знаходиться в функціональній залежності від температури обмотки електродвигуна.

Відомо багато пристроїв діагностування режимів роботи та захисту, що оцінюють температуру обмотки за спожитим електричною машиною струмом або безпосередньо вимірюють її за допомогою вмонтованих термоіндикаторів [1]. В першому випадку безперечною перевагою є простота підключення приладу діагностування, але дійсна температура обмотки, обумовлена зміною умов охолодження, напруги живлення або механічних втрат, може бути не врахована. Подібні недоліки відсутні в пристроях другого типу, проте труднощі встановлення термоіндикаторів в обмотку двигуна перешкоджають широкому застосуванню цього способу.

**Формулювання цілей статті.** Забезпечити легкість установки з достатнім рівнем контролю дійсної температури обмотки може спосіб діагностування за температурою сталі. Так як між температурами обмотки та сталі двигуна існує

досить суттєвий перепад, то в зазначеному способі діагностування необхідним також є контроль фазних струмів асинхронного двигуна.

Таким чином, метою статті є обґрунтування способу діагностування експлуатаційних режимів роботи асинхронних двигунів за температурою сталі та кратністю сили струму.

**Результати досліджень.** Розглянемо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором з точки зору його нагріву як систему трьох тіл – обмотки, ротора та сталі (рис. 1) [3].

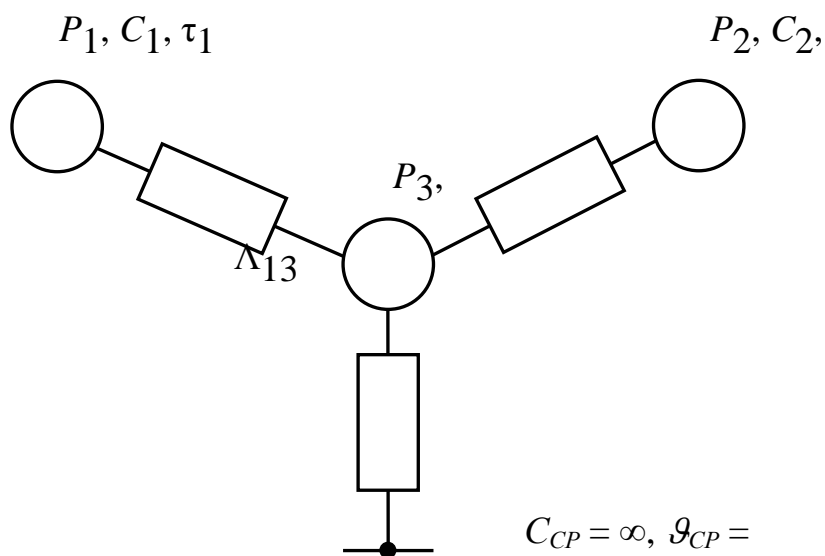


Рис. 1. Теплова схема заміщення асинхронного двигуна як системи трьох тіл

Тіла 1, 2 і 3 (обмотка статора, ротор та сталь) мають теплоємність відповідно  $C_1, C_2, C_3$ ; пов'язані між собою тепловими провідностями  $\Lambda_{13}, \Lambda_{23}$ ; з навколишнім середовищем тіло 3 пов'язано тепловою провідністю  $\Lambda_3$ ; теплоємність навколишнього середовища  $C_{CP}$  прийнята рівною безкінечності; втрати активної потужності, що виділяють в тілах відповідно  $P_1, P_2, P_3$ . Передбачається, що теплоємності та теплові провідності практично не залежать від температури; температура навколишнього середовища  $\vartheta_{CP}$  прийнята постійною.

Перевищення температури обмотки, ротора та сталі складаються з трьох парціальних складових та визначаються за виразами

$$\left. \begin{aligned} \tau_1(t) &= \tau'_{1Y} \left(1 - e^{-\frac{t}{T'}}\right) + \tau''_{1Y} \left(1 - e^{-\frac{t}{T''}}\right) + \tau'''_{1Y} \left(1 - e^{-\frac{t}{T'''}}\right) + \tau'_{10} e^{-\frac{t}{T'}} + \tau''_{10} e^{-\frac{t}{T''}} + \tau'''_{10} e^{-\frac{t}{T''''}} \\ \tau_2(t) &= \tau'_{2Y} \left(1 - e^{-\frac{t}{T'}}\right) + \tau''_{2Y} \left(1 - e^{-\frac{t}{T''}}\right) + \tau'''_{2Y} \left(1 - e^{-\frac{t}{T'''}}\right) + \tau'_{20} e^{-\frac{t}{T'}} + \tau''_{20} e^{-\frac{t}{T''}} + \tau'''_{20} e^{-\frac{t}{T''''}} \\ \tau_3(t) &= \tau'_{3Y} \left(1 - e^{-\frac{t}{T'}}\right) + \tau''_{3Y} \left(1 - e^{-\frac{t}{T''}}\right) + \tau'''_{3Y} \left(1 - e^{-\frac{t}{T'''}}\right) + \tau'_{30} e^{-\frac{t}{T'}} + \tau''_{30} e^{-\frac{t}{T''}} + \tau'''_{30} e^{-\frac{t}{T''''}} \end{aligned} \right\} (2)$$

де  $\tau'_{1Y}, \tau''_{1Y}, \tau'''_{1Y}, \tau'_{2Y}, \tau''_{2Y}, \tau'''_{2Y}, \tau'_{3Y}, \tau''_{3Y}, \tau'''_{3Y}$  – парціальні складові усталених перевищень температури обмотки, ротора та сталі, відповідно, °С;  
 $\tau'_{10}, \tau''_{10}, \tau'''_{10}, \tau'_{20}, \tau''_{20}, \tau'''_{20}, \tau'_{30}, \tau''_{30}, \tau'''_{30}$  – парціальні складові початкових перевищень температури обмотки, ротора та сталі, відповідно, °С;  
 $T', T'', T'''$  – постійні часу парціальних складових, с.

В роботі [3] показано, що усталені перевищення температури залежать від теплових провідностей двигуна та втрат активної потужності у відповідних вузлах двигуна. В свою чергу, втрати потужності можуть бути визначені в функції кратності сили струму обмотки статора асинхронного двигуна. Постійні часу парціальних складових знаходяться в функціональній залежності від теплових провідностей, теплоємностей вузлів та втрат потужності в обмотці статора двигуна.

Розглянемо графічні залежності перевищень температури обмотки та сталі в тривалому режимі починаючи з холодного стану (рис. 2).

Отримані залежності дозволяють визначити перепад температур між обмоткою та сталлю в будь-який момент теплового перехідного процесу

$$\Delta\tau_{13} = \tau_1(t) - \tau_3(t). \quad (3)$$

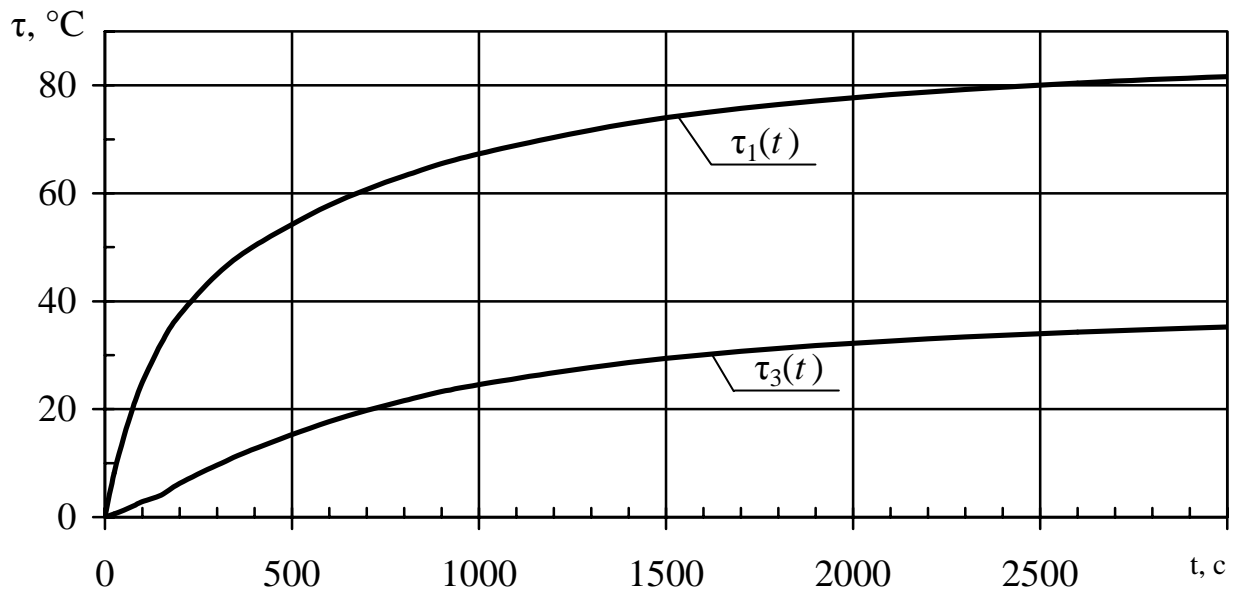


Рис. 2. Залежність перевищень температури обмотки та сталі асинхронного двигуна 4A90L4Y3 в часі при номінальному навантаженні.

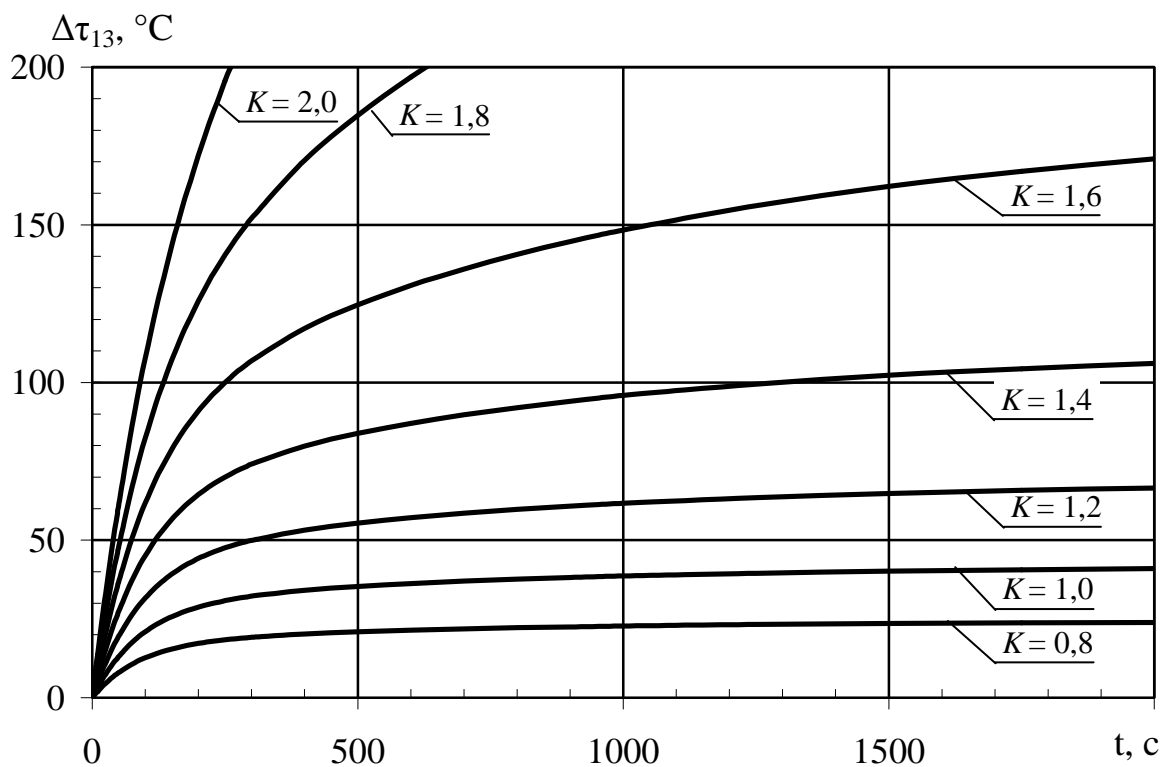


Рис. 3. Залежність  $\Delta\tau_{13} = f(K, t)$  для асинхронного двигуна 4A90L4Y3 при нульових початкових умовах.

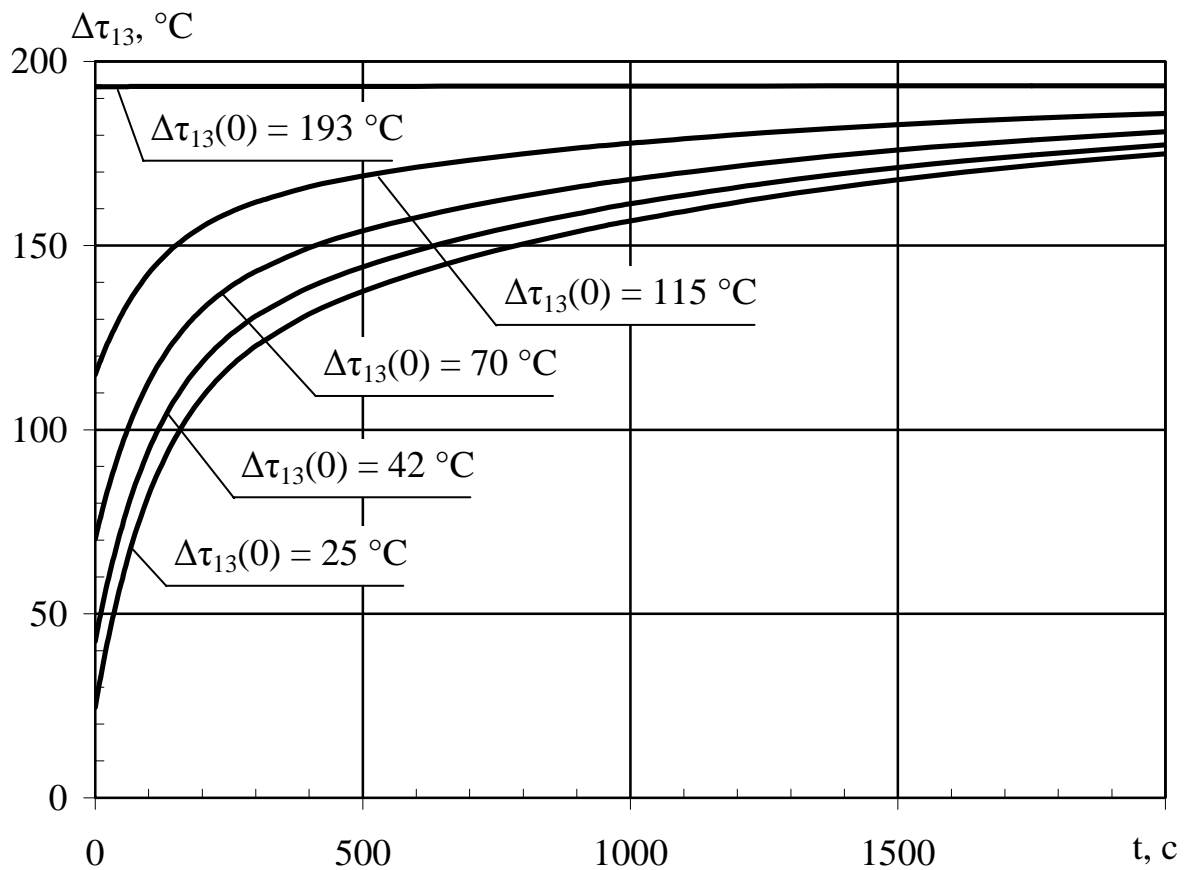


Рис. 4. Залежність  $\Delta\tau_{13} = f(\Delta\tau_{13}(0), t)$  для асинхронного двигуна 4A90L4У3 при навантаженні  $K = 1,6$ .

Розрахунок перевищень температури обмотки  $\tau_1(t)$  та сталі  $\tau_3(t)$  виконується на основі пасивних параметрів теплової схем заміщення та кратності завантаження двигуна за струмом. З системи рівнянь (2) також видно, що перевищення температури вузлів залежать від початкових умов – перевищень температури в момент часу  $t = 0$ . Представимо графічні залежності  $\Delta\tau_{13}$  в функції часу, кратності завантаження двигуна та початкових умов (рис. 3, 4).

Аналіз графічних залежностей показує, що зі збільшенням кратності перевантаження двигуна за струмом в межах 1 – 1,4 перепад температур між обмоткою та сталлю змінюється в межах 42 – 115 °C. З характеру перехідного теплового процесу обмотки та сталі (рис. 3) також видно, що обмотка може досягти номінального значення температури раніше за сталь, так як нагрів останньої відбувається з запізненням. Тому сигнал про ненормальний хід теплового процесу

за температурою сталі надійде з запізненням, в результаті чого буде спостерігатись підвищений тепловий знос ізоляції внаслідок перегріву обмотки над номінальним значенням.

Ліквідувати зазначене негативне явище дозволяє одночасний контроль й кратності сили струму. В цьому випадку контроль ведеться не за абсолютним значенням температури сталі, а за розрахунковим перевищенням температури обмотки, яке складається зі значення перевищення температури сталі  $\tau_{зв}$ , що вимірюється пристроєм діагностування, та перепадом температур  $\Delta\tau_{13}$ , визначеним на підставі кратності сили струму двигуна та його попереднього теплового стану.

$$\tau_1 = \tau_{зв} + \Delta\tau_{13}. \quad (4)$$

В практиці експлуатації сільськогосподарських приводів найбільш поширеним є режим роботи двигуна з навантаженням, що постійно змінюється. В такому разі тепловий стан обмотки та сталі двигуна визначається дискретно за середньоквадратичним значенням кратності навантаження двигуна. Дослідження показали, що оптимальна дискретність вимірювання зменшується при збільшенні швидкості зміни навантаження.

Таким чином, температура сталі разом з кратністю сили струму статора асинхронного двигуна може слугувати діагностичним параметром теплового процесу при перевантаженні за струмом.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Соркин Д. М. Асинхронные электродвигатели 0,4 кВ. Аварийные режимы работы // Новости электротехники. – 2005. – №2(32). – С. 36 – 38
2. Овчаров В.В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. – Киев: Изд-во УСХА, 1990. – 168 с.

3. Рижков А.О. Дослідження залежності між температурою обмотки та температурою сталі і кратністю сили струму асинхронного двигуна // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. Харків: ХНТУСГ, 2006. - с. 171 – 175

***Диагностирование эксплуатационных режимов работы и защита асинхронного двигателя по температуре стали и кратности силы тока***

*В.В. Овчаров, А.А. Рыжков*

*Работа посвящена исследованию способа диагностирования эксплуатационных режимов работы и защиты асинхронного двигателя по температуре стали и кратности силы тока.*

***Эксплуатационный режим, температура обмотки, температура стали, скорость теплового износа изоляции, диагностирование, защита.***

***Operational modes diagnostics of asynchronous motor on steel temperature and current rate***

*V. Ovcharov, A. Ryzhkov*

*The article is devoted to the research of method of operational modes diagnostics of asynchronous motor on steel temperature and current rate.*

***Operational mode, winding temperature, steel temperature, speed of isolation thermal deterioration, diagnostics, protection.***