

**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Рижков Андрій Олександрович

УДК 621.313.333.3:681.518.5

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО
ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ АСИНХРОННИХ
ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ**

05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Мелітополь – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Таврійському державному агротехнологічному університеті Міністерства аграрної політики України.

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор **Овчаров Володимир Васильович**, Таврійський державний агротехнологічний університет, завідувач кафедри теоретичної і загальної електротехніки.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Шинкаренко Василь Федорович**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», завідувач кафедри електромеханіки;

кандидат технічних наук, доцент **Катюха Анатолій Андрійович**, Таврійський державний агротехнологічний університет, завідувач кафедри автоматизованого електроприводу.

Захист відбудеться 16 травня 2008 року о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 18.819.01 в Таврійському державному агротехнологічному університеті за адресою: 72312, м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Таврійського державного агротехнологічного університету за адресою: 72312, м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18.

Автореферат розісланий 7 квітня 2008 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.Т. Діордієв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Досвід експлуатації електрообладнання в агропромисловому комплексі свідчить про те, що аварійність основного елементу електроприводу – трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором – значна, що наносить виробництву додаткові збитки. Щорічно виходять з ладу 20 – 25 % наявного парку електродвигунів. Однією з причин такого стану є експлуатаційні умови роботи електродвигунів, до яких відносяться неприпустимі відхилення від номінального значення напруги, несиметрія напруги, перевантаження електродвигунів та інші.

Існуючі способи діагностування та захисту асинхронних електродвигунів не забезпечують достатню їх експлуатаційну надійність або пов'язані з конструктивними труднощами. Тому дослідження, які спрямовані на подальший аналіз режимів роботи асинхронних електродвигунів, розробку методів та технічних засобів їх діагностування і захисту, є актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до плану науково-дослідної роботи Таврійської державної агротехнічної академії на 2002 – 2007 роки за науково-технічною програмою № 1 «Розробка наукових систем технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України» (державний реєстраційний номер 0102U000678); за підпрограмою 1.10. «Розробка методів і засобів технічного сервісу електрообладнання і ресурсоенергозбереження»; за напрямом 1.10.6. «Розробка методів і технічних засобів діагностування експлуатаційних режимів роботи асинхронних електродвигунів».

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення експлуатаційних показників асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором шляхом безперервного контролю та діагностування їх режимів роботи і захисту на базі математичної моделі теплових процесів асинхронних електродвигунів.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні задачі дослідження:

1. Дослідити теплові процеси в асинхронному електродвигуні як гетерогенному тілі під дією експлуатаційних впливів.
2. Обґрунтувати параметри функціонального діагностування асинхронного електродвигуна на базі математичної моделі теплових процесів.
3. Експериментально перевірити адекватність моделі функціонального діагностування асинхронного електродвигуна.
4. Розробити пристрій функціонального діагностування і захисту асинхронного електродвигуна.

Об'єкт дослідження – теплові процеси в асинхронному електродвигуні під дією експлуатаційних впливів.

Предмет дослідження – закономірності теплових процесів в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором при аномальних режимах роботи.

Методи досліджень. Процеси нагріву асинхронного електродвигуна досліджувались за допомогою методу еквівалентних теплових схем, класичного методу розв’язання диференціальних рівнянь. Вимірювання температур вузлів асинхронного електродвигуна при експериментальних дослідженнях виконувалось прямим методом за допомогою термоіндикаторів, методом опорів та непрямим методом визначення перевищення температури ротора електродвигуна. Розрахунок теоретичних залежностей та обробка результатів експериментальних досліджень виконувалась з використанням пакету програм наукових обчислень «SciLab».

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Отримала подальший розвиток теорія взаємопов’язаного теплового стану асинхронного електродвигуна як гетерогенного тіла, яка дає можливість визначити тепловий стан обмотки в функції теплового стану сталі та навантаження електродвигуна.

2. Вперше на базі дослідів холостого ходу отримані залежності для визначення параметрів теплової схеми асинхронного електродвигуна.

3. Обґрунтовано параметри функціонального діагностування теплових процесів асинхронного електродвигуна при аномальних режимах роботи, які покладаються в основу створення системи діагностування.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Розроблена мікропроцесорна система функціонального діагностування і захисту асинхронного електродвигуна.

2. Розроблено пристрій функціонального діагностування і захисту асинхронного електродвигуна.

3. Розроблена методика практичного визначення параметрів діагностичної моделі.

Особистий внесок здобувача. У наукових працях, які написані у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в:

– розробці структурної схеми пристрою функціонального діагностування асинхронного електродвигуна та технічних вимог до його реалізації [1];

– проведенні аналізу теплових процесів в обмотці та сталі асинхронного електродвигуна, отриманні залежності температури обмотки в функції температури сталі та кратності сили струму [3];

– розробці методики визначення втрат активної потужності в обмотці, роторі та сталі асинхронного електродвигуна в функції кратності сили струму статора [5].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи представлені і схвалені на міжнародній науково-практичній

конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (м. Харків, 2006 р.); міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Аграрний форум – 2007» (м. Суми, 2007 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика» (АР Крим, с.м.т. Миколаївка, 2007 р.); наукових конференціях професорсько-викладацького складу й аспірантів Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь, 2003 – 2007 р.); розширеному засіданні кафедри теплотехніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків, 2008 р.).

Публікації. Результати дисертації опубліковані в 6 статтях у наукових фахових виданнях у період з 2005 року по 2007 рік.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 129 сторінках основного тексту, ілюстрована 38 рисунками і складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 170 найменувань та 8 додатків на 46 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ВСТУП

Обґрунтовано актуальність обраної теми досліджень, її новизна та практична цінність для виробництва, показано підстави і вихідні дані для розробки теми, необхідність проведення запланованих досліджень, наведено загальну характеристику роботи.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглянуто і проаналізовано умови експлуатації асинхронних електродвигунів в агропромисловому комплексі. Розкрито причини ушкоджень електродвигунів.

Наведена характеристика теплових обмежень в асинхронних електродвигунах. Зазначено, що питання нагрівостійкості електричних машин в першу чергу пов'язані з процесами інтенсивного старіння ізоляції під впливом підвищених температур.

Зроблено аналіз існуючих методів аналізу теплових процесів в асинхронних електродвигунах. Вагомий внесок у розвиток теорії теплових процесів зробили Бешта О.С., Богаєнко І.Н., Борисенко В.І., Гуревич Е.І., Зодерберг Р., Копилов І.П., Кравчик А.Е., Петров І.І., Овчаров В.В., Сіпайлов Г.А., Щасливий Г.Г., Тубіс Я.Б., Федоров М.М., Федоренко Г.М., Філіппов І.Ф., Яковлев О.І. та інші вчені. У практиці теплових розрахунків найбільш поширеним є використання методу еквівалентних теплових схем, що складаються з 5 – 7 вузлів. Параметри теп-

лових схем, до яких належать теплові провідності та теплоємності визначаються розрахунково за конструктивними розмірами вузлів електродвигуна та характеристиками ізоляційних і активних матеріалів.

Наведена характеристика існуючих методів і технічних засобів функціонального діагностування та захисту асинхронних електродвигунів. Показано, що при діагностуванні теплових процесів електродвигунів, як правило, контролюється сила струму, що споживається електричною машиною, або безпосередньо температура обмотки за допомогою вмонтованих в неї термоіндикаторів. Перший спосіб не забезпечує достатню достовірність, а другий – пов'язаний з труднощами при встановленні термоіндикаторів в обмотку асинхронного електродвигуна та суттєвою динамічною похибкою при дії надструмів.

Сформульована наукова гіпотеза: якщо контролювати температуру сталі та сили струмів в обмотках асинхронного електродвигуна, то можна отримати достовірну інформацію про температуру обмотки.

Для підтвердження гіпотези постала необхідність дослідження теплових процесів асинхронного електродвигуна під дією експлуатаційних впливів для встановлення залежності температури обмотки в функції температури сталі та сил струмів в фазах, обґрунтування параметрів функціонального діагностування та розробки пристрою функціонального діагностування асинхронних електродвигунів.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЯК ГЕТЕРОГЕННОЇ СИСТЕМИ

Виходячи з умов контролю середніх температур обмотки статора та сталі та можливості визначення параметрів теплової схеми на базі експериментальних даних, асинхронний електродвигун розглядався як гетерогенна система трьох

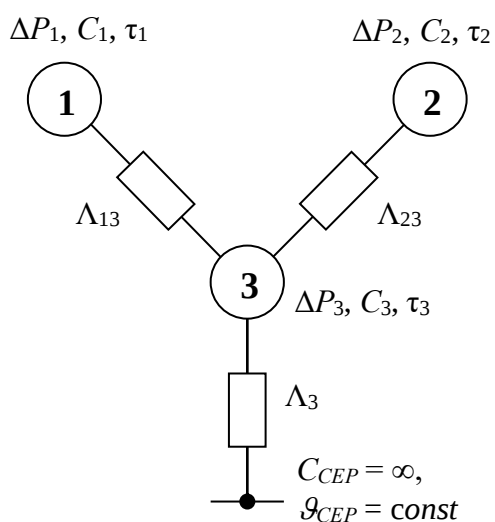


Рис. 1. Теплова схема асинхронного двигуна як системи трьох тіл

однорідних еквівалентних тіл: обмотки статора (тіло 1), ротора (тіло 2) та сталі (тіло 3). Теплова схема асинхронного двигуна для вказаного варіанту наведена на рис. 1.

На тепловій схемі введені наступні позначення:

τ_1, τ_2, τ_3 – середні перевищення температури тіл 1, 2, 3 над температурою навколишнього середовища, °C;

$\Lambda_{13}, \Lambda_{23}, \Lambda_3$ – еквівалентні теплові провідності між тілами 1, 2, 3, між тілом 3 і навколишнім середовищем, Вт/°C;

$\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$ – втрати активної потужності в тілах 1, 2, 3, Вт;

C_1, C_2, C_3, C_{CEP} – теплоємності тіл 1, 2, 3, навколишнього середовища, Дж/°C;
 ϑ_{CEP} – температура навколишнього середовища, °C.

Були зроблені наступні припущення: теплоємності, еквівалентні теплові провідності не змінюються при зміні температури, теплоємність навколишнього середовища дорівнює нескінченності, а температура навколишнього середовища постійна.

Складена система диференціальних рівнянь теплового балансу асинхронного електродвигуна:

$$\left. \begin{aligned} C_1 \frac{d\tau_1}{dt} + \Lambda_{13}(\tau_1 - \tau_3) &= \Delta P_{10}(1 + \alpha_1 \tau_1); \\ C_2 \frac{d\tau_2}{dt} + \Lambda_{23}(\tau_2 - \tau_3) &= \Delta P_{20}(1 + \alpha_2 \tau_2); \\ C_3 \frac{d\tau_3}{dt} + \Lambda_{13}(\tau_3 - \tau_1) + \Lambda_{23}(\tau_3 - \tau_2) + \Lambda_3 \tau_3 &= \Delta P_3. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де $\Delta P_{10}, \Delta P_{20}$ – втрати активної потужності в тілах 1, 2 при температурі навколишнього середовища, Вт;

α_1, α_2 – температурні коефіцієнти опору матеріалів обмоток статора, ротора, 1/°C;

t – поточний час, с.

Втрати активної потужності в тілах асинхронного електродвигуна визначались в функції кратності сили струму статора за Г-образною схемою заміщення. Втрати активної потужності в обмотках статора і ротора при температурі навколишнього середовища знаходились за виразами:

$$\Delta P_{10} = 3r_{10}I_1^2, \quad \Delta P_{20} = 3r_{20}''(I_2'')^2, \quad (2)$$

де r_{10} – активний опір обмотки статора при температурі навколишнього середовища, Ом;

r_{20}'' – приведений активний опір обмотки ротора при температурі навколишнього середовища, Ом;

I_1 – сила струму статора, А;

I_2'' – приведена сила струму ротора, А.

Втрати активної потужності в сталі електродвигуна:

$$\Delta P_3 = \Delta P_{MG.H} + \Delta P_{MECH.H} \left(\frac{1-s}{1-s_H} \right)^2 + \Delta P_{ДОД.H} \left(\frac{I_1}{I_{1H}} \right)^2, \quad (3)$$

де $\Delta P_{MG.H}$ – номінальні втрати потужності в магнітопроводі, Вт;

$\Delta P_{MECH.H}$ – номінальні механічні втрати потужності, Вт;

$\Delta P_{ДОД.H}$ – номінальні додаткові втрати потужності, Вт;

s – ковзання асинхронного електродвигуна;

s_H – номінальне ковзання асинхронного електродвигуна;

I_{1H} – номінальна сила струму статора, А.

Визначення теплоємностей і теплових провідностей розрахунковим способом ускладнено внаслідок складності конструктивних елементів електродвигуна, а також практичної відсутності їх характеристик. В цьому зв'язку запропоновано методику визначення параметрів теплової схеми асинхронного електродвигуна на базі експериментальних даних. Для цього система рівнянь (1) була записана в усталеному тепловому режимі холостого ходу:

$$\left. \begin{aligned} \Lambda_{13}(\tau_{1X} - \tau_{3X}) &= \Delta P_{10X}(1 + \alpha_1 \tau_{1X}); \\ \Lambda_{23}(\tau_{2X} - \tau_{3X}) &= \Delta P_{20X}(1 + \alpha_2 \tau_{2X}); \\ \Lambda_{13}(\tau_{3X} - \tau_{1X}) + \Lambda_{23}(\tau_{3X} - \tau_{2X}) + \Lambda_3 \tau_{3X} &= \Delta P_{3X}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де $\tau_{1X}, \tau_{2X}, \tau_{3X}$ – усталені середні перевищення температури відповідно обмотки, ротора, сталі над температурою навколишнього середовища при холостому ході, °C;

$\Delta P_{10X}, \Delta P_{20X}, \Delta P_{3X}$ – втрати активної потужності відповідно в обмотці, роторі, сталі при холостому ході, Вт.

Після розв'язання системи рівнянь (4), були отримані вирази для визначення еквівалентних теплових провідностей:

$$\begin{aligned} \Lambda_{13} &= \frac{\Delta P_{10X}(1 + \alpha_1 \tau_{1X})}{\tau_{1X} - \tau_{3X}}, & \Lambda_{23} &= \frac{\Delta P_{20X}(1 + \alpha_2 \tau_{2X})}{\tau_{2X} - \tau_{3X}}, \\ \Lambda_3 &= \frac{\Delta P_{10X}(1 + \alpha_1 \tau_{1X}) + \Delta P_{20X}(1 + \alpha_2 \tau_{2X}) + \Delta P_{3X}}{\tau_{3X}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Теплоємності тіл визначались за аналізом динаміки нагріву та охолодження обмотки статора і сталі:

$$C_1 = \frac{\Lambda_{13}(\tau_{3X} - \tau_{1X})}{\frac{d\tau_{1(0).OX}}{dt}}, \quad C_3 = \frac{\Delta P_3}{\frac{d\tau_{3(0)}}{dt}}, \quad C_2 = c_2 \left(m_{ДВ} - \frac{C_1}{c_1} - \frac{C_3}{c_3} \right), \quad (6)$$

де $\frac{d\tau_{1(0).OX}}{dt}$ – похідна температури обмотки в початковий момент охолодження, °C/с.

$\frac{d\tau_{3(0)}}{dt}$ – похідна температури сталі в початковий момент нагріву, °C/с;

c_1, c_2, c_3 – питома теплоємність відповідно обмотки, ротора, сталі, Дж/(кг·°C);

$m_{ДВ}$ – маса двигуна, кг.

За результатами дослідження холостого ходу для асинхронного двигуна 4АМ90L4УЗ були отримані наступні значення параметрів теплової схеми: $\Lambda_{13} = 10,5707$ Вт/°C; $\Lambda_{23} = 2,7648$ Вт/°C; $\Lambda_3 = 13,9969$ Вт/°C; $C_1 = 726,1$ Дж/°C; $C_2 = 3260$ Дж/°C; $C_3 = 9623$ Дж/°C.

В результаті розв'язання системи диференціальних рівнянь (1) класичним ме-

тодом отримані вирази перевищень температури тіл асинхронного електродвигуна:

$$\left. \begin{aligned} \tau_1 &= \tau_{1Y} - \tau'_{1Y} e^{-\frac{t}{T'}} - \tau''_{1Y} e^{-\frac{t}{T''}} - \tau'''_{1Y} e^{-\frac{t}{T'''}}, \\ \tau_2 &= \tau_{2Y} - \tau'_{2Y} e^{-\frac{t}{T'}} - \tau''_{2Y} e^{-\frac{t}{T''}} - \tau'''_{2Y} e^{-\frac{t}{T'''}}, \\ \tau_3 &= \tau_{3Y} - \tau'_{3Y} e^{-\frac{t}{T'}} - \tau''_{3Y} e^{-\frac{t}{T''}} - \tau'''_{3Y} e^{-\frac{t}{T'''}}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де $\tau_{1Y}, \tau_{2Y}, \tau_{3Y}$ – усталені перевищення температури відповідно обмотки, ротора, сталі над температурою навколишнього середовища, °C;

$\tau'_{1Y}, \tau''_{1Y}, \tau'''_{1Y}, \tau'_{2Y}, \tau''_{2Y}, \tau'''_{2Y}, \tau'_{3Y}, \tau''_{3Y}, \tau'''_{3Y}$ – парціальні усталені перевищення температури тіл над температурою навколишнього середовища, °C;

T', T'', T''' – парціальні постійні часу, с.

Знайдені усталені перевищення температури обмотки статора, ротора та сталі:

$$\tau_{1Y} = \frac{\Delta_{1Y}}{\Delta_Y}, \quad \tau_{2Y} = \frac{\Delta_{2Y}}{\Delta_Y}, \quad \tau_{3Y} = \frac{\Delta_{3Y}}{\Delta_Y}, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \Delta_Y &= (\Lambda_{13} + \Lambda_{23} + \Lambda_3)(\Lambda_{13} - \Delta P_{10}\alpha_1)(\Lambda_{23} - \Delta P_{20}\alpha_2) - \Lambda_{13}^2(\Lambda_{23} - \Delta P_{20}\alpha_2) - \Lambda_{23}^2(\Lambda_{13} - \Delta P_{10}\alpha_1); \\ \Delta_{1Y} &= \Delta P_{10}((\Lambda_{13} + \Lambda_{23} + \Lambda_3)(\Lambda_{23} - \Delta P_{20}\alpha_2) - \Lambda_{23}^2) + \Delta P_{20}\Lambda_{13}\Lambda_{23} + \Delta P_3(\Lambda_{23} - \Delta P_{20}\alpha_2)\Lambda_{13}; \\ \Delta_{2Y} &= \Delta P_{10}\Lambda_{13}\Lambda_{23} + \Delta P_{20}((\Lambda_{13} + \Lambda_{23} + \Lambda_3)(\Lambda_{13} - \Delta P_{10}\alpha_1) - \Lambda_{13}^2) + \Delta P_3(\Lambda_{13} - \Delta P_{10}\alpha_1)\Lambda_{23}; \\ \Delta_{3Y} &= \Delta P_{10}(\Lambda_{23} - \Delta P_{20}\alpha_2)\Lambda_{13} + \Delta P_{20}(\Lambda_{13} - \Delta P_{10}\alpha_1)\Lambda_{23} + \Delta P_3(\Lambda_{13} - \Delta P_{10}\alpha_1)(\Lambda_{23} - \Delta P_{20}\alpha_2). \end{aligned}$$

Було отримано характеристичне рівняння системи диференціальних рівнянь (1):

$$\begin{aligned} p^3 + \left(\frac{\Lambda_{23} - \Delta P_{20}\alpha_2}{C_2} + \frac{\Lambda_{13} - \Delta P_{10}\alpha_1}{C_1} + \frac{\Lambda_{13} + \Lambda_{23} + \Lambda_3}{C_3} \right) p^2 + \left(\frac{(\Lambda_{13} - \Delta P_{10}\alpha_1)(\Lambda_{13} + \Lambda_{23} + \Lambda_3)}{C_1 C_3} - \right. \\ \left. - \frac{\Lambda_{13}^2}{C_1 C_3} - \frac{\Lambda_{23}(\Lambda_{23} - \Delta P_{20}\alpha_2)}{C_2 C_3} + \frac{(\Lambda_{13} - \Delta P_{10}\alpha_1)(\Lambda_{23} - \Delta P_{20}\alpha_2)}{C_1 C_2} + \frac{(\Lambda_{23} - \Delta P_{20}\alpha_2)(\Lambda_{13} + \Lambda_{23} + \Lambda_3)}{C_2 C_3} \right) p + \\ \left. + \frac{\Lambda_{23} - \Delta P_{20}\alpha_2}{C_2} \left(- \frac{\Lambda_{23}(\Lambda_{13} - \Delta P_{10}\alpha_1)}{C_1 C_3} + \frac{(\Lambda_{13} - \Delta P_{10}\alpha_1)(\Lambda_{13} + \Lambda_{23} + \Lambda_3)}{C_1 C_3} - \frac{\Lambda_{13}^2}{C_1 C_3} \right) \right) = 0, \quad (9) \end{aligned}$$

з якого знайдені парціальні постійні часу нагріву:

$$T' = -\frac{1}{p_1}, \quad T'' = -\frac{1}{p_2}, \quad T''' = -\frac{1}{p_3}. \quad (10)$$

Парціальні усталені перевищення температури тіл визначені наступним чином:

$$\tau'_{kY} = -\frac{\Delta'_k}{\Delta}; \quad \tau''_{kY} = -\frac{\Delta''_k}{\Delta}; \quad \tau'''_{kY} = -\frac{\Delta'''_k}{\Delta}; \quad (11)$$

$$\Delta = p_2 p_3^2 + p_1 p_2^2 + p_1^2 p_3 - p_1^2 p_2 - p_1 p_3^2 - p_2^2 p_3;$$

$$\Delta'_k = (\tau_{k0} - \tau_{kY}) p_2 p_3^2 + \frac{d\tau_{k0}}{dt} p_2^2 + \frac{d^2 \tau_{k0}}{dt^2} p_3 - \frac{d^2 \tau_{k0}}{dt^2} p_2 - \frac{d\tau_{k0}}{dt} p_3^2 - p_2^2 p_3 (\tau_{k0} - \tau_{kY});$$

$$\Delta''_k = \frac{d\tau_{k0}}{dt} p_3^2 + p_1 \frac{d^2 \tau_{k0}}{dt^2} + p_1^2 (\tau_{k0} - \tau_{kY}) p_3 - p_1^2 \frac{d\tau_{k0}}{dt} - p_1 (\tau_{k0} - \tau_{kY}) p_3^2 - \frac{d^2 \tau_{k0}}{dt^2} p_3;$$

$$\Delta'''_k = p_2 \frac{d^2 \tau_{k0}}{dt^2} + p_1 p_2^2 (\tau_{k0} - \tau_{kY}) + p_1^2 \frac{d\tau_{k0}}{dt} - p_1^2 p_2 (\tau_{k0} - \tau_{kY}) - p_1 \frac{d^2 \tau_{k0}}{dt^2} - p_2^2 \frac{d\tau_{k0}}{dt}.$$

де k – номер тіла;

τ_{k0} – початкові перевищення температур відповідних тіл над температурою навколишнього середовища, °C.

Вирази першої та другої похідної початкових перевищень температури отримані з системи диференціальних рівнянь (1) з урахуванням початкових умов:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\tau_{10}}{dt} &= -\frac{\Lambda_{13} - \Delta P_{10} \alpha_1}{C_1} \tau_{10} + \frac{\Lambda_{13}}{C_1} \tau_{30} + \frac{\Delta P_{10}}{C_1}; \\ \frac{d\tau_{20}}{dt} &= -\frac{\Lambda_{23} - \Delta P_{20} \alpha_2}{C_2} \tau_{20} + \frac{\Lambda_{23}}{C_2} \tau_{30} + \frac{\Delta P_{20}}{C_2}; \\ \frac{d\tau_{30}}{dt} &= \frac{\Lambda_{13}}{C_3} \tau_{10} + \frac{\Lambda_{23}}{C_3} \tau_{20} - \frac{\Lambda_{13} + \Lambda_{23} + \Lambda_3}{C_3} \tau_{30} + \frac{\Delta P_3}{C_3}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 \tau_{10}}{dt^2} &= -\frac{\Lambda_{13} - \Delta P_{10} \alpha_1}{C_1} \frac{d\tau_{10}}{dt} + \frac{\Lambda_{13}}{C_1} \frac{d\tau_{30}}{dt}; \\ \frac{d^2 \tau_{20}}{dt^2} &= -\frac{\Lambda_{23} - \Delta P_{20} \alpha_2}{C_2} \frac{d\tau_{20}}{dt} + \frac{\Lambda_{23}}{C_2} \frac{d\tau_{30}}{dt}; \\ \frac{d^2 \tau_{30}}{dt^2} &= \frac{\Lambda_{13}}{C_3} \frac{d\tau_{10}}{dt} + \frac{\Lambda_{23}}{C_3} \frac{d\tau_{20}}{dt} - \frac{\Lambda_{13} + \Lambda_{23} + \Lambda_3}{C_3} \frac{d\tau_{30}}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

В результаті отримані графічні залежності перевищень температури обмотки статора, ротора та сталі в функції часу перехідного теплового процесу при номінальному навантаженні, що наведені на рис. 2.

Криві нагріву тіл електродвигуна, які представлені у відносних одиницях (рис. 3), свідчать про різницю в швидкостях зростання температур тіл. Так швидкість нагріву сталі в початковий момент часу суттєво відстає від швидкості нагріву обмотки статора.

В електричних машинах з самовентиляцією при нерухливому роторі обдув частин електричної машини відсутній, що приводить до погіршення охолодження

електродвигуна, тобто зменшується теплова провідність від сталі до навколишнього середовища. Для знаходження останньої було складено рівняння теплового балансу сталі при охолодженні:

$$C_3 \frac{d\tau_3}{dt} + \Lambda'_3 \tau_3 = \Lambda_{13}(\tau_1 - \tau_3) + \Lambda_{23}(\tau_2 - \tau_3). \quad (14)$$

Вираз теплової провідності від сталі до навколишнього середовища при нерухливому роторі Λ'_3 було визначено з рівняння (14) в початковий момент часу:

$$\Lambda'_3 = \frac{\Lambda_{13}(\tau_1 - \tau_3) + \Lambda_{23}(\tau_2 - \tau_3) - C_3 \frac{d\tau_{3(0).OX}}{dt}}{\tau_3}, \quad (15)$$

де $\frac{d\tau_{3(0).OX}}{dt}$ — похідна температури сталі в початковий момент охолодження, °C/с.

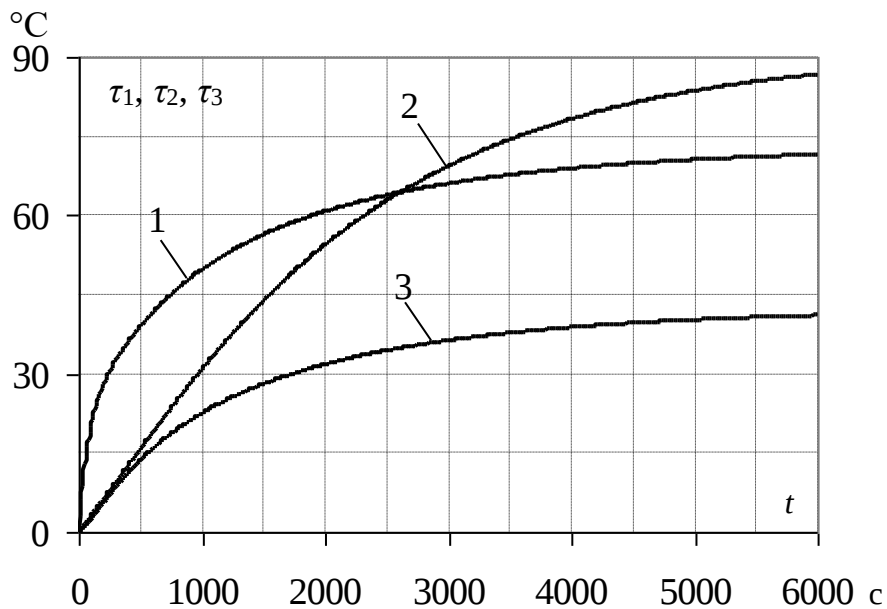


Рис. 2. Залежність перевищень температури обмотки (1), ротора (2) та сталі (3) в функції часу перехідного процесу при номінальному навантаженні

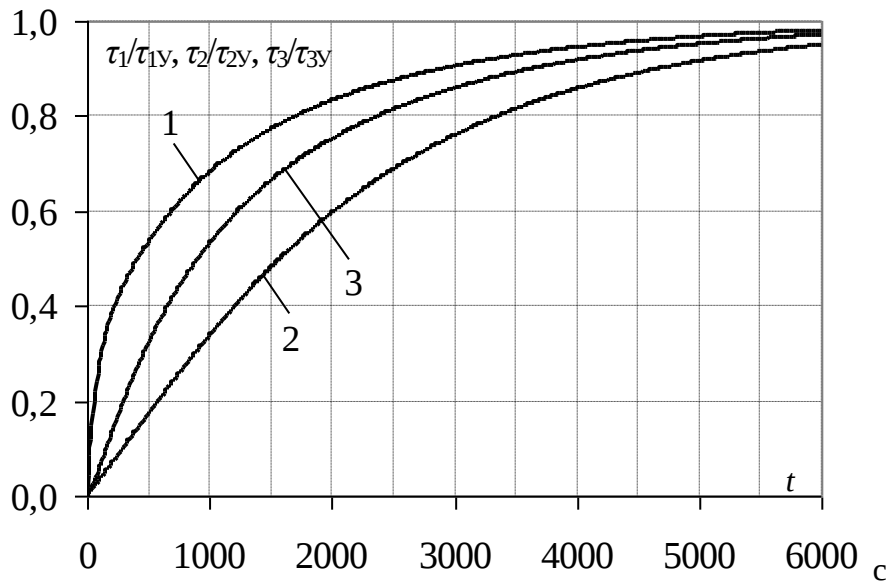


Рис. 3. Залежність відносних перевищень температури обмотки (1), ротора (2) та сталі (3) в функції часу перехідного процесу при номінальному навантаженні

За результатами експериментального дослідження для асинхронного електродвигуна 4AM90L4У3 отримано значення теплової провідності $\Lambda'_3 = 6,7289 \text{ Вт/}^\circ\text{С}$. На основі цих даних були побудовані криві охолодження обмотки, ротора та сталі електродвигуна з усталеного теплового режиму з номінальним навантаженням (рис. 4).

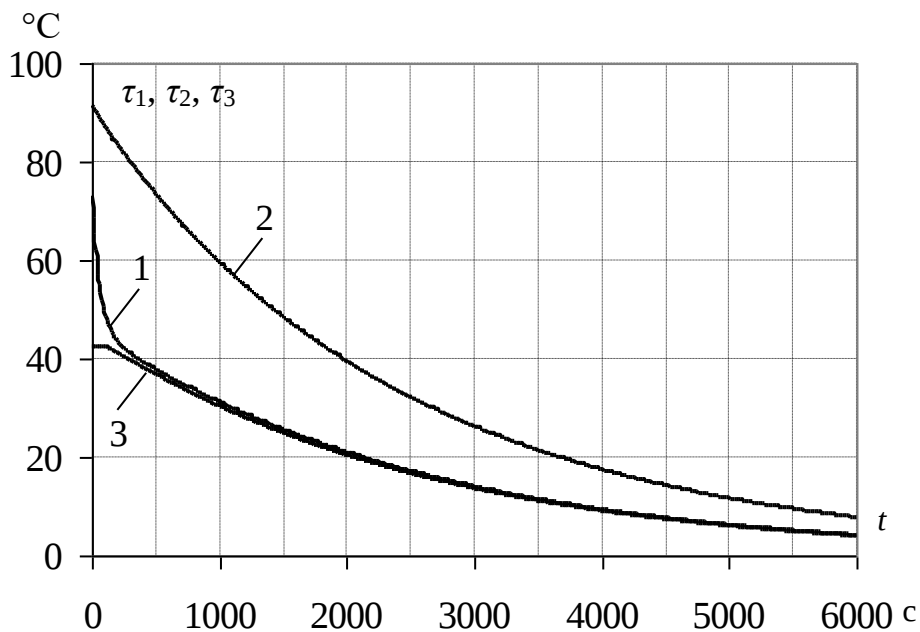


Рис. 4. Залежність перевищень температури обмотки (1), ротора (2) та сталі (3) в функції часу перехідного процесу при охолодженні з номінального режиму

Перехідні процеси при дії надструмів відносно швидкоплинні, тому можемо з достатньою точністю прийняти, що теплові процеси протікають адіабатично. У цьому випадку рівняння теплового балансу для обмотки запишеться в наступному

вигляді:

$$C_1 \frac{d\tau_1}{dt} = \Delta P_{10} (1 + \alpha_1 \tau_1). \quad (16)$$

Після розв'язання цього рівняння було отримано вираз для перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища при дії надструмів:

$$\tau_1 = \left(\frac{1}{\alpha} + \tau_{10} \right) e^{\frac{t}{T_{1H}}} - \frac{1}{\alpha}, \quad (17)$$

де
$$T_{1H} = \frac{C_1}{\Delta P_{10} \alpha_1}.$$

Графічні залежності перевищень температури обмотки статора в функції часу перехідного теплового процесу при дії надструмів наведені на рис. 5.

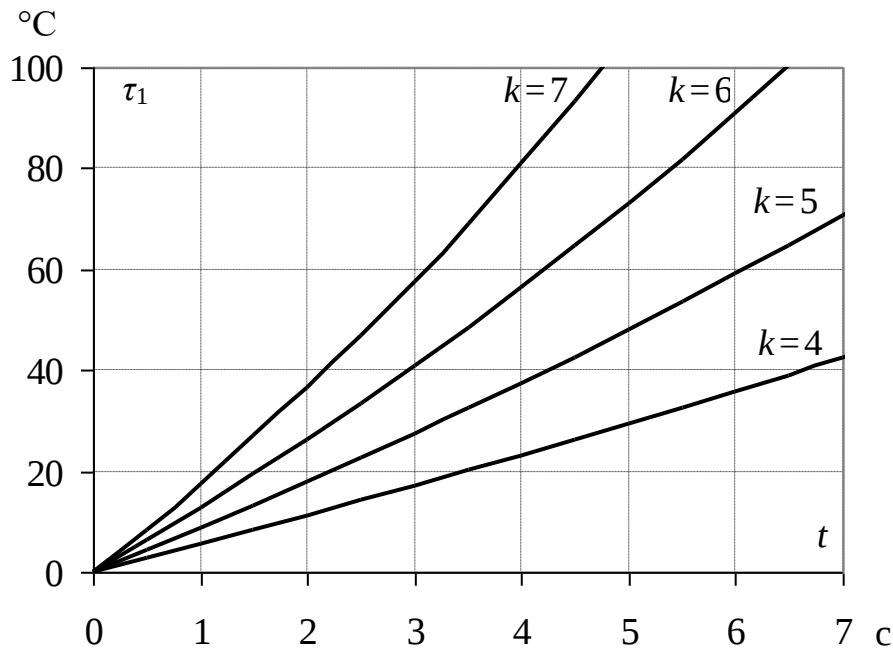


Рис. 5. Залежність перевищень температури обмотки в функції часу перехідного процесу при дії надструмів

Таким чином, встановлені залежності для визначення параметрів теплової схеми асинхронного електродвигуна, до яких належать теплові провідності та теплоємності тіл, та залежності перевищень температури тіл в функції кратності сили струму, а також початкових перевищень температури еквівалентних тіл.

РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

В якості параметрів функціонального діагностування теплових процесів асинхронних електродвигунів були взяті: окремо температура сталі; окремо сила струму, що споживається двигуном; комбінація сили струму та температури сталі.

Аналітично дослідженні теплові процеси асинхронного електродвигуна при діагностуванні за температурою сталі. В якості критерію теплового режиму прийнято додатковий тепловий знос ізоляції, що приходить на одне перевантаження. Графічні залежності величин при перевантаженні наведені на рис. 6. Прийняті наступні позначення:

- τ_{1M} – максимальне перевищення температури обмотки, °С;
- τ_{1H} – номінальне перевищення температури обмотки, °С;
- $\tau_{3Д}$ – допустиме перевищення температури сталі, °С;
- ε_M – максимальна швидкість теплового зносу ізоляції електродвигуна, бгод/год;
- ε_H – номінальна швидкість теплового зносу ізоляції електродвигуна, бгод/год;
- t_H – час початку температурного перевантаження, с;
- t_{II} – час спрацювання захисту, с;
- t_O – час охолодження електродвигуна, с

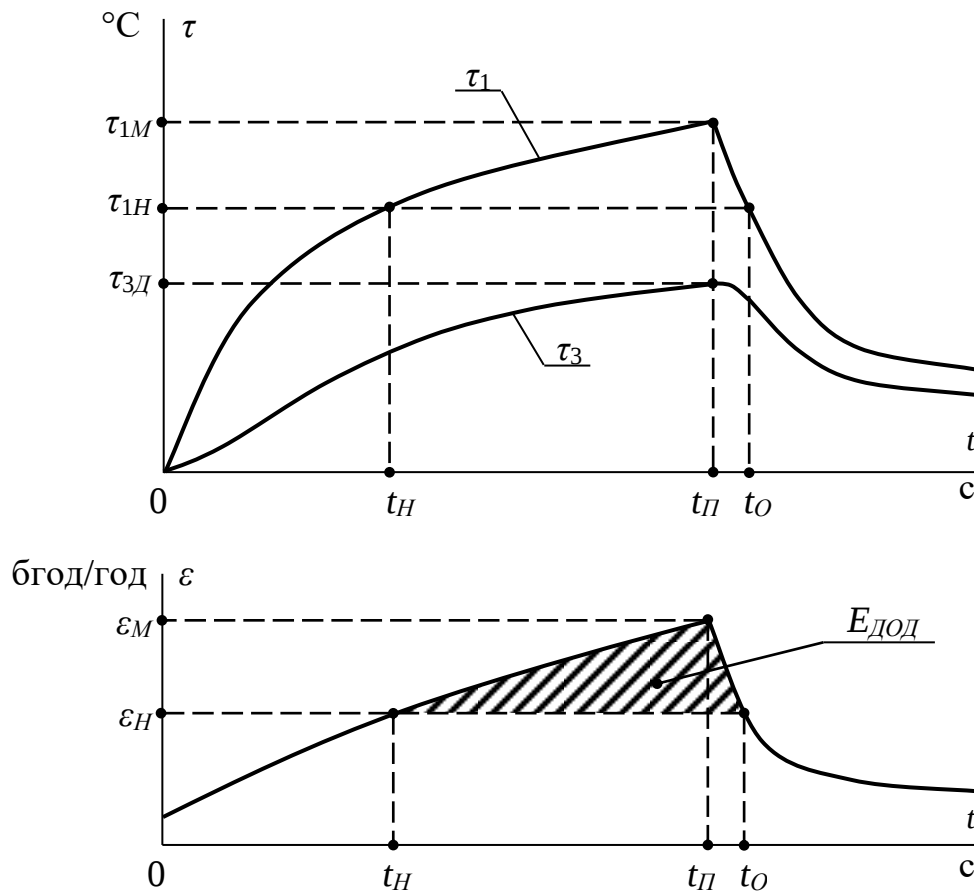


Рис. 6. Залежності перевищень температури та швидкості теплового зносу ізоляції при перевантаженні

Було складено алгоритм розрахунку додаткового теплового зносу ізоляції, що приходить на одне перевантаження. Останній на рис. 6 представлений заштрихованою областю та визначався за виразом:

$$E_{\text{ДОД}} = \int_{t_H}^{t_{II}} \varepsilon dt + \int_{t_{II}}^{t_O} \varepsilon dt - \varepsilon_H (t_O - t_H), \quad (18)$$

де ε – поточна швидкість теплового зносу ізоляції, бгод/год.

Поточна швидкість теплового зносу ізоляції:

$$\varepsilon = \varepsilon_H \cdot e^{B \left(\frac{1}{\theta_{1H}} - \frac{1}{\tau_1 + \theta_{\text{СЕР}} + 273} \right)}, \quad (19)$$

де B – температурний параметр, що характеризує клас ізоляції асинхронного електродвигуна, К;

θ_{1H} – абсолютна температура фазної обмотки асинхронного електродвигуна при номінальному навантаженні на валу для даного класу ізоляції та номінальних умовах навколишнього середовища, К.

За допустиме перевищення температури сталі, при якому спрацьовує захист, прийняте усталене перевищення температури сталі, що відповідає тривало допустимому значенню перевищення температури обмотки за ГОСТ 183-74.

Аналітичне дослідження виконане для асинхронного електродвигуна 4АМ90L4У3. Допустиме значення перевищення температури сталі склало 45,9 °С. Встановлено, що при різних температурах навколишнього середовища величина додаткового теплового зносу ізоляції суттєво відрізняється (рис. 7); при перевантаженнях з деякою кратністю сили струму максимальна температура обмотки перевищує встановлене ГОСТ 27888-88 значення (рис. 8).

50 °С

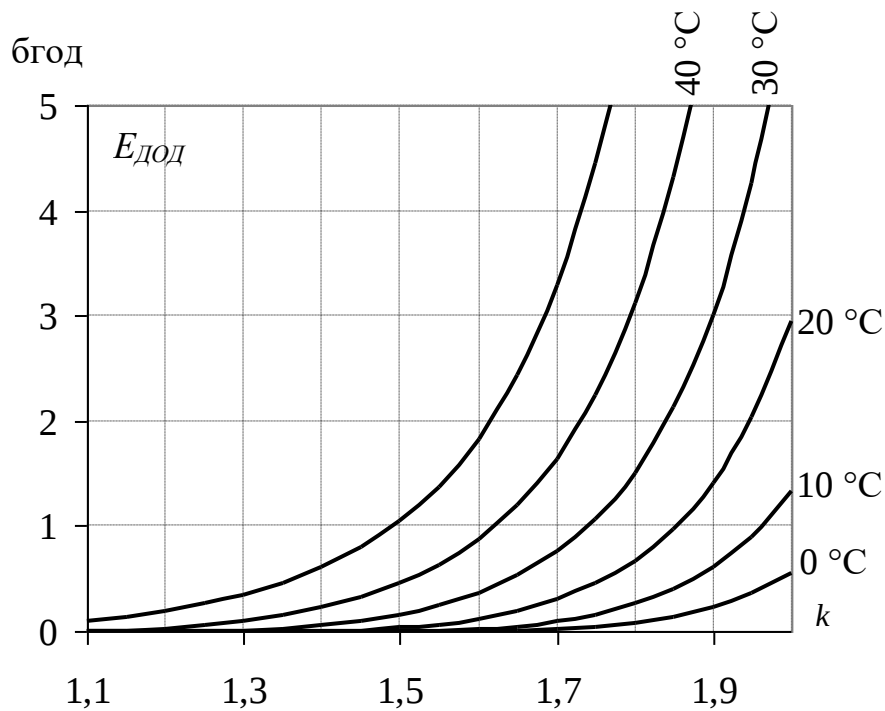


Рис. 7. Залежність додаткового теплового зносу ізоляції в функції кратності сили струму при різних температурах навколишнього середовища

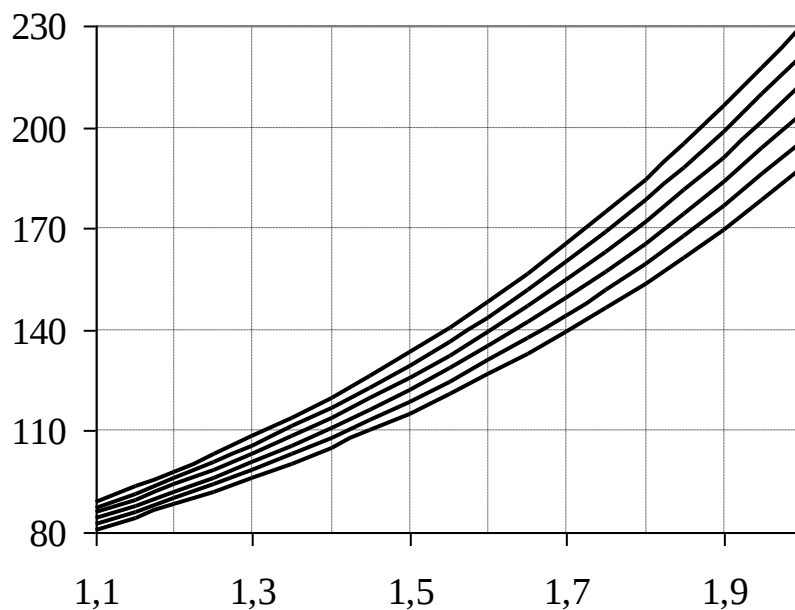


Рис. 8. Залежність максимальної температури обмотки в функції кратності сили струму при різних температурах навколишнього середовища

Отже, окремо взята температура сталі при перевантаженні двигуна не може служити об'єктивним діагностичним параметром теплового процесу.

Аналітично досліджені теплові процеси асинхронного електродвигуна при діагностуванні за силою струму статора. В якості критерію теплового режиму прийнято допустимий додатковий тепловий знос ізоляції, що приходить на одне перевантаження. Графічні залежності величин τ_{1M} при перевантаженні наведені на

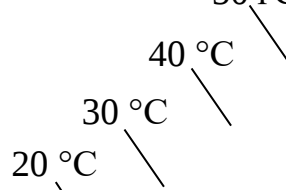


рис. 9. Прийняті наступні позначення:

k_{Π} – кратність сили струму статора при перевантаженні;

k_H – номінальна кратність сили струму статора.

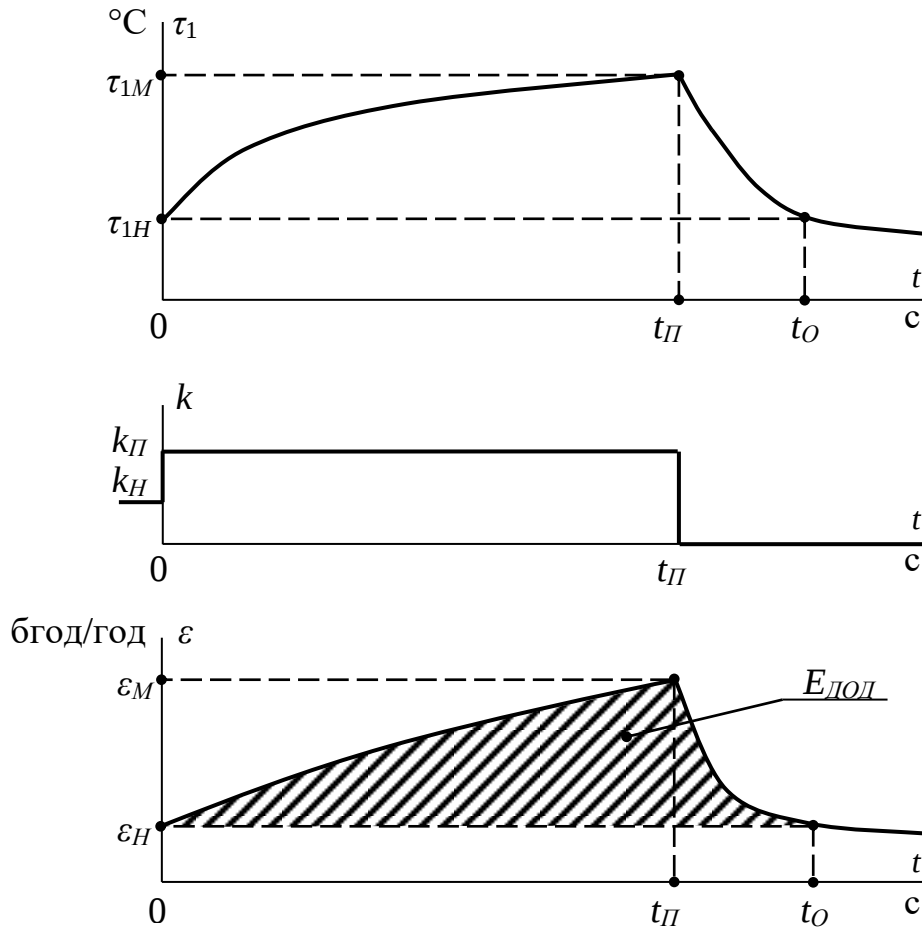


Рис. 9. Залежності перевищень температури, кратності сили струму та швидкості теплового зносу ізоляції при перевантаженні

Було складено алгоритм розрахунку перевантажувальної характеристики електродвигуна. Величина допустимого додаткового теплового зносу ізоляції, що приходить на одне перевантаження, була визначена згідно з вимоги ГОСТ 16308-84, за якою захист повинен відімкнути електродвигун при 20 % перевантаженні через 20 хвилин.

Для врахування погіршення тепловіддачі електродвигуна введено коефіцієнт погіршення тепловіддачі:

$$\beta = \frac{\Lambda_3}{\Lambda_{3H}}, \quad (20)$$

де Λ_3 – теплова провідність від сталі до навколишнього середовища, що погіршилась, $\text{Вт}/^{\circ}C$;

Λ_{3H} – номінальна теплова провідність від сталі до навколишнього середовища, $\text{Вт}/^{\circ}C$.

За результатами аналітичного дослідження для асинхронного електродвигуна 4АМ90L4У3 величина допустимого додаткового теплового зносу ізоляції,

що приходить на одне перевантаження, склала 0,104 бгод.

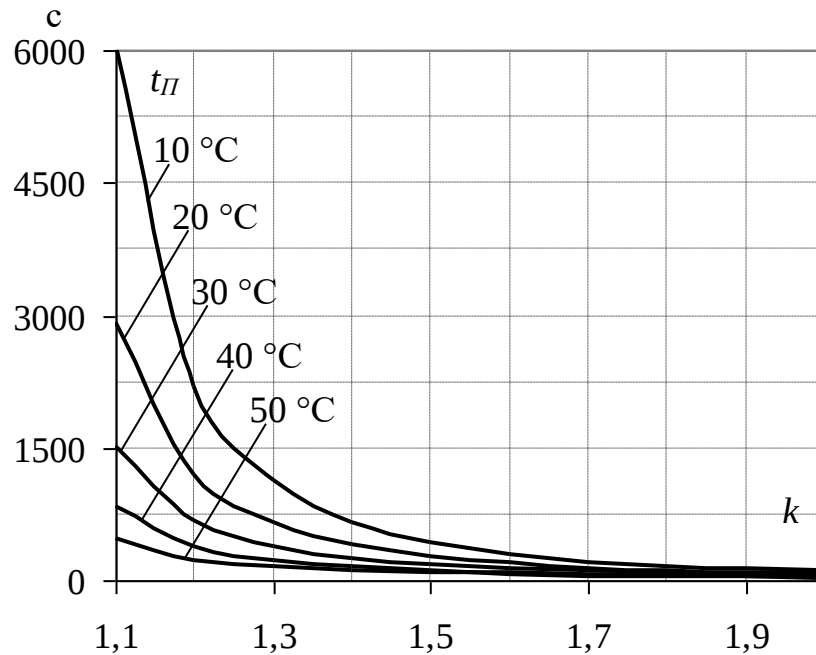


Рис. 10. Перевантажувальна характеристика асинхронного електродвигуна при різних значеннях температури навколишнього середовища

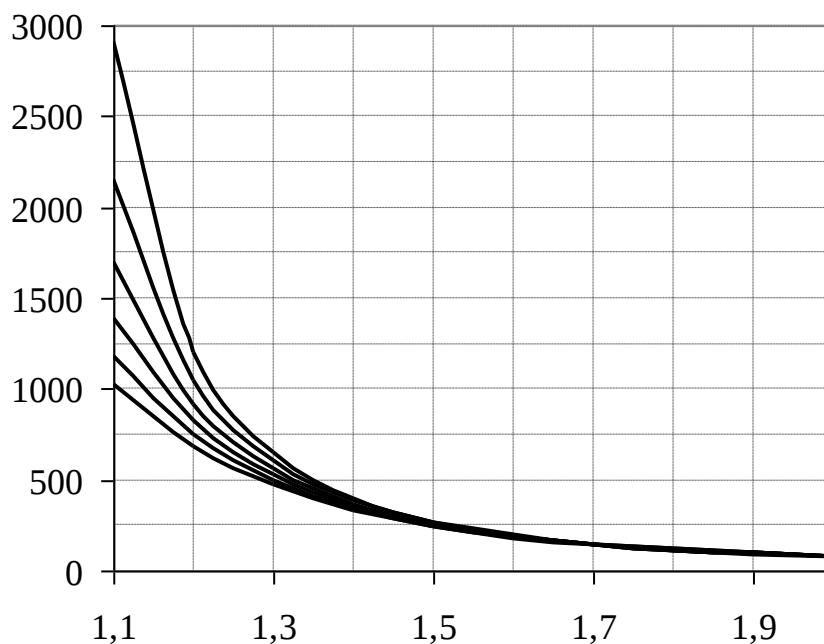


Рис. 11. Перевантажувальна характеристика асинхронного електродвигуна при різних значеннях коефіцієнта погіршення тепловіддачі

Аналіз перевантажувальних характеристик асинхронного двигуна свідчить про істотне зниження часу досягнення допустимого додаткового теплового зносу ізоляції при підвищенні $t_{\text{п}}$ температури навколишнього середовища (рис. 10); зниження часу досягнення допустимого додаткового теплового зносу ізоляції при погіршенні тепловіддачі (рис. 11). Також перевантажувальна характеристика залежить від парціальних постійних часу нагріву електродвигуна.

0,9
0,8
0,7
0,6
0,5

Отже, окремо взята сила струму при перевантаженні двигуна не може слугувати об'єктивним діагностичним параметром теплового процесу.

Запропонована модель функціонального діагностування теплових процесів асинхронних електродвигунів за температурою сталі та силою струму статора, згідно якої поточна температура обмотки визначається дискретно за виразом:

$$\tau_{1P.i} = \vartheta_{3B.i} - \vartheta_{CEP.i} + \Delta\tau_{13.i}, \quad (21)$$

де $\vartheta_{3B.i}$ – температура сталі на i -ій ділянці, що вимірюється, °C;

$\vartheta_{CEP.i}$ – температура навколишнього середовища на i -ій ділянці, °C;

$\Delta\tau_{13.i}$ – перепад температур між обмоткою та сталлю на i -ій ділянці, °C.

Перепад температур між обмоткою та сталлю визначається розрахунково:

$$\Delta\tau_{13.i} = f(I_{Ai}, I_{Bi}, I_{Ci}, \tau_{1P.i-1}, \tau_{2P.i-1}, \tau_{3P.i-1}, \Delta t), \quad (22)$$

де I_{Ai}, I_{Bi}, I_{Ci} – сила струму в фазах двигуна на i -ій ділянці, А;

$\tau_{1P.i-1}, \tau_{2P.i-1}, \tau_{3P.i-1}$ – температура відповідно обмотки, ротора, сталі, на $(i-1)$ ділянці, °C;

Δt – період дискретизації, с.

Структурна схема моделі функціонального діагностування теплових процесів асинхронних електродвигунів наведена на рис. 12.



Рис. 12. Структурна схема моделі функціонального діагностування асинхронного електродвигуна за температурою сталі та силою струму статора

Модель діагностування передбачає два рівні спрацювання захисту: при перевищенні температурою обмотки тривало допустимого значення та при перевищенні додатковим зносом ізоляції, що приходить на одне перевантаження, допустимого значення.

Таким чином, обґрунтовано параметри функціонального діагностування теплових процесів асинхронних електродвигунів, за які обрано температуру сталі та силу струму статора.

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІ

Експериментальні дослідження теплових процесів виконувались з метою перевірки адекватності моделі функціонального діагностування теплових процесів асинхронних електродвигунів. Наведені програма і методика дослідження, методика опрацювання результатів.

Дослідження проводилися на установці, що складається з досліджуваного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, генератора постійного струму, що виконував функцію робочої машини, пускової апаратури, вимірювальних приладів, а також освітлювальної установки у якості споживача електричної енергії.

В процесі дослідів проводились вимірювання сили фазних струмів, температури обмотки статора, сталі та навколишнього середовища. Температури обмотки

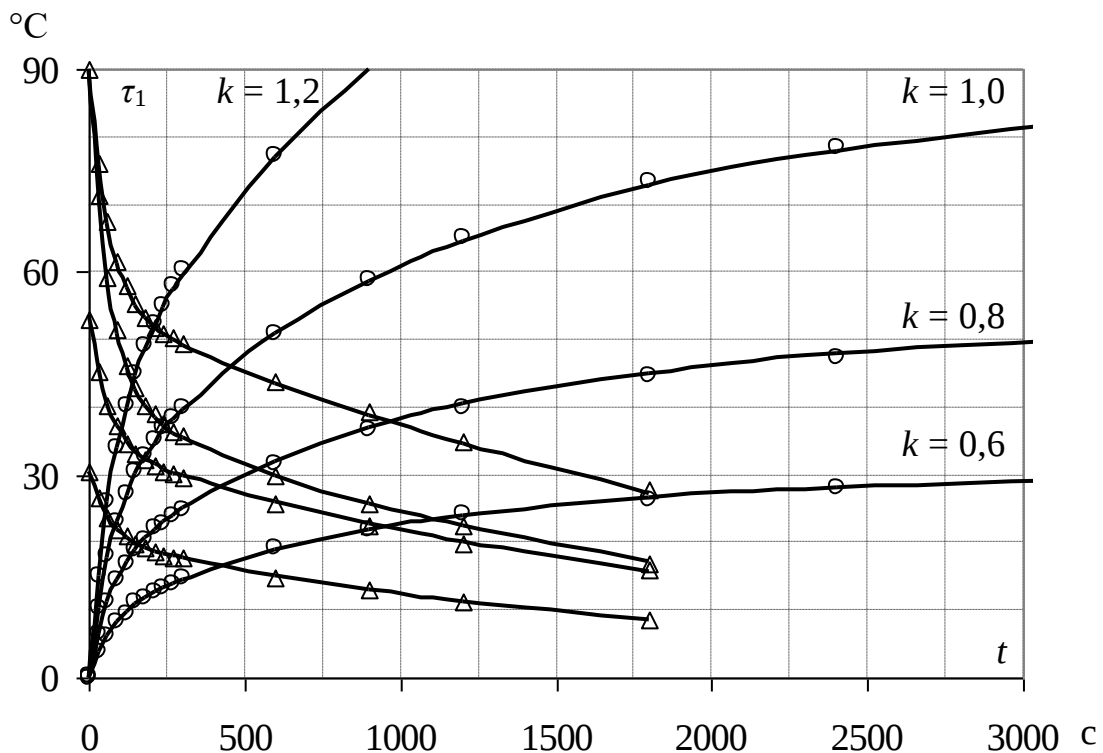


Рис. 13. Теоретичні залежності та експериментальні значення перевищень температури обмотки статора

та сталі визначались за допомогою вмонтованих в них терморезисторів з негативним коефіцієнтом опору. Реєстрація опорів терморезисторів виконувалась за допомогою пристрою збору даних National Instruments USB-6008 підключеного до

персонального комп'ютера.

Перевірка адекватності математичної моделі виконана шляхом порівняння перевищень температур обмотки отриманих за моделлю функціонального діагностування з фактичними перевищеннями температур обмотки при різних значеннях кратності сили струму статора.

На рис. 13 точками показано експериментальні значення перевищень температури обмотки. Адекватність моделі визначалась за критерієм Фішера на рівні значимості 5 %. Відносна похибка визначення температури обмотки не перевищує 5 %.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень розроблені технічні вимоги до пристрою функціонального діагностування та захисту асинхронного електродвигуна. Пристрій забезпечує:

- контроль сили струму статорної обмотки, температури сталі асинхронного електродвигуна та навколишнього середовища;
- подачу аварійного сигналу при досягненні перевищенням температури обмотки тривало допустимого значення;
- відключення електродвигуна від мережі при досягненні додатковим тепловим зносом ізоляції, що приходить на одне перевантаження, гранично допустимого значення;
- цифрову індикацію поточної температури обмотки;
- настройку параметрів моделі, з виконанням дослідів настройки.

Структурна схема пристрою діагностування наведена на рис. 14.

Розроблено принципову електричну схему та програмне забезпечення мікроконтролера, що реалізує алгоритм функціонування пристрою функціонального діагностування та захисту асинхронного електродвигуна.

Проведено оцінку кількісних показників надійності пристрою діагностування: ймовірність безвідмовної роботи пристрою 0,929, середній час безвідмовної роботи дорівнює 119617 годин.

Виробничі випробовування пристрою діагностування та захисту асинхронних електродвигунів на ДПДГ «Мелітопольське» Мелітопольського району Запорізької області показали, що підчас випробувальної експлуатації відмов двигунів і елементів блоків пристрою діагностування не було. Річний економічний ефект від впровадження пристрою в розрахунку на асинхронний двигун потужністю 7,5 кВт склав 196,50 грн., термін окупності капітальних вкладень – 1,45 року.

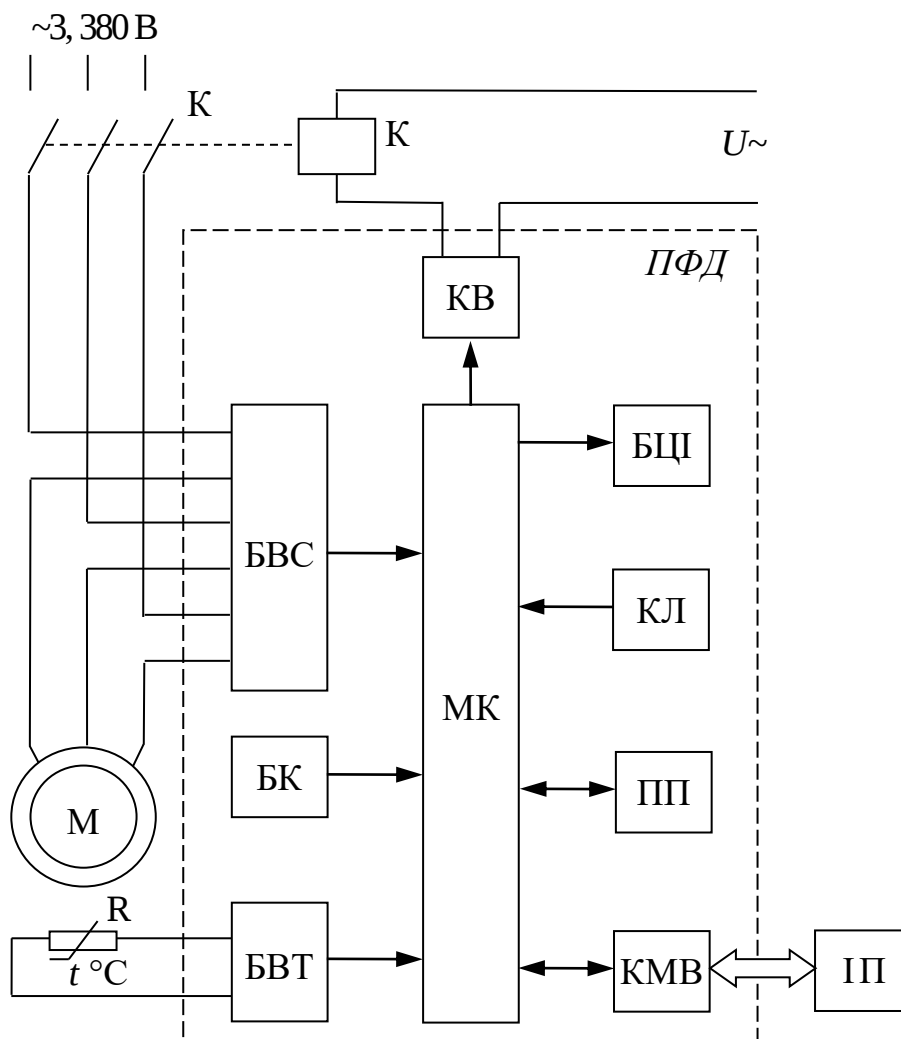


Рис. 14. Структурна схема пристрою функціонального діагностування і захисту: М – асинхронний електродвигун, що діагностується, R – терморезистор з негативним коефіцієнтом опору, БВС – блок виміру сили струму, БВТ – блок виміру температури сталі та навколишнього середовища, БК – блок калібровки, МК – мікроконтролер, КЛ – клавіатура, КВ – комутаційний вузол, К – магнітний пускач, ПП – пристрій пам'яті, БЦІ – блок цифрової індикації, КМВ – комунікаційний вузол, ІП – інтерфейсний пристрій

ВИСНОВКИ

Існуючі методи і технічні засоби діагностування та захисту асинхронних електродвигунів не забезпечують достатню їх експлуатаційну надійність. У дисертаційній роботі отримані нові наукові положення з вирішення науково-технічної задачі функціонального діагностування асинхронних електродвигунів.

Основні наукові та практичні результати роботи і висновки, що впливають з них, полягають у наступному:

1. На базі аналізу взаємопов'язаних теплових процесів в асинхронному електродвигуні як гетерогенному тілі під дією експлуатаційних впливів отримані їх математичні залежності, які дають можливість опосередковано контролювати

температуру обмотки статора.

2. Отримані залежності для визначення параметрів теплової схеми асинхронного електродвигуна: теплових провідностей – на базі усталених значень перевищень температури кожного тіла в досліді холостого ходу та теплоємностей – на базі динаміки їх нагрівання і охолодження в цьому досліді. Для електродвигуна 4AM90L4Y3 значення цих параметрів склали $\Lambda_{13} = 10,5707 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$; $\Lambda_{23} = 2,7648 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$; $\Lambda_3 = 13,9969 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$; $\Lambda'_3 = 6,7289 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$; $C_1 = 726,1 \text{ Дж/}^\circ\text{C}$; $C_2 = 3260 \text{ Дж/}^\circ\text{C}$; $C_3 = 9623 \text{ Дж/}^\circ\text{C}$.

3. При дослідженні теплових процесів в асинхронному електродвигуні прийнявши за параметр діагностування температуру сталі отримані наступні результати:

- величина додаткового теплового зносу ізоляції електродвигуна, що приходить на одне перевантаження, залежить від температури навколишнього середовища; так, при кратності сили струму 1,5 додатковий знос ізоляції при температурах навколишнього середовища 50°C і 30°C відрізняється в 6,5 раз;

- при перевантаженнях максимальна температура обмотки перевищує встановлене ГОСТ максимально допустиме значення; так, при температурі навколишнього середовища 40°C і кратності сили струму 1,65 максимальна температура обмотки перевищує допустиме значення на $6,6^\circ\text{C}$.

4. При дослідженні теплових процесів в асинхронному електродвигуні прийнявши за параметр діагностування силу струму статора отримані наступні результати:

- при зростанні температури навколишнього середовища спостерігається істотне зменшення часу досягнення допустимого додаткового теплового зносу ізоляції; так, при перевантаженні з кратністю сили струму 1,2 час досягнення допустимого додаткового теплового зносу ізоляції при температурі навколишнього середовища 40°C на 15 % менше, ніж при температурі 20°C ;

- при погіршенні тепловіддачі електродвигуна знижується час досягнення допустимого додаткового теплового зносу ізоляції; так, при погіршенні тепловіддачі на 30 %, час досягнення допустимого додаткового теплового зносу ізоляції знижується на 31 %;

- аналіз процесу нагрівання обмотки електродвигуна показав, що перевантажувальна характеристика істотно залежить від значення парціальних постійних часу нагрівання останнього.

5. На базі проведених досліджень зроблено висновок що, окремо взята температура сталі як параметр діагностування та окремо взята сила струму статора як параметр діагностування при перевантаженні двигуна не можуть служити об'єктивними діагностичними параметрами теплового процесу.

Для аналізу експлуатаційних режимів роботи асинхронного електродвигуна запропонована модель функціонального діагностування асинхронного електродвигуна за температурою сталі та силою струму статора.

6. Експериментальні дослідження підтвердили адекватність моделі функ-

ціонального діагностування асинхронного електродвигуна за температурою сталі та силою струму статора. Відносна похибка визначення температури обмотки не перевищує 5 %. Цей факт дає можливість застосовувати запропоновану модель у пристрої функціонального діагностування.

7. Розроблено пристрій функціонального діагностування та захисту асинхронного електродвигуна за температурою сталі та силою струму статора. Дослідження та виробничі випробування пристрою функціонального діагностування показали, що ймовірність безвідмовної роботи пристрою становить 0,929, а середній час безвідмовної роботи – 119617 годин, що дає можливість зниження виходу електродвигунів з ладу до 5 – 10 %.

8. Річний економічний ефект від впровадження пристрою діагностування в розрахунку на асинхронний двигун потужністю 7,5 кВт склав 196,50 грн., термін окупності капітальних вкладень дорівнює 1,45 року.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. *Овчаров В.В., Рижков А.О.* Цифровий пристрій діагностування експлуатаційних режимів роботи асинхронного електродвигуна за температурою сталі // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. – Вип. 32. – Мелітополь, 2005. – С. 44 – 49.

2. *Рижков А.О.* Дослідження залежності між температурою обмотки та температурою сталі і кратністю сили струму асинхронного двигуна // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Випуск 43. – Том 1. – Харків, 2006. – С. 171 – 175.

3. *Овчаров В.В., Рижков А.О.* Діагностування експлуатаційних режимів роботи і захист асинхронного двигуна за температурою сталі та кратністю сили струму // Наукові доповіді НАУ, 2006. – № 4(5). – 8 с., <http://www.nbuu.gov.ua/e-Journals/nd/2006-4/06ovvacr.pdf>.

4. *Рижков А.О.* Вимірювання температури у складі мікроконтролерного пристрою діагностування режимів роботи асинхронних двигунів // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія – Вип. 45. – Мелітополь, 2006. – С. 65 – 71.

5. *Овчаров В.В., Рижков А.О.* Дослідження залежності втрат потужності в роторі асинхронного двигуна в функції кратності сили струму статора // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит, 2007. – №2. – С. 15 – 18.

6. *Рыжков А.А.* Определение параметров тепловой схемы замещения асинхронного двигателя на базе экспериментальных данных // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика». – Дніпродзержинськ, 2007. – С.156 – 157.

АНОТАЦІЯ

Рижков А.О. Обґрунтування параметрів функціонального діагностування теплових процесів асинхронних електродвигунів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – Таврійський державний агротехнологічний університет. – Мелітополь, 2008.

Робота присвячена вирішенню науково-технічної задачі функціонального діагностування асинхронних електродвигунів. Містить результати теоретичних та експериментальних досліджень теплових процесів в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором при перевантаженні. Отримані залежності для визначення параметрів теплової схеми асинхронного електродвигуна як гетерогенної системи, що складається з трьох тіл, на базі дослідів холостого ходу. Обґрунтовано параметри функціонального діагностування, за які обрано температуру сталі та силу струму статора двигуна. Запропонована модель функціонального діагностування теплових процесів асинхронного електродвигуна. Наведені результати експериментальної перевірки адекватності моделі діагностування. За результатами досліджень розроблена мікропроцесорна система функціонального діагностування та захисту асинхронних електродвигунів. Здійснено впровадження пристрою діагностування у виробництво. Наведені данні щодо економічної ефективності розробленого пристрою діагностування та захисту.

Ключові слова – асинхронний електродвигун, тепловий процес, перевантаження, температура сталі, кратність сили струму, мікропроцесорна система, пристрій функціонального діагностування та захисту.

АННОТАЦИЯ

Рыжков А.А. Обоснование параметров функционального диагностирования тепловых процессов асинхронных электродвигателей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – Таврический государственный агротехнологический университет. – Мелитополь, 2008.

Работа посвящена решению научно-технической задачи функционального диагностирования асинхронных электродвигателей. Анализ современного состояния данной проблемы показал ее актуальность в научном и практическом направлениях.

Для решения поставленных задач исследовались тепловые процессы в асинхронном электродвигателе как гетерогенной системе состоящей из трех тел: обмотки статора, ротора и стали. Установлены зависимости превышений температуры тел в функции кратности силы тока статора, а также начальных превышений температуры эквивалентных тел. Для описания тепловых процессов при дей-

ствии сверхтоков получено уравнение нагрева обмотки как адиабатического процесса.

Получены выражения для определения параметров тепловой схемы асинхронного электродвигателя (эквивалентных тепловых проводимостей и теплоемкостей) на базе экспериментальных данных полученных в опыте холостого хода.

При обосновании параметров функционального диагностирования эксплуатационных режимов работы асинхронного электродвигателя рассмотрены: отдельно температура стали; отдельно сила тока, потребляемая двигателем; комбинация температуры стали и сила тока.

Аналитическое исследование тепловых процессов асинхронного электродвигателя при диагностировании по температуре стали производилось из критерия дополнительного теплового износа изоляции приходящегося на одну перегрузку. В качестве порога срабатывания защиты было принято номинальное значение установившегося превышения температуры стали. Установлено, что величина дополнительного теплового износа изоляции зависит от температуры окружающей среды и растет с увеличением кратности силы тока статора; при некоторых кратностях силы тока максимальное превышения температуры обмотки электродвигателя превышает установленное ГОСТ 27888-88 значение. Таким образом, отдельно температура стали не может служить объективным диагностическим параметром теплового процесса асинхронного электродвигателя.

При аналитическом исследовании тепловых процессов при диагностировании по силе тока статора построение перегрузочных характеристик асинхронного электродвигателя производилось из критерия допустимого дополнительного теплового износа изоляции приходящегося на одну перегрузку. Величина последнего определялась из требования ГОСТ 16308-84, согласно которого защита должна отключить электродвигатель при 20 % перегрузке через 20 минут. Установлено, что время достижения допустимого дополнительного износа изоляции находится в зависимости от температуры окружающей среды, коэффициента ухудшения теплоотдачи и парциальных постоянных времени асинхронного электродвигателя. Таким образом, отдельно сила тока статора не может служить объективным диагностическим параметром теплового процесса асинхронного электродвигателя.

Предложена модель функционального диагностирования тепловых процессов асинхронного электродвигателя по температуре стали силе тока статора. Экспериментальная проверка подтвердила адекватность модели диагностирования. При этом отклонение данных полученных согласно модели диагностирования от экспериментальных значений превышения температуры обмотки не превысило 5 %.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработан микропроцессорная система функционального диагностирования и защиты асинхронного электродвигателя, осуществляющая контроль фазных сил токов и температуры стали электродвигателя. Устройство внедрено в ГПОХ «Мелитопольское» Мелитопольского района, Запорожской обл. Годовой экономический

эффект от внедрения устройства диагностирования в расчете на асинхронный электродвигатель мощностью 7,5 кВт составил 196,50 грн., срок окупаемости капитальных затрат равняется 1,45 года.

Ключевые слова – асинхронный электродвигатель, тепловой процесс, перегрузка, температура стали, кратность силы тока, микропроцессорная система, устройство функционального диагностирования и защиты.

SUMMARY

Ryzhkov A. Substantiation of parameters of functional diagnosing of thermal processes of asynchronous electric motors. – Manuscript.

Thesis for a technical sciences candidate's degree by speciality 05.09.03 – electrotechnical complexes and systems. – Tavria state agrotechnological university. – Melitopol, 2008.

The thesis is devoted to solving scientific and technical task of asynchronous electric motors functional diagnosing. It contains results of theoretical and experimental researches of asynchronous electric motors with short-circuited rotor thermal processes under overload. Dependences for definition of parameters of a thermal equivalent circuit of asynchronous electric motor as heterogeneous system which consists of three bodies, on the basis of experiment of idling are received. Parameters of functional diagnosing for which became chosen steel temperature and current of stator are proved. The model of functional diagnosing of thermal processes of the asynchronous electric motor is offered. Results of experimental check of adequacy of the model of diagnosing are resulted. By results of researches the microprocessor system of asynchronous electric motors diagnosing and protection is designed. Introduction of the device of diagnosing in manufacture is carried out. Data concerning economic efficiency of the designed device of diagnosing and protection are cited.

Key words – asynchronous electric motor, thermal process, overload, steel temperature, rate of current, microprocessor system, device of functional diagnosing and protection.

Підписано до друку 2 квітня 2008 р. Формат 60×90/16
Обсяг 0,9 авт. арк. Тираж 100 прим. Зам. № 20

Надруковано в типографії Таврійського державного агротехнологічного університету
72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18