

ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА АКАДЕМІЯ

Вовк Олександр Юрійович

УДК 621.313.333.004.58

**ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ РОБОТОЗДАТНОСТІ
АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ
ЗА ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНИМ СТАНОМ**

05.09.16 – електротехнології та електрообладнання
в агропромисловому комплексі

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Мелітополь – 2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в **Таврійській державній агротехнічній академії** Міністерства аграрної політики України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор **Овчаров Володимир Васильович**, Таврійська державна агротехнічна академія, завідувач кафедри теоретичної та загальної електротехніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Мішин Володимир Іванович**, Національний аграрний університет, професор кафедри електричних машин і експлуатації електрообладнання

кандидат технічних наук, доцент **Мунтян Володимир Олексійович**, Таврійська державна агротехнічна академія, доцент кафедри електропостачання сільського господарства

Провідна установа: **Харківський державний технічний університет сільського господарства** кафедра застосування електроенергії в сільському господарстві, Міністерство аграрної політики України, м. Харків

Захист відбудеться “ 13 ” червня 2003 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 18.819.01 в Таврійській державній агротехнічній академії за адресою: 72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18, навчальний корпус 1, зал засідань вченої ради

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Таврійської державної агротехнічної академії за адресою: 72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18

Автореферат розісланий “ _____ ” _____ 2003 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Діордієв В.Т.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В сучасному сільськогосподарському виробництві електричний привод – це основа стаціонарних технологічних процесів, тому стан електрообладнання, поряд з надійністю електропостачання, значно впливають на результати господарської діяльності підприємств агропромислового комплексу.

Найпоширеніший силовий агрегат, що використовується в сільськогосподарському виробництві – асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором. Асинхронні електроприводи становлять близько 95 % загальної кількості електроприводів і споживають більше половини електроенергії галузі. Широке розповсюдження асинхронні двигуни дістали завдяки високій конструкційній надійності, але у процесі експлуатації на підприємствах агропромислового комплексу України щорічно відмовляє в середньому 20 – 25 % наявного парку електродвигунів (при іспитах на надійність за цей час відмовляє 2 – 3 %). Це призводить до незапланованих матеріальних витрат, пов'язаних з раптовою зупинкою технологічних ліній, а також на ремонт асинхронних двигунів.

Таким чином, залишається до кінця невирішеною народногосподарська проблема підвищення експлуатаційної надійності асинхронних електродвигунів. Причина її існування – недостатній рівень експлуатації означених електродвигунів на підприємствах агропромислового комплексу, зокрема – відсутність достатньої інформації про їх стан. Тому однією із складових вирішення цієї проблеми є підвищення рівня експлуатації асинхронних електродвигунів за допомогою своєчасного повного контролю. Це дозволить керувати станом електродвигунів і призведе до підвищення імовірності їх безвідмовної роботи на протязі запланованого строку служби в процесі експлуатації в сільськогосподарському виробництві. Отже, розроблення і впровадження методу діагностування асинхронних електродвигунів, який забезпечить всебічну оцінку стану цих електродвигунів, а також спростить практичну реалізацію діагностування в порівнянні з існуючою, є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано відповідно до плану наукових досліджень Таврійської державної агротехнічної академії на 2001 – 2005 роки за науково-технічною програмою № 1 “Розробка наукових систем технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України” (державний реєстраційний номер 0102U000678): підпрограма 1.10 “Розробка методів і засобів технічного сервісу електроустаткування і економії енергоресурсів”; напрямок 1.10.2 “Розробка системи діагностування технічного стану електродвигунів”.

Мета і задачі дослідження. *Мета дослідження* – підвищення експлуатаційної надійності асинхронних електродвигунів при виробничій експлуатації на підприємствах агропромислового комплексу.

Задачі дослідження:

1. Аналітично і експериментально дослідити функціональний стан асинхронного електродвигуна при виробничій експлуатації.
2. Розробити і перевірити метод діагностування асинхронного електродвигуна при виробничій експлуатації.

Об'єкт дослідження – роботоздатність асинхронного електродвигуна в процесі експлуатації.

Предмет дослідження – показники роботоздатності асинхронного електродвигуна.

Методи дослідження. Функціональний стан асинхронного електродвигуна при виробничій експлуатації досліджувався шляхом аналізу процесу витрати його ресурсу на основі теплової схеми заміщення і кругової діаграми електродвигуна із застосуванням матричного вирахування, положень аналітичної геометрії та логічних міркувань (дедуктивного й аксіоматичного методів). Розроблення методу діагностування здійснювалося методом індукції (узагальнення) отриманих результатів аналітичного дослідження змінювання функціонального стану електродвигуна. Експериментальна перевірка методу діагностування асинхронного електродвигуна реалізовувалася за допомогою прискореного експерименту: уведення заданої несправності (“навмисна поломка”) – визначення несправності. Техніко-економічний аналіз методу діагностування асинхронного електродвигуна виконувався шляхом порівняння варіантів технічного сервісу електродвигуна в умовах сільськогосподарського виробництва без застосування запропонованого методу і при його використанні.

Наукова новизна отриманих результатів. Полягає в наступному:

1. Дістав подальший розвиток процес діагностування асинхронного електродвигуна – не тільки пошук несправностей в окремих вузлах електродвигуна через рівні проміжки часу, а і періодичний контроль роботоздатності асинхронного електродвигуна як системи взаємопов'язаних вузлів, що дозволяє визначати стан електродвигуна при його роботі в заданому режимі, знижуючи імовірність появи відмовлення на протязі запланованого строку служби.
2. Вперше обґрунтовано методику оцінки роботоздатності асинхронних електродвигунів за їх функціональним станом, показники якого – корисна потужність на валу і швидкість витрати ресурсу обмотки статора, яка є функцією втрат активної потужності у вузлах електродвигуна (обмотках статора і ротора, сталі) і залежить від постійних конструкційних коефіцієнтів впливу цих втрат на нагрівання обмотки статора.
3. Вперше отримано методику визначення коефіцієнтів впливу втрат активної потужності на нагрівання обмотки статора асинхронного електродвигуна за допомогою введених нових параметрів теплового стану електродвигуна: перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища в дослідах холостого ходу і короткого замикання.

4. Одержало подальший розвиток використання кругової діаграми асинхронного електродвигуна для аналітичного розрахунку фізичних величин, що характеризують роботу електродвигуна в заданому режимі.

Практичне значення отриманих результатів. Полягає у наступному:

1. Обґрунтовано показники роботоздатності асинхронного електродвигуна, що дозволяють оцінювати функціональний стан електродвигуна в цілому і його основних вузлів (обмоток статора і ротора, магнітопроводу і підшипників) при роботі електродвигуна в заданому режимі.
2. Отримано спосіб проведення діагностичних іспитів (дослідів холостого ходу і короткого замикання), у якому регулятором напруги є асинхронний електродвигун з короткозамкнутим ротором з регульованим навантаженням на валу.
3. Розроблено метод діагностування асинхронного електродвигуна при виробничій експлуатації, який не вимагає для свого впровадження капітальних вкладень. Передбачається, що його використання дозволить знизити збитки підприємств агропромислового комплексу від незапланованих виходів з ладу асинхронних електродвигунів більш ніж у 2 рази.
4. Впровадження методу на 2 сільськогосподарських і 1 промислового підприємстві показало, що за рік його застосування експлуатаційна надійність асинхронних електродвигунів зросла на 11 – 15 %, значно покращилася культура праці електротехнічного персоналу.

Особистий внесок здобувача. У дисертації використано принципи застосування кругової діаграми для діагностування асинхронних електродвигунів у процесі виробничої експлуатації (у співавторстві з Овчаровим С.В.), а також комплексного діагностування по зміні втрат активної потужності в окремих вузлах електродвигуна (у співавторстві з Овчаровим В.В.). Теоретичне обґрунтування і практичне втілення цих принципів виконано безпосередньо здобувачем.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, що включено в дисертацію, представлено і схвалено на 9 науково-технічних конференціях державного і міжнародного рівня: науково-технічній конференції, присвяченій 50-річчю факультету “Енергетика сільськогосподарського виробництва” ТДАТА (Мелітополь, 2002р.) науково-технічній конференції “Землеробська механіка на рубежі сторіч” (Мелітополь, 2001р.); науково-практичній конференції “Проблеми енергозабезпечення й енергозбереження в АПК України” (Харків, 2000р.); міжкафедральних науково-технічних семінарах ТДАТА (1997 – 2002рр.).

Публікації. Результати досліджень опубліковано в 7 статтях у період з 1997 року по 2002 рік.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 140 сторінках машинописного тексту, ілюстрована 34 таблицями, 34 рисунками і складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 123 найменувань та 2 додатків на 31 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ВСТУП

Обґрунтовано актуальність обраної теми досліджень, її новизну і практичну цінність для сільськогосподарського виробництва, показано підстави і вихідні дані для розробки теми, доказано необхідність проведення досліджень, наведено загальну характеристику роботи.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ КОНТРОЛЮ РОБОТОЗДАТНОСТІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА В ЕКСПЛУАТАЦІЇ. ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянуто і проаналізовано показники і методи контролю роботоздатності асинхронних електродвигунів. Окреслено основні етапи розвитку наукової думки щодо діагностування асинхронних електродвигунів і проведено їх порівняльні оцінки. В підсумку виявлено наступне: теоретичні й експериментальні дослідження багатьох вчених свідчать про перспективність застосування діагностування для підвищення експлуатаційної надійності асинхронних електродвигунів (особливо в сільському господарстві), але ці роботи не дають вичерпної інформації для його широкого практичного використання.

Крім того, можна дійти висновку, що на цей час відсутній такий метод діагностування, який доцільно застосовувати в складних експлуатаційних умовах, специфічних для агропромислового комплексу нашої країни. Головним чином, це пояснюється наступними причинами: високою вартістю технічної реалізації методів, неповним контролем стану електродвигуна, спрямованістю виключно на пошук пошкоджень, відсутністю контролю роботоздатності електродвигуна при роботі в заданому режимі.

Отже, контроль роботоздатності електродвигунів при виробничій експлуатації на підприємствах агропромислового комплексу України (коли об'єкти експлуатації розподілені на великій території, а транспортні зв'язки ускладнені) – складний процес, що вимагає методів, які дозволяють періодично контролювати роботоздатність всіх вузлів електродвигунів і визначати несправності. Ці методи (при неритмічному використанні електроустаткування і неукомплектованості штатів господарств електротехнічним персоналом) повинні забезпечувати скорочення часу контролю і бути розраховані на мобільні малогабаритні пристрої для діагностування.

Тому необхідні дослідження в напрямку неруйнівного контролю стану асинхронних електродвигунів у процесі експлуатації в сільськогосподарському виробництві, які дозволять вдосконалити методику оцінки стану означених електродвигунів і обґрунтувати (розробити) з її допомогою раціональний метод діагностування цих електродвигунів, впровадження якого забезпечить підвищення їх експлуатаційної надійності.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПРИ ВИРОБНИЧІЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Роботоздатність асинхронного електродвигуна запропоновано оцінювати за його функціональним станом, при якому він може виконувати свої функції відповідно до призначення (тобто надавати руху робочій машині або окремому її вузлу).

Функціональний стан представлено у трьох варіантах (номінальний функціональний, неномінальний функціональний, нефункціональний) і охарактеризовано за допомогою наступних показників: швидкості витрати ресурсу (ε), активної потужності на валу (P).

Прийнято, що номінальний функціональний стан характеризується номінальною швидкістю витрати ресурсу (ε_H дорівнює *1 базовій годині ресурсу за 1 годину роботи*) при номінальній потужності на валу (P_H): $\varepsilon = \varepsilon_H$; $P = P_H$. Визначено, що зростання швидкості витрати ресурсу понад номінальне значення при номінальній потужності на валу вказує на втрату електродвигуном номінального (базового) функціонального стану: $\varepsilon > \varepsilon_H$; $P = P_H$. У нефункціональному стані асинхронний електродвигун витрачає ресурс і неспроможний розвивати активну потужність на валу: $\varepsilon > 0$; $P = 0$.

Швидкість витрати ресурсу визначається наступним чином:

$$\varepsilon = \varepsilon_H \cdot e^{B \left(\frac{1}{\tau_{1H} + \vartheta_{CP.H} + 273} - \frac{1}{\tau_1 + \vartheta_{CP} + 273} \right)}, \quad (1)$$

де ε – швидкість витрати ресурсу, *базова год./год.*;
 ε_H – номінальна швидкість витрати ресурсу, *базова год./год.*;
 B – коефіцієнт, що характеризує клас ізоляції, K ;
 τ_{1H} – номінальне (довгочасно припустиме) перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$;
 $\vartheta_{CP.H}$ – номінальна температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$;
 τ_1 – фактичне перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$;
 ϑ_{CP} – фактична температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$.

З метою встановлення причин зміни швидкості витрати ресурсу в процесі експлуатації проаналізовано залежність між фактичним перевищенням температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища і станом асинхронного електродвигуна, для чого його розглянуто у тепловому відношенні як систему трьох тіл: 1) обмотки статора; 2) обмотки ротора; 3) сталі (магнітопроводу, механічної частини і корпусу) і прийнято, що $C_{CP} = \infty$; $\vartheta_{CP} = \vartheta_{CP.H} = const$ (рис.1).

На схемі (рис.1) наведено наступні умовні позначення:

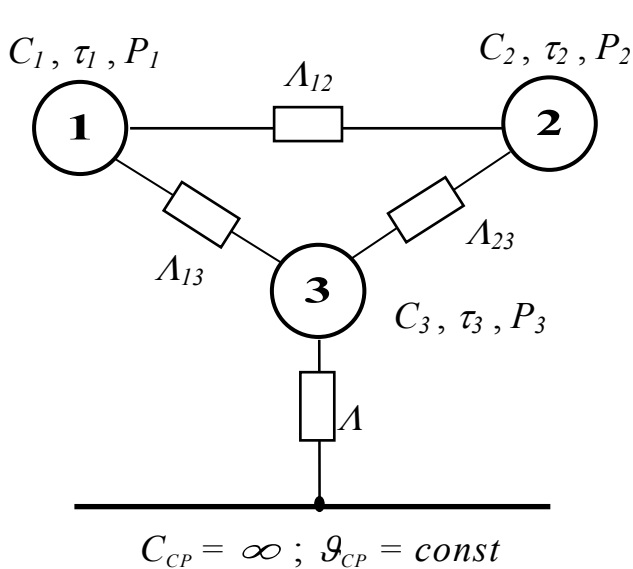


Рис.1. Теплова схема заміщення асинхронного електродвигуна.

C_1, C_2, C_3 – теплоємності відповідних тіл, Дж/°С;
 τ_1, τ_2, τ_3 – перевищення температур відповідних тіл над температурою навколишнього середовища, °С;
 P_1, P_2, P_3 – втрати активної потужності у відповідних тілах, Вт;
 $\Lambda_{12}, \Lambda_{13}, \Lambda_{23}$ – теплопровідності між відповідними тілами, Вт/°С;
 Λ – теплова провідність між третім тілом і навколишнім середовищем, Вт/°С;
 C_{CP} – теплоємність навколишнього середовища, Вт/°С;
 ϑ_{CP} – температура навколишнього середовища, °С.

Система рівнянь теплового балансу для схеми, наведеної на рис.1, має такий вигляд:

$$\left. \begin{aligned} C_1 d\tau_1 + \Lambda_{13}(\tau_1 - \tau_3)dt - \Lambda_{12}(\tau_2 - \tau_1)dt &= P_1 dt; \\ C_2 d\tau_2 + \Lambda_{23}(\tau_2 - \tau_3)dt + \Lambda_{12}(\tau_2 - \tau_1)dt &= P_2 dt; \\ C_3 d\tau_3 + \Lambda \tau_3 dt - \Lambda_{13}(\tau_1 - \tau_3)dt - \Lambda_{23}(\tau_2 - \tau_3)dt &= P_3 dt. \end{aligned} \right\} (2)$$

Вирішення системи рівнянь (2) в операторній формі відносно τ_1 для сталого режиму роботи асинхронного електродвигуна (τ_{1c}) наступне:

$$\tau_{1c} = a \cdot P_1 + b \cdot P_2 + c \cdot P_3, \quad (3)$$

де a – коефіцієнт впливу втрат P_1 на нагрівання обмотки статора, °С/Вт;
 b – коефіцієнт впливу втрат P_2 на нагрівання обмотки статора, °С/Вт;
 c – коефіцієнт впливу втрат P_3 на нагрівання обмотки статора, °С/Вт.

Таким чином, стале перевищення температури залежить від конструкційних коефіцієнтів впливу втрат активної потужності у вузлах електродвигуна на нагрівання обмотки статора і є функцією означених втрат: P_1, P_2, P_3 .

Коефіцієнти впливу втрат, в свою чергу, дорівнюють:

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{\Lambda_{12}\Lambda_{23} + (\Lambda + \Lambda_{13})(\Lambda_{12} + \Lambda_{23})}{(\Lambda + \Lambda_{13} + \Lambda_{23})(\Lambda_{12}\Lambda_{23} + \Lambda_{13}(\Lambda_{12} + \Lambda_{23})) - \Lambda_{23}(\Lambda_{12}\Lambda_{23} + \Lambda_{13}(\Lambda_{23} - 2\Lambda_{12} - \Lambda_{13})) - \Lambda_{12}\Lambda_{13}^2}; \\ b &= \frac{\Lambda_{13}\Lambda_{23} + \Lambda_{12}(\Lambda + \Lambda_{13} + \Lambda_{23})}{(\Lambda + \Lambda_{13} + \Lambda_{23})(\Lambda_{12}\Lambda_{23} + \Lambda_{13}(\Lambda_{12} + \Lambda_{23})) - \Lambda_{23}(\Lambda_{12}\Lambda_{23} + \Lambda_{13}(\Lambda_{23} - 2\Lambda_{12} - \Lambda_{13})) - \Lambda_{12}\Lambda_{13}^2}; \\ c &= \frac{\Lambda_{13}(2\Lambda_{12} + \Lambda_{23})}{(\Lambda + \Lambda_{13} + \Lambda_{23})(\Lambda_{12}\Lambda_{23} + \Lambda_{13}(\Lambda_{12} + \Lambda_{23})) - \Lambda_{23}(\Lambda_{12}\Lambda_{23} + \Lambda_{13}(\Lambda_{23} - 2\Lambda_{12} - \Lambda_{13})) - \Lambda_{12}\Lambda_{13}^2}. \end{aligned} \right\} (4)$$

Отже, коефіцієнти a , b , c – складна функція теплових провідностей. З метою експериментального визначення цих коефіцієнтів введено нові параметри теплового стану електродвигуна: перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища в досліді короткого замикання і холостого ходу. На основі цих параметрів складено систему із трьох рівнянь, кожне з яких представляє собою формулу (3) для дослідів номінального навантаження, короткого замикання і холостого ходу асинхронного електродвигуна:

$$\left. \begin{aligned} a \cdot P_{1H} + b \cdot P_{2H} + c \cdot P_{3H} &= \tau_{1H}, \\ a \cdot P_{1K} + b \cdot P_{2K} + c \cdot P_{3K} &= \tau_{1K}, \\ a \cdot P_{1X} + b \cdot P_{2X} + c \cdot P_{3X} &= \tau_{1X}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де τ_{1H} , τ_{1K} , τ_{1X} – стале перевищення температури обмотки статора відповідно в досліді номінального навантаження, короткого замикання, холостого ходу, $^{\circ}\text{C}$;

P_{1H} , P_{2H} , P_{3H} – втрати активної потужності у відповідних тілах у досліді номінального навантаження, Вт ;

P_{1K} , P_{2K} , P_{3K} – втрати активної потужності у відповідних тілах у досліді короткого замикання, Вт ;

P_{1X} , P_{2X} , P_{3X} – втрати активної потужності у відповідних тілах у досліді холостого ходу, Вт .

У досліді короткого замикання асинхронний електродвигун обдувається повітрям навколишнього середовища (наприклад, стороннім вентилятором), тому незмінною зберігається тепловіддача в навколишнє середовище. В цьому досліді механічні втрати дорівнюють нулю, а він проводиться при номінальному струмі в обмотці статора, тому прийнято, що $P_{3K} \approx 0$, а $P_{1K} \approx P_{1H}$ і $P_{2K} \approx P_{2H}$. У досліді холостого ходу напруга на затискачах електродвигуна номінальна, а ковзання $s \approx 0$, тому прийнято, що $P_{3X} \approx P_{3H}$ і $P_{2X} \approx 0$.

З урахуванням зазначених припущень система рівнянь (5) щодо коефіцієнтів a , b , c вирішена наступним чином:

$$a = \frac{\tau_{1K} + \tau_{1X} - \tau_{1H}}{P_{1X}}; \quad b = \frac{\tau_{1K} - a \cdot P_{1H}}{P_{2H}}; \quad c = \frac{\tau_{1H} - \tau_{1K}}{P_{3H}}. \quad (6)$$

Прийнято, що в процесі експлуатації коефіцієнти a , b , c залишаються незмінними в сталому режимі роботи електродвигуна, тому виникнення пошкоджень у вузлах електродвигуна позначається на втратах активної потужності та призводить до зміни функціонального стану. Тобто порівняння поточних значень вказаних втрат з базовими значеннями дозволяє встановити причини зміни функціонального стану асинхронного електродвигуна (пошкоджені в процесі експлуатації вузли).

З метою визначення несправних вузлів, що пошкоджуються в процесі виробничої експлуатації, введено коефіцієнти функціонального стану вузлів

асинхронного електродвигуна, в яких означені втрати визначаються в контрольному режимі (умовному режимі роботи електродвигуна з номінальною потужністю на валу при номінальній напрузі на затискачах: $U_1 = U_{1H}$; $P = P_H$):

$$\left. \begin{aligned} \delta_{MX} &= \frac{P_{3.MX}}{P_{3.MX.B}}; \\ \delta_{MG} &= \frac{P_{3.MG}}{P_{3.MG.B}}; \\ \delta_{E1} &= \frac{P_1}{P_{1B}}; & \delta_{R1} &= \frac{r_1}{r_{1B}}; \\ \delta_{E2} &= \frac{P_2}{P_{2B}}; & \delta_{R2} &= \frac{r_2}{r_{2B}}, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

- де δ_{MX} – коефіцієнт функціонального стану підшипників;
 $P_{3.MX}$, $P_{3.MX.B}$ – відповідно поточне і базове значення механічних втрат при роботі електродвигуна в контрольному режимі, *Вт*;
 δ_{MG} – коефіцієнт функціонального стану магнітопроводу;
 $P_{3.MG}$, $P_{3.MG.B}$ – відповідно поточне і базове значення втрат в магнітопроводі при роботі електродвигуна в контрольному режимі, *Вт*;
 δ_{E1} – коефіцієнт функціонального стану обмотки статора;
 P_1 , P_{1B} – відповідно поточне і базове значення електричних втрат в обмотці статора при роботі електродвигуна в контрольному режимі, *Вт*;
 δ_{R1} – коефіцієнт зміни активного опору фази обмотки статора внаслідок несправності;
 r_1 , r_{1B} – відповідно поточне і базове значення активного опору фази обмотки статора, які приведені до розрахункової робочої температури, *Ом*;
 δ_{E2} – коефіцієнт функціонального стану обмотки ротора;
 P_2 , P_{2B} – відповідно поточне і базове значення електричних втрат в обмотці ротора при роботі електродвигуна в контрольному режимі, *Вт*;
 δ_{R2} – коефіцієнт зміни активного опору фази обмотки ротора внаслідок несправності;
 r_2 , r_{2B} – відповідно поточне і базове значення активного опору фази обмотки ротора, які приведені до розрахункової робочої температури, *Ом*.

Проаналізовано взаємозв'язок між означеними коефіцієнтами і функціональним станом асинхронного електродвигуна, в результаті якого складено схему пошуку несправностей в асинхронному електродвигуні, що дозволяє встановити причини його переходу з одного функціонального стану в інший, тобто визначити несправні вузли (рис.2).

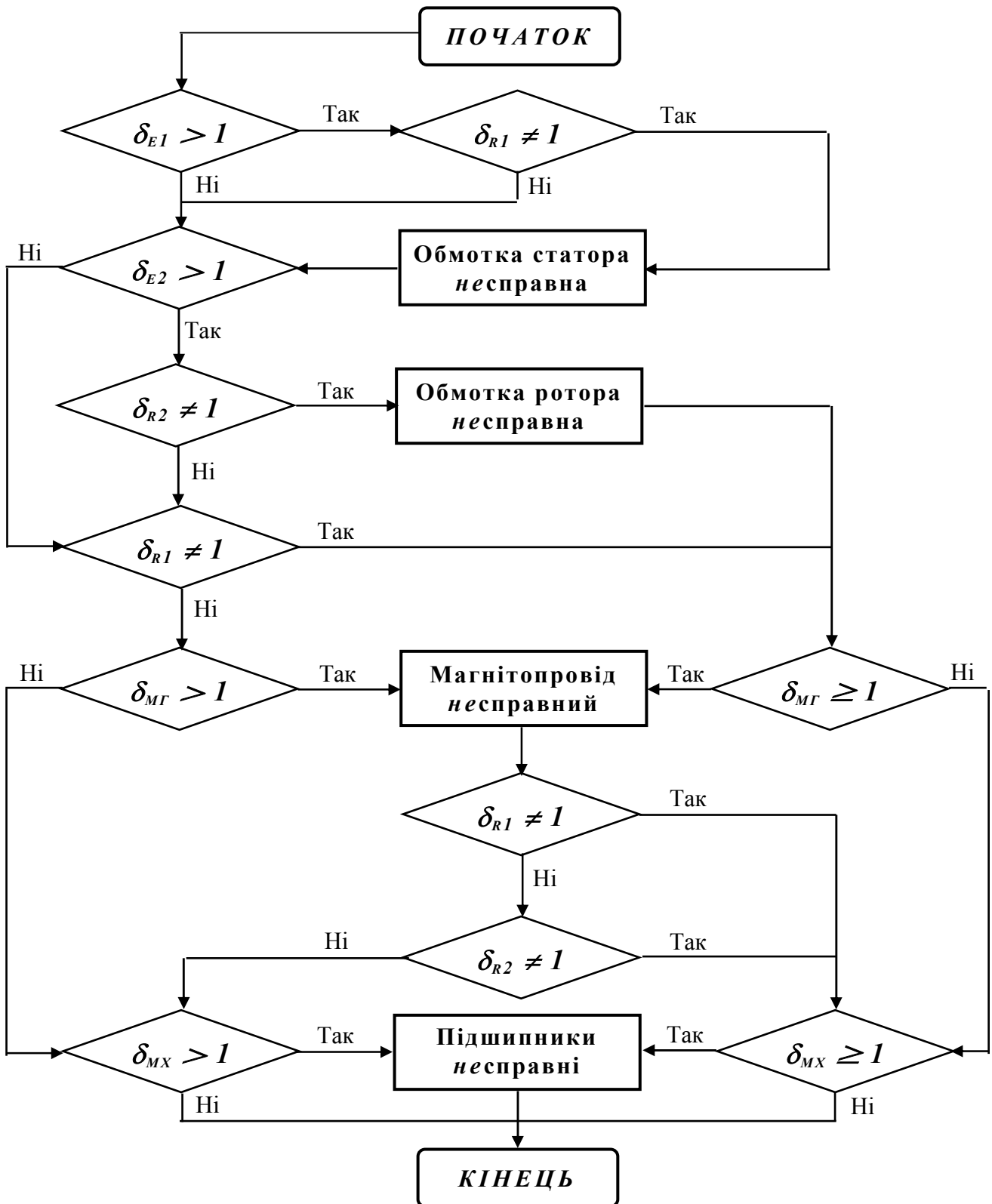


Рис.2. Схема пошуку несправностей в асинхронному електродвигуні.

Таким чином, для поточного контролю функціонального стану асинхронного електродвигуна необхідно визначати втрати активної потужності, що пропонується робити за допомогою кругової діаграми, яка є графічною моделлю процесу перетворення енергії в асинхронному електродвигуні та будується за результатами дослідів короткого замикання і холостого ходу, а також виміру омичного опору обмотки статора. Умови визначення втрат

активної потужності наступні: номінальна напруга на затискачах ($U_1 = U_{1H}$) та номінальна потужність на валу ($P = P_H$) електродвигуна. Через ці умови застосовано наближену кругову діаграму, яку розглянуто як геометричну побудову на площині в правій прямокутній системі координат, де по вісі абсцис відкладається реактивна потужність, а по вісі ординат – активна потужність (рис.3).

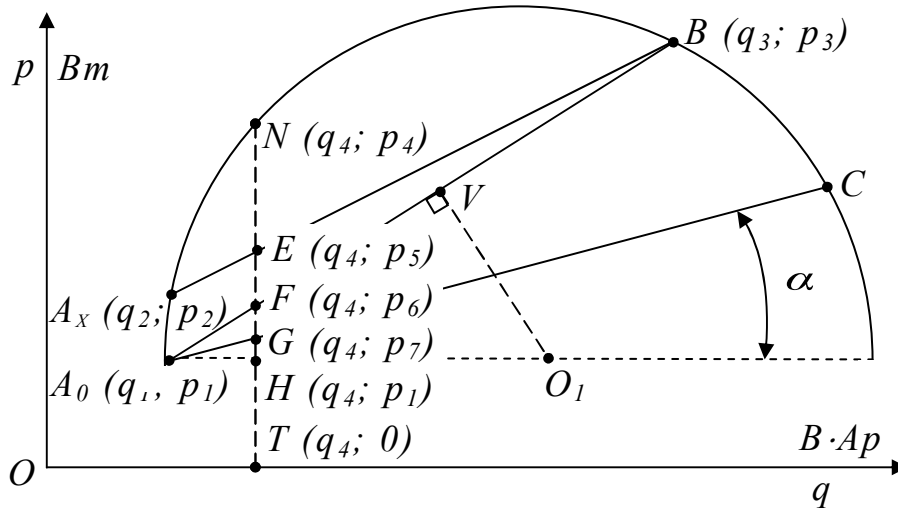


Рис.3. Наближена кругова діаграма асинхронного електродвигуна.

На круговій діаграмі (рис.3) наведено наступні умовні позначення:

$q_1 \dots q_4$ – поточне значення (поточна координата) реактивної потужності, $B \cdot Ar$;
 $p_1 \dots p_7$ – поточне значення (поточна координата) активної потужності, $Вт$.

Перетворення активної потужності відображено так:

$$\left. \begin{aligned} P_H &= m_1 \cdot |NE| \cdot m_p; & P_{MX} &= m_1 \cdot |NF| \cdot m_p; \\ P_{EM} &= m_1 \cdot |NG| \cdot m_p; & \eta &= |NE| / |NT|, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

де P_{EM}, P_{MX} – відповідно електромагнітна і механічна потужність електродвигуна в контрольному режимі, $Вт$;

η – коефіцієнт корисної дії електродвигуна в контрольному режимі;

m_1 – кількість фаз обмотки статора; m_p – масштаб потужності, $Вт/мм$;

$|NE|, |NF|, |NG|, |NT|$ – довжини відрізків на круговій діаграмі, $мм$.

Втрати P_1 визначаються відрізком GT ; втрати P_2 визначаються відрізком FG ; втрати P_3 визначаються відрізками EF і HT :

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= m_1 \cdot |GT| \cdot m_p - P_{3.MG}; \\ P_2 &= m_1 \cdot |FG| \cdot m_p; \\ P_3 &= m_1 \cdot (|EF| + |HT|) \cdot m_p - P_{1X}, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де $|GT|, |FG|, |EF|, |HT|$ – довжини відрізків на круговій діаграмі, $мм$.

Тобто для визначення шуканих втрат потужності необхідно виконувати ручні графічні побудови і виміри, що викликає похибки і незручності. Через це знайдено алгоритм розрахунку координат точок і довжин означених відрізків.

Початкові дані для описання кругової діаграми були наступні: омичний опір фази обмотки статора r_1 , який приведено до розрахункової робочої температури (визначається за допомогою безпосереднього виміру), а також координати точок $A_0 (q_1; p_1)$, $A_x (q_2; p_2)$ і $B (q_3; p_3)$, що визначаються для однієї фази асинхронного електродвигуна з дослідів холостого ходу і короткого замикання:

$$q_1 = Q_0 ; p_1 = P_0 ; q_2 = Q_x ; p_2 = P_x ; q_3 = Q_K ; p_3 = P_K , \quad (10)$$

де Q_0, P_0 – відповідно реактивна і активна потужність, споживана електродвигуном при ідеальному холостому ході, $B \cdot Ap, Bm$;
 Q_x, P_x – відповідно реактивна і активна потужність, споживана електродвигуном у досліді холостого ходу, $B \cdot Ap, Bm$;
 Q_K, P_K – відповідно реактивна і активна потужність, споживана електродвигуном у досліді короткого замикання, $B \cdot Ap, Bm$.

Застосувавши основні положення аналітичної геометрії на площині, кругову діаграму описано і складено алгоритм розрахунку, який дозволяє визначити втрати активної потужності P_1, P_2, P_3 та уникнути похибок і незручностей ручного графічного визначення означених величин:

$$\begin{aligned}
 p_4 &= p_{4.1} - \sqrt{p_{4.2}^2 - p_{4.1}^2}, & \text{де:} \\
 p_{4.1} &= \frac{P_H/m_1}{(p_2 - p_3)^2/(q_3 - q_2)^2 + 1} - \frac{q_2 p_3 - q_3 p_2}{(p_2 - p_3)/(q_3 - q_2) + q_3 - q_2} - \\
 & - \frac{(p_3 - p_1)^2 + q_3^2 - q_1^2}{2 \cdot (q_3 - q_1) \cdot ((p_2 - p_3)/(q_3 - q_2) + (q_3 - q_2)/(p_2 - p_3))}; \\
 p_{4.2} &= \frac{p_1^2}{(q_3 - q_2)^2/(p_2 - p_3)^2 + 1} + \frac{(P_H/m_1 (q_3 - q_2) - q_2 p_3 + q_3 p_2)^2}{(q_3 - q_2)^2 + (p_2 - p_3)^2} + \frac{1}{q_3/q_1 + 1} \times \\
 & \times \frac{(p_3 - p_1)^2 + q_3^2 - q_1^2}{(q_3 - q_2)^2/(p_2 - p_3)^2 + 1} - \frac{(p_3 - p_1)^2 + q_3^2 - q_1^2}{q_3 - q_1} \cdot \frac{P_H/m_1 (q_3 - q_2) - q_2 p_3 + q_3 p_2}{(q_3 - q_2)^2/(p_2 - p_3) + p_2 - p_3}; \\
 q_4 &= \frac{(p_4 - P_H/m_1) \cdot (q_3 - q_2) + q_2 p_3 - q_3 p_2}{p_3 - p_2}; \\
 p_5 &= \frac{q_4 (p_2 - p_3) - q_2 p_3 + q_3 p_2}{q_3 - q_2}; \\
 p_6 &= \frac{q_4 (p_1 - p_3) - q_1 p_3 + q_3 p_1}{q_3 - q_1}; \\
 p_7 &= p_1 + (q_4 - q_1) \cdot \left(2r_1 \cdot \left(q_3 + 2 \cdot (p_3 - p_1)^2 / (q_3 - q_1) \right) / U_{1H}^2 \right).
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
 P_1 &= m_1 \cdot p_7 - P_{3.MF}; \\
 P_2 &= m_1 \cdot (p_6 - p_7); \\
 P_3 &= m_1 \cdot (p_5 - p_6 + p_1) - P_{1X}.
 \end{aligned} \tag{12}$$

Для проведення дослідів холостого ходу і короткого замикання в експлуатаційних умовах сільськогосподарського виробництва вперше запропоновано як регулятор напруги використовувати асинхронний електродвигун з короткозамкнутим ротором, що має регульоване навантаження на валу (наприклад, вентиляторне навантаження), який за масою і габаритами значно менше існуючих регуляторів напруги. В цьому випадку електродвигуни з'єднують послідовно (рис.4).

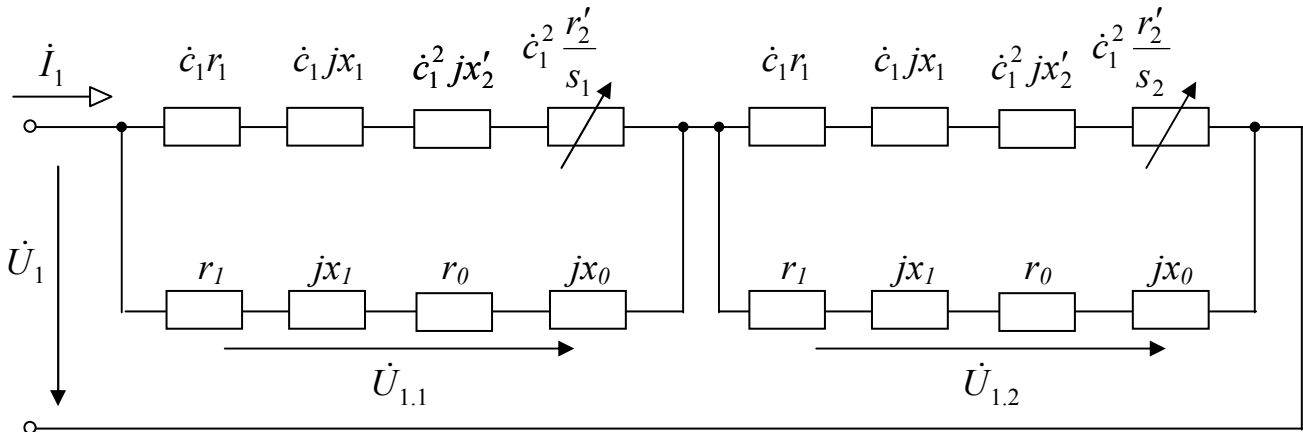


Рис.4. Г-образна схема заміщення однієї фази кола, що складається з двох послідовно з'єднаних асинхронних електродвигунів.

Повні опори асинхронних електродвигунів дорівнюють:

$$\left. \begin{aligned} Z_{1.1} &= \frac{\dot{c}_1 \cdot (r_1 + jx_1 + \dot{c}_1 jx_2 + \dot{c}_1 r'_2 / s_1) \cdot (r_1 + jx_1 + r_0 + jx_0)}{\dot{c}_1 \cdot (r_1 + jx_1 + \dot{c}_1 jx_2 + \dot{c}_1 r'_2 / s_1) + (r_1 + jx_1 + r_0 + jx_0)}; & Z_{1.1} &= f(s_1) = var; \\ Z_{1.2} &= \frac{\dot{c}_1 \cdot (r_1 + jx_1 + \dot{c}_1 jx_2 + \dot{c}_1 r'_2 / s_2) \cdot (r_1 + jx_1 + r_0 + jx_0)}{\dot{c}_1 \cdot (r_1 + jx_1 + \dot{c}_1 jx_2 + \dot{c}_1 r'_2 / s_2) + (r_1 + jx_1 + r_0 + jx_0)}; & Z_{1.2} &= f(s_2) \approx const. \end{aligned} \right\} (13)$$

Регулюючи ковзання s_1 першого асинхронного електродвигуна, можна змінювати силу струму в колі та напругу на затисках електродвигунів:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{1.1} + \dot{U}_{1.2} = \dot{I}_1 Z_{1.1} + \dot{I}_1 Z_{1.2}, \quad (14)$$

- де \dot{U}_1 – напруга на затисках кола, В;
 $\dot{U}_{1.1}$ – напруга на затисках асинхронного електродвигуна, що використовується як регулятор напруги, В;
 $\dot{U}_{1.2}$ – напруга на затисках асинхронного електродвигуна, що діагностується, В;
 \dot{I}_1 – сила струму в колі, А;
 $Z_{1.1}$ – повний опір асинхронного електродвигуна, що використовується як регулятор напруги, Ом;
 $Z_{1.2}$ – повний опір асинхронного електродвигуна, що діагностується, Ом.

Діапазон регулювання напруги на затисках асинхронного електродвигуна, що діагностується, у випадку застосування як регулятора напруги асинхронного електродвигуна рівної потужності наступний: $0,5 \cdot \dot{U}_1 \leq \dot{U}_{1,2} < \dot{U}_1$. У випадку використання електродвигуна більшої потужності діапазон регулювання напруги буде звужений.

За результатами досліду холостого ходу визначаються втрати потужності в магнітопроводі ($P_{3.MT}$) і механічні втрати ($P_{3.MX}$). Виконавши дослід при двох значеннях напруги на затисках асинхронного електродвигуна, що діагностується, їх запропоновано розраховувати наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} P_{3.MX} &= \frac{U_{X.H}^2 \cdot (P_{X.1} - P_{1X.1}) - U_{X.1}^2 \cdot (P_{X.H} - P_{1X.H})}{U_{X.H}^2 - U_{X.1}^2}; \\ P_{3.MT} &= P_{X.H} - P_{1X.H} - P_{3.MX}, \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

де $U_{X.H}$, $U_{X.1}$ – відповідно номінальна і знижена напруга на затисках електродвигуна в досліді, B ;

$P_{X.H}$, $P_{X.1}$ – споживана електродвигуном в досліді активна потужність відповідно при номінальній і зниженій напрузі, Bm ;

$P_{1X.H}$, $P_{1X.1}$ – електричні втрати в обмотці статора відповідно при номінальній і зниженій напрузі, Bm .

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА І ПЕРЕВІРКА МЕТОДА ДІАГНОСТУВАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПРИ ВИРОБНИЧІЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Розроблено метод діагностування асинхронного електродвигуна при виробничій експлуатації, що складається з 8-ми операцій:

- *операція 1*: визначення активних опорів (обмотки статора при розрахунковій робочій температурі та після дослідів короткого замикання і холостого ходу, а також обмотки ротора);
- *операція 2*: дослід короткого замикання (визначення втрат активної й реактивної потужності при номінальній напрузі та перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища);
- *операція 3*: дослід холостого ходу (визначення втрат активної потужності в обмотці статора, в магнітопроводі, механічних втрат і втрат реактивної потужності при номінальній напрузі, а також перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища);
- *операція 4*: визначення втрат активної потужності у вузлах електродвигуна за допомогою кругової діаграми;
- *операція 5*: визначення коефіцієнтів впливу втрат активної потужності у вузлах електродвигуна на нагрівання обмотки статора;
- *операція 6*: визначення швидкості витрати ресурсу ізоляції обмотки статора електродвигуна;
- *операція 7*: визначення коефіцієнтів функціонального стану електродвигуна;
- *операція 8*: визначення функціонального стану електродвигуна.

У початковий момент виробничої експлуатації (після проведення пуско-налагоджувальних робіт) виконується діагностування справного асинхронного електродвигуна, що має базовий (номінальний) функціональний стан. Послідовність виконання операцій при базовому діагностуванні показана на рис.5, на якому числа 1, 2, 3, 4, 5 означають номери відповідних операцій, показаних вище.

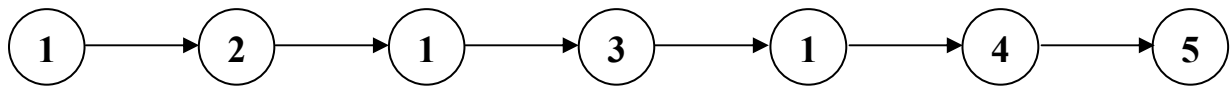


Рис.5. Послідовність виконання операцій при базовому діагностуванні.

Через заданий інтервал часу виробничої експлуатації виконується діагностування асинхронного електродвигуна, що має поточний функціональний стан (можливо відмінний від базового). Послідовність виконання операцій при поточному діагностуванні показана на рис.6, на якому числа 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 означають номери відповідних операцій, показаних вище.

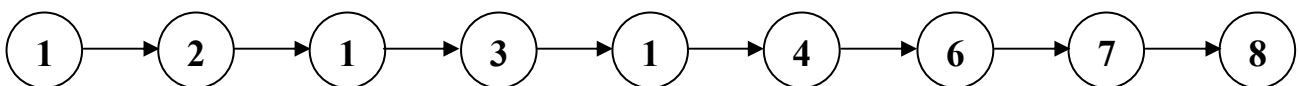


Рис.6. Послідовність виконання операцій при поточному діагностуванні.

Взаємозв'язок між операціями при контролі базового (номінального) функціонального стану електродвигуна представлено на рис.7. Взаємозв'язок між операціями при контролі поточного функціонального стану електродвигуна представлено на рис.8, 9.

При діагностуванні асинхронного електродвигуна вимірюються наступні фізичні величини: температура навколишнього середовища, омичний опір кожної фази обмотки статора в практично холодному стані електродвигуна та після дослідів короткого замикання і холостого ходу, сила струму й активна потужність, споживана електродвигуном в дослідах короткого замикання і холостого ходу; всі інші величини розраховуються у табличному редакторі "Microsoft Excel" за допомогою складеної програми "Діагност".

Розроблений метод діагностування асинхронного електродвигуна експериментально перевірено на вірогідність і здатність виявляти несправності, що є характерними для нього при виробничій експлуатації, для чого використано прискорений експеримент у лабораторних умовах. Прискорення експерименту полягало в навмисному введенні певної несправності в один з вузлів електродвигуна ("навмисної поломки") і наступному визначенні даної несправності запропонованим методом; тобто спочатку було виконано діагностування асинхронного електродвигуна, що мав номінальний (базовий) функціональний стан, а після цього – введення певної несправності та визначення несправного вузла запропонованим методом.

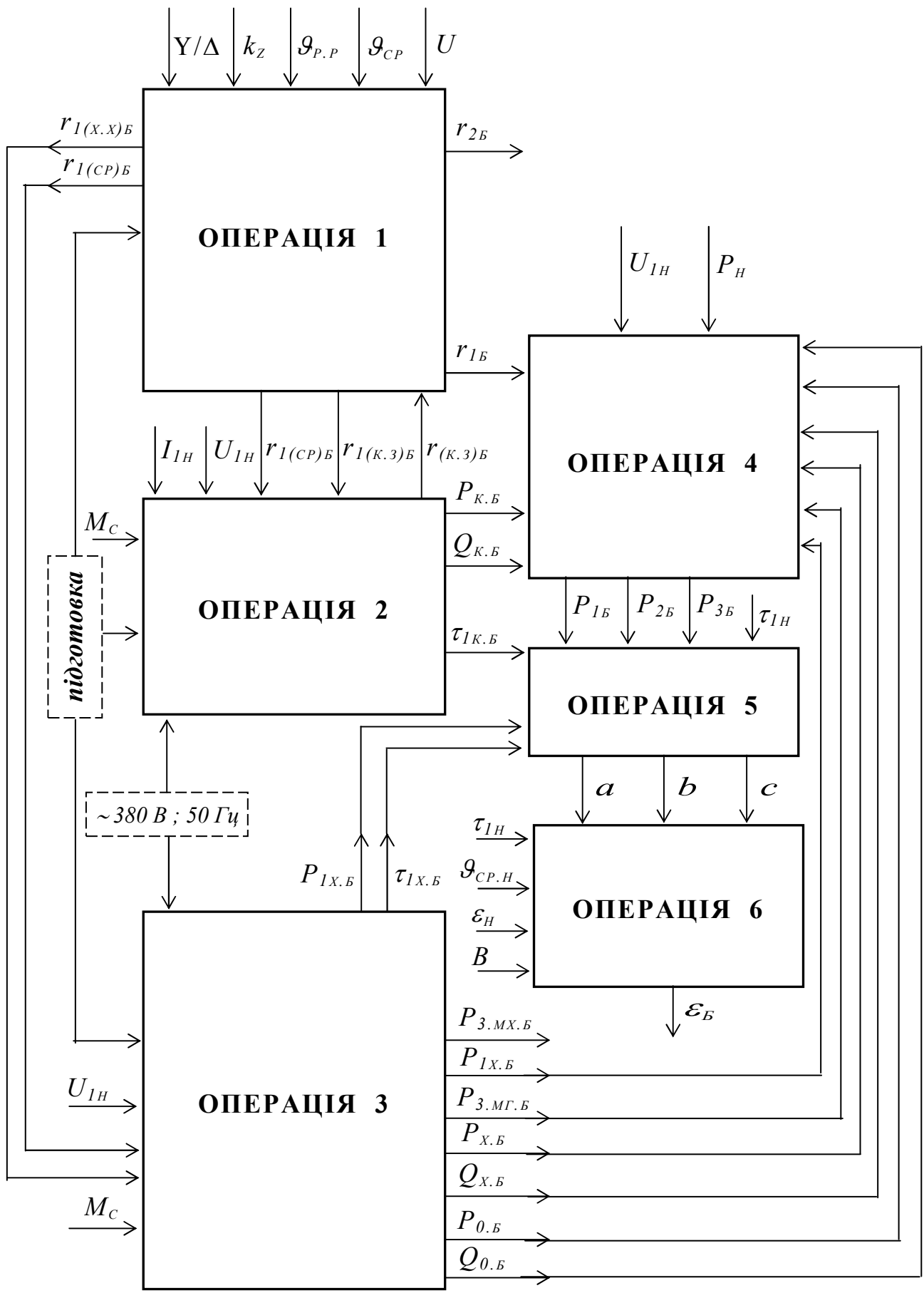


Рис.7. Структурна схема технологічного процесу контролю базового (номінального) функціонального стану асинхронного електродвигуна.

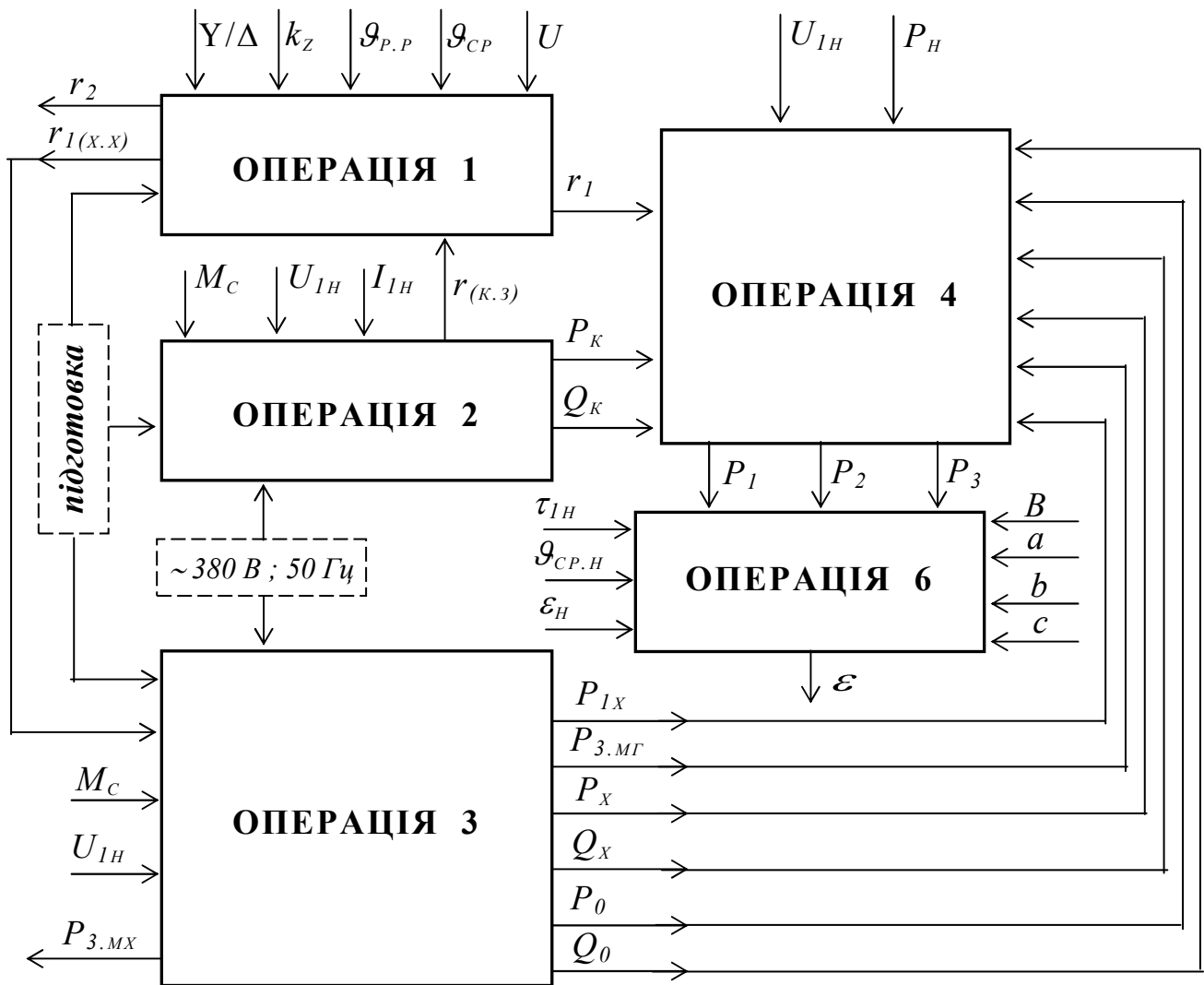


Рис.8. Структурна схема технологічного процесу контролю поточного функціонального стану асинхронного електродвигуна.

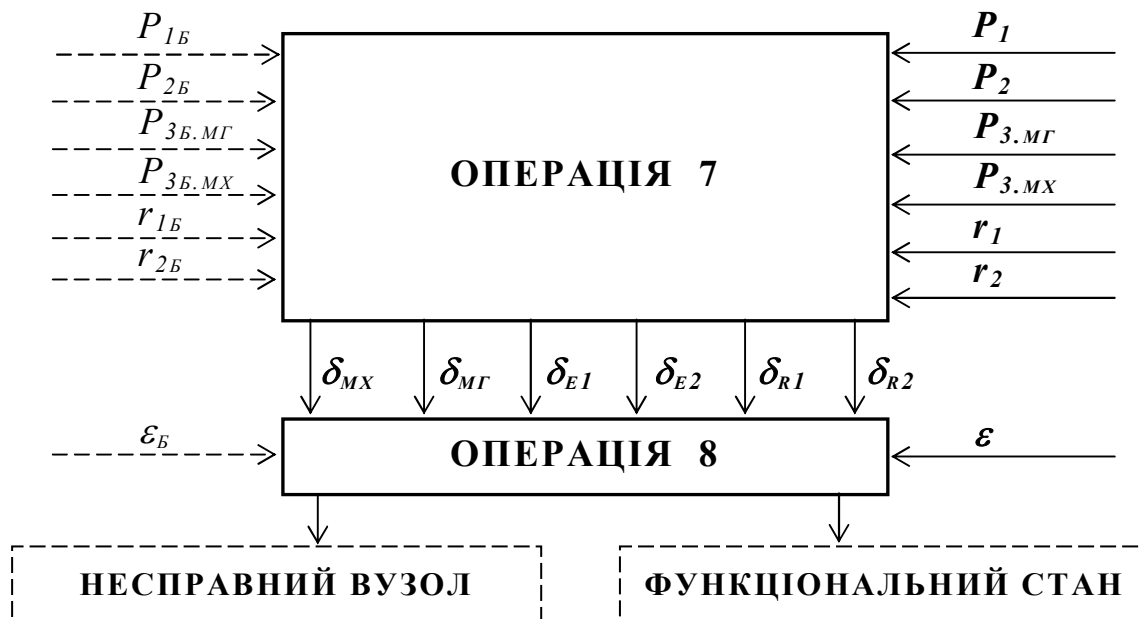


Рис.9. Структурна схема технологічного процесу визначення поточного функціонального стану асинхронного електродвигуна і пошуку несправного вузла.

Для аналізу результатів експериментальної перевірки методу діагностування його схематично представлено у вигляді, наведеному на рис.10.

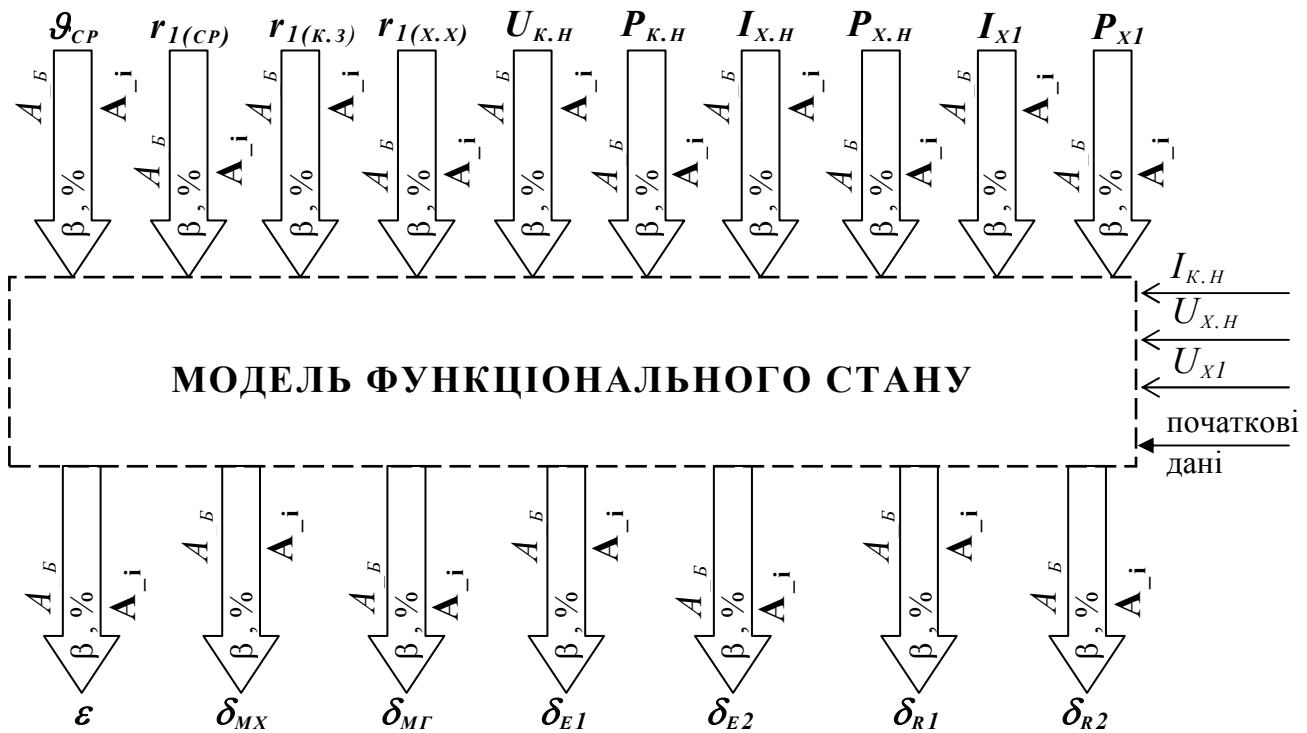


Рис.10. Схема методу діагностування асинхронного електродвигуна.

На схемі (рис.10) показано вхідні величини, що безпосередньо вимірювались при діагностуванні (ϑ_{CP} – температура навколишнього середовища; $r_{I(CP)}, r_{I(K.3)}, r_{I(X.X)}$ – активний опір обмотки статора відповідно в практично холодному стані та після дослідів короткого замикання і холостого ходу; $P_{K.H}, P_{X.H}, P_{X1}, U_{K.H}, U_{X.H}, U_{X1}, I_{K.H}, I_{X.H}, I_{X1}$ – споживана активна потужність, напруга на затисках і сила струму в обмотці статора відповідно в досліді короткого замикання і холостого ходу) і вихідні величини, що при діагностуванні розраховувались. Зазначені величини мали базові і поточні значення (A_B, A_i), які визначались з відносною похибкою β . Модель функціонального стану – це сукупність розрахунків, передбачених операціями 1 – 8. Базові значення $\varepsilon, \delta_{MX}, \delta_{MG}, \delta_{E1}, \delta_{E2}, \delta_{R1}, \delta_{R2}$ дорівнюють *одиниці*. Незмінні – початкові дані, необхідні для діагностування асинхронного електродвигуна; сила струму в обмотці статора в досліді короткого замикання ($I_{K.H}$) та напруга на затисках електродвигуна в досліді холостого ходу ($U_{X.H}; U_{X1}$).

Контрольований електродвигун – асинхронний електродвигун типу 4А80В2У3, регулятор напруги – аналогічний електродвигун з вентиляторним навантаженням на валу. Вимірювальні прилади: вимірювальний міст Р-333, вимірювальний комплект К-505 і термометр ТУЭ-48, що серійно випускаються. З метою зниження випадкових похибок у кожній операції методу діагностування виконувалось шість незалежних спостережень: вимірів і розрахунків.

В електродвигун по черзі вводилися наступні несправності:

- *несправність 1*: несправність підшипника;
- *несправність 2*: несправність обмотки статора;
- *несправність 3*: несправність підшипника і несправність обмотки статора;

- *несправність 4*: несправність підшипника і несправність обмоток статора і ротора.

Несправність 1. Введення несправності підшипника здійснювалось заміною одного справного підшипника, встановленого з боку вала, на підшипник аналогічного номера, що перебував в експлуатації якийсь час і мав радіальний зазор, який перевищує граничне значення.

Метод діагностування (з імовірністю 0,985) показав наступне: функціональний стан асинхронного електродвигуна *неномінальний*, тому що швидкість витрати ресурсу збільшилась ($\varepsilon = 1,04$); підшипниковий вузол *несправний*, тому що механічні втрати зросли ($\delta_{MX} = 1,54$); магнітопровід справний, тому що втрати в ньому знизилися ($\delta_{MG} = 0,79$); обмотка статора справна, тому що її активний опір не змінився ($\delta_{R1} = 1,00$); обмотка ротора справна, тому що її активний опір не змінився ($\delta_{R2} = 1,00$).

Несправність 2. Введення несправності в обмотку статора (виткового замикання) здійснювалось припаюванням в лобовій частині однієї з фаз обмотки перемички з мідного дроту діаметром 0,7 мм, що замикала накоротко кілька витків.

Метод діагностування (з імовірністю 0,985) показав наступне: функціональний стан асинхронного електродвигуна *неномінальний*, тому що швидкість витрати ресурсу збільшилась ($\varepsilon = 1,09$); підшипниковий вузол справний, тому що механічні втрати знизилися ($\delta_{MX} = 0,98$); магнітопровід справний, тому що втрати в ньому знизилися ($\delta_{MG} = 0,92$); обмотка статора *несправна*, тому що електричні втрати в обмотці статора зросли ($\delta_{E1} = 1,01$), а її активний опір зменшився ($\delta_{R1} = 0,97$); обмотка ротора справна, тому що її активний опір не змінився ($\delta_{R2} = 1,00$).

Несправність 3. Введення несправності здійснювалось в такий спосіб. Асинхронний електродвигун мав несправну обмотку статора, несправність залишилася після попередньої перевірки. У цього електродвигуна був замінений один справний підшипник, встановлений з боку вала, на підшипник аналогічного номера, що перебував в експлуатації якийсь час і мав радіальний зазор, який перевищує граничне значення.

Метод діагностування (з імовірністю 0,985) показав наступне: функціональний стан асинхронного електродвигуна *неномінальний*, тому що швидкість витрати ресурсу збільшилась ($\varepsilon = 1,13$); підшипниковий вузол *несправний*, тому що механічні втрати зросли ($\delta_{MX} = 1,53$); магнітопровід справний, тому що втрати в ньому знизилися ($\delta_{MG} = 0,71$); обмотка статора *несправна*, тому що електричні втрати в обмотці статора зросли ($\delta_{E1} = 1,03$), а її активний опір зменшився ($\delta_{R1} = 0,97$); обмотка ротора справна, тому що її активний опір не змінився ($\delta_{R2} = 1,00$).

Несправність 4. Введення несправності здійснювалось в такий спосіб. Асинхронний електродвигун мав несправну обмотку статора і несправний підшипник, несправності залишилися після попередньої перевірки. У цього електродвигуна був замінений справний ротор іншим, котрий мав один

відірваний стрижень. Схематичне відображення вхідних і вихідних величин, що змінились при зазначеній несправності, показано на рис.11.

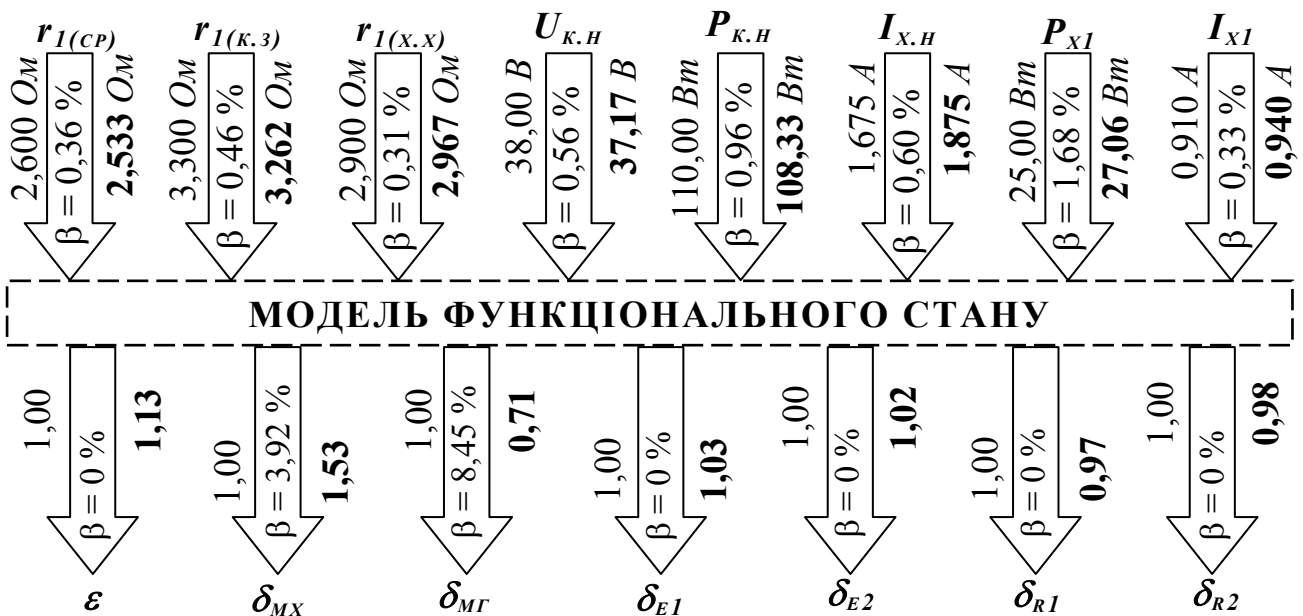


Рис.11. Схема методу діагностування асинхронного електродвигуна при несправному підшипнику і несправних обмотках статора і ротора.

Метод діагностування (з імовірністю 0,985) показав наступне: функціональний стан асинхронного електродвигуна *неномінальний*, тому що швидкість витрати ресурсу збільшилась ($\varepsilon = 1,13$); підшипниковий вузол *несправний*, тому що механічні втрати зросли ($\delta_{MX} = 1,53$); магнітопровід *справний*, тому що втрати в ньому знизилися ($\delta_{MG} = 0,71$); обмотка статора *несправна*, тому що електричні втрати в обмотці статора зросли ($\delta_{E1} = 1,03$), а її активний опір зменшився ($\delta_{R1} = 0,97$); обмотка ротора *несправна*, тому що електричні втрати в обмотці ротора зросли ($\delta_{E2} = 1,02$), а її активний опір зменшився ($\delta_{R2} = 0,98$). Зі схеми (рис.11) видно, що цей висновок справедливий.

Таким чином, експериментальна перевірка показала, що метод діагностування асинхронного електродвигуна достовірний і дозволяє знайти несправні вузли асинхронного електродвигуна, що пошкоджуються при виробничій експлуатації на підприємствах агропромислового комплексу (несправність підшипникового вузла, обмотки статора, обмотки ротора або сукупні несправності цих вузлів).

Техніко-економічний аналіз технічного сервісу, в якому застосовується запропонований метод діагностування, показав, що збитки підприємств агропромислового комплексу від незапланованих відмовлень асинхронних електродвигунів можуть зменшитися у 2 рази в порівнянні з існуючим варіантом технічного сервісу, при цьому впровадження методу діагностування не потребує капіталовкладень.

ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень зроблено наступні висновки:

1. В середньому по Україні на підприємствах агропромислового комплексу щорічно відмовляє 20 – 25 % наявного парку електродвигунів, до чого призводить недостатній рівень експлуатації, зокрема – відсутність своєчасного повного контролю їх стану, яка обумовлена нераціональністю існуючих методів діагностування. В дисертації досліджено роботоздатність асинхронних електродвигунів при виробничій експлуатації, вдосконалено методику її оцінки і обґрунтовано раціональний метод їх діагностування.
2. Обґрунтовано методику оцінки роботоздатності асинхронних електродвигунів за їх функціональним станом, яка заснована на показниках: корисної потужності на валу і швидкості витрати ресурсу обмотки статора, яка є функцією втрат активної потужності у вузлах електродвигуна (обмотках статора і ротора, сталі) та залежить від постійних конструкційних коефіцієнтів впливу цих втрат на нагрівання обмотки статора.
3. Отримано методику визначення коефіцієнтів впливу втрат активної потужності на нагрівання обмотки статора асинхронного електродвигуна за допомогою введених нових параметрів теплового стану електродвигуна: перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища в дослідах холостого ходу і короткого замикання.
4. Описано кругову діаграму асинхронного електродвигуна для аналітичного розрахунку фізичних величин, що характеризують роботу електродвигуна в заданому режимі.
5. Розроблено методику пошуку несправностей в асинхронному електродвигуні на порівнянні поточних значень втрат активної потужності у вузлах електродвигуна й активних опорів обмоток з базовими значеннями за допомогою базової та поточної кругової діаграми.
6. Обґрунтовано спосіб проведення дослідів холостого ходу і короткого замикання за допомогою асинхронного електродвигуна з короткозамкнутим ротором з регульованим навантаженням на валу.
7. Розроблено метод діагностування асинхронних електродвигунів, який дозволяє контролювати їх роботоздатність в процесі виробничої експлуатації і знаходити пошкоджені вузли.
8. Експериментальна перевірка методу діагностування асинхронних електродвигунів підтвердила вірогідність і здатність виявляти несправності електродвигунів з імовірністю 0,985. Техніко-економічний аналіз методу діагностування показав, що його впровадження дозволить знизити збитки підприємств агропромислового комплексу від незапланованих виходів з ладу асинхронних електродвигунів більш ніж у 2 рази.
9. Впровадження методу діагностування асинхронних електродвигунів на 2 сільськогосподарських і 1 промисловому підприємстві показало, що за рік його використання експлуатаційна надійність електродвигунів збільшилась на 11 – 15 %, значно покращилася культура праці електротехнічного персоналу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. *Вовк А.Ю., Овчаров С.В.* Диагностирование асинхронных двигателей при помощи круговой диаграммы // Техника в сельском хозяйственном производстве: Труды / Таврическая государственная агротехническая академия. – Мелитополь: ТГАТА. – Вып.1, Т.3. – 1997. – С.97 – 100. (*Особистий внесок – 50 %.* Розробка принципу діагностування асинхронних електродвигунів за допомогою кругової діаграми).
2. *Овчаров В.В., Вовк О.Ю.* Метод діагностування асинхронних електродвигунів за допомогою двигуна з активним навантаженням // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. – Мелітополь: ТДАТА. – Вип.1, Т.11. – 1999. – С.8 – 10. (*Особистий внесок – 50 %.* Розрахунок параметрів електродвигунів).
3. *Вовк О.Ю.* Діагностування енергетичних показників асинхронних двигунів в експлуатаційних умовах сільськогосподарського виробництва // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства / Питання електрифікації сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ. – Вип.3. – 2000. – С.58 – 63.
4. *Вовк О.Ю.* Розрахунок терміну служби асинхронних двигунів під час експлуатації // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. – Мелітополь: ТДАТА. – Вип.1, Т.17. – 2000. – С.94 – 98.
5. *Вовк О.Ю.* Спрощення досліду холостого ходу асинхронних двигунів // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. – Мелітополь: ТДАТА. – Вип.1, Т.18. – 2001. – С.136 – 140.
6. *Овчаров В.В., Вовк О.Ю.* Теоретичні передумови комплексного діагностування асинхронних двигунів // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. – Мелітополь: ТДАТА. – Вип.1, Т.21. – 2001. – С. 4 – 6. (*Особистий внесок – 50 %.* Розробка принципу комплексного діагностування).
7. *Вовк О.Ю.* Сталий процес нагрівання асинхронного електродвигуна // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. – Мелітополь: ТДАТА. – Вип.5. – 2002. – С.62 – 66.

АНОТАЦІЯ

***Вовк О.Ю.* Експлуатаційний контроль роботоздатності асинхронних електродвигунів за їх функціональним станом. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.16 – електротехнології та електрообладнання в агропромисловому комплексі. Таврійська державна агротехнічна академія. – Мелітополь, 2003.

Робота спрямована на підвищення надійності асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором при виробничій експлуатації на підприємствах агропромислового комплексу шляхом їх діагностування. В дисертації вдосконалено методику оцінки роботоздатності означених електродвигунів і обґрунтовано раціональний метод їх діагностування.

Роботоздатність асинхронних електродвигунів вперше запропоновано визначати за їх функціональним станом у сільськогосподарському виробництві. Цей стан представлено в трьох варіантах (номінальний функціональний, неномінальний функціональний, нефункціональний) і охарактеризовано за допомогою наступних показників: корисної потужності на валу і швидкості витрати ресурсу обмотки статора. Визначено, що зміна швидкості витрати ресурсу при незмінній потужності на валу електродвигуна обумовлена виникненням пошкоджень у його вузлах. Встановлено взаємозв'язок між змінами втрат активної потужності і зміною функціонального стану асинхронного електродвигуна, на базі якого розроблено новий метод діагностування, що дозволяє контролювати його роботоздатність в процесі виробничої експлуатації і знаходити пошкоджені вузли.

***Ключові слова:** асинхронний електродвигун, роботоздатність, функціональний стан, швидкість витрати ресурсу, втрати активної потужності, контрольний режим роботи, кругова діаграма, діагностування.*

АННОТАЦІЯ

Вовк А.Ю. Эксплуатационный контроль работоспособности асинхронных электродвигателей по их функциональному состоянию. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.16 – электротехнологии и электрооборудование в агропромышленном комплексе. Таврическая государственная агротехническая академия. – Мелитополь, 2003.

Работа направлена на повышение надёжности асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором при производственной эксплуатации на предприятиях агропромышленного комплекса путём их диагностирования. Установлено, что к ежегодному отказу 20 – 25 % наличного парка асинхронных электродвигателей приводит недостаточный уровень их эксплуатации, в частности – отсутствие своевременного полного контроля состояния электродвигателей. Эта проблемная ситуация обусловлена нерациональностью существующих методов диагностирования (высокой стоимостью их технической реализации; неполным контролем состояния электродвигателей; направленностью исключительно на поиск неисправностей; отсутствием контроля работоспособности электродвигателей при работе в заданном режиме). Поэтому в работе усовершенствована методика оценки состояния асинхронных электродвигателей и на её основе обоснован рациональный метод их диагностирования.

Работоспособность асинхронного электродвигателя предложено оценивать по его функциональному состоянию, при котором он может выполнять свои функции в соответствии с назначением (т.е. приводить в движение рабочую машину или отдельный её узел). Это состояние представлено в трёх вариантах (номінальное функціональне, неномінальное функціональне, нефункціональное) и охарактеризовано с помощью следующих показателей: скорости расхода ресурса и активной мощности на валу.

Принято, что номинальное функциональное состояние характеризуется номинальной скоростью расхода ресурса (1 базовый час ресурса за час работы) при номинальной мощности на валу. Определено, что увеличение скорости расхода ресурса сверх номинального значения при номинальной мощности на валу указывает на потерю электродвигателем номинального (базового) функционального состояния. При нефункциональном состоянии асинхронный электродвигатель, расходуя ресурс, не может развивать активную мощность на валу.

Установлено, что скорость расхода ресурса обмотки статора асинхронного электродвигателя является функцией потерь активной мощности в узлах электродвигателя (обмотках статора и ротора, стали) и зависит от постоянных конструктивных коэффициентов влияния этих потерь на нагрев обмотки статора. Обоснована методика экспериментального определения этих коэффициентов на основе новых введенных параметров теплового состояния электродвигателя: превышения температуры обмотки статора над температурой окружающей среды в опытах холостого хода и короткого замыкания.

Потери активной мощности в узлах асинхронного электродвигателя предложено определять по его круговой диаграмме, для которой получен алгоритм расчёта указанных потерь в контрольном режиме работы: при номинальном напряжении на зажимах и номинальной мощности на валу двигателя.

Переход асинхронного электродвигателя из одного функционального состояния в другое (в результате повреждения) сопровождается изменением потерь активной мощности в узлах электродвигателя. Поэтому введены коэффициенты функционального состояния узлов двигателя, равные отношению текущих значений активных сопротивлений обмоток статора и ротора и этих потерь к базовым значениям. Разработана методика поиска неисправностей в электродвигателе, основанная на взаимосвязи между указанными коэффициентами и функциональным состоянием асинхронного электродвигателя, которая позволяет определять неисправные узлы при периодическом контроле в процессе эксплуатации.

Обоснован способ проведения диагностических испытаний (опытов холостого хода и короткого замыкания) в эксплуатационных условиях сельскохозяйственного производства, в котором впервые в качестве регулятора напряжения используется асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, имеющий регулируемую нагрузку на валу. Масса и габариты такого регулятора напряжения значительно меньше применяющихся на практике регуляторов.

Разработан метод диагностирования асинхронного электродвигателя, который позволяет контролировать его работоспособность при производственной эксплуатации на предприятиях агропромышленного комплекса и определять неисправные узлы. Суть метода состоит в сравнении базового состояния электродвигателя с текущим состоянием на основе базовой и текущей круговой диаграммы. Сравнение состояний электродвигателя осуществляется в одинаковых условиях (в контрольном режиме работы).

При диагностировании электродвигателя измеряются следующие физические величины: температура окружающей среды, омическое сопротивление каждой фазы обмотки статора в практически холодном состоянии электродвигателя и после опытов короткого замыкания и холостого хода, сила тока и активная мощность, потребляемая электродвигателем в опытах короткого замыкания и холостого хода. Остальные величины рассчитываются в табличном редакторе “Microsoft Excel” с помощью составленной программы “Диагност”.

Экспериментальная проверка разработанного метода диагностирования осуществлена с помощью ускоренного эксперимента: ввод неисправности (“умышленная поломка”) – выявление неисправности. Она подтвердила достоверность метода и его способность обнаруживать неисправные узлы асинхронного электродвигателя.

Технико-экономический анализ метода диагностирования показал, что его внедрение позволит снизить убытки предприятий агропромышленного комплекса от незапланированных отказов асинхронных электродвигателей при производственной эксплуатации более чем в 2 раза. Внедрение метода диагностирования на 2 сельскохозяйственных и 1 промышленном предприятии показало, что за год его использования эксплуатационная надёжность электродвигателей повысилась на 11 – 15 %, значительно улучшилась культура труда электротехнического персонала.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, работоспособность, функциональное состояние, скорость расхода ресурса, потери активной мощности, контрольный режим работы, круговая диаграмма, диагностирование.

SUMMARY

Vovk A. The operational control of functionality of asynchronous electric motors on their functional condition. – Manuscript.

Thesis for a technical science candidate's degree by specialty 05.09.16 – electrotechnology and electric equipment in the agroindustrial complex. – Tavria State Agrotechnical Academy. – Melitopol, 2003.

The work is dedicated to increasing of reliability of asynchronous electric motors with a cage rotor in the process of manufacturing exploitation on agro-industrial complex with the help of his diagnosing as a system of interdependent clusters functioning in a given mode. Degree's researches were directed on advancing of a technique of an estimation of functionality of electric motors, substantiation of a rational method of their diagnosing, the intrusion of which will stipulate the well-timed control of a condition of electric motors and will put to increasing of their operational reliability. During researches a technique of an estimation of functionality of asynchronous motors on their functional condition was justified, on the basis of which the method of diagnosing of asynchronous electric motors is designed, which allows to control functionality of electric motors at manufacturing exploitation and to find injured clusters.

Key words: asynchronous electric motor, functionality, functional condition, speed of a resource consumption, losses of active power, control operational mode, circular chart, diagnosing.