

УДК 321.313.333.2

ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРІОДИЧНОГО КОНТРОЛЮ РОБОТОЗДАТНОСТІ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Вовк О.Ю., к.т.н.,

Квітка С.О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-32-63

Анотація – представлено технологію періодичного контролю роботоздатності асинхронних електродвигунів, яка спрямована на підвищення експлуатаційної надійності асинхронних електродвигунів на підприємствах агропромислового комплексу.

Ключові слова – асинхронний електродвигун, роботоздатність, діагностування, втрати потужності.

Постановка проблеми. 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 [1, 2].

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 технології періодичного контролю роботоздатності асинхронних еле-

ктродвигунів, яка забезпечить всебічну оцінку стану цих електродвигунів, а також спростить практичну реалізацію діагностування в порівнянні з існуючою, є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Методи періодичного діагностування асинхронних електродвигунів, що існують не цей час, можна розподілити на три групи. До першої групи слід віднести методи, які спрямовані на контроль роботоздатності одного з вузлів електродвигуна (найчастіше – обмотки статора або підшипників). Друга група – це методи, що передбачають контроль роботоздатності електродвигуна за одним узагальнюючим параметром (наприклад, силою споживаного струму або ковзанням). Третя група – це послідовний функціональний аналіз роботоздатності вузлів електродвигуна [3]. Аналіз зазначених методів виявив наступні недоліки: висока вартість технічної реалізації методів, неповний контроль стану електродвигуна, спрямованість виключно на пошук пошкоджень із значною витратою часу на діагностування, відсутність контролю роботоздатності електродвигуна при роботі в заданому режимі.

Основна частина. Роботоздатність асинхронного електродвигуна – це його здатність надавати руху приводному агрегату (робочій машині), що визначається функціональним станом електродвигуна. До узагальнених показників роботоздатності відносять вібраційні й акустичні параметри електродвигуна, характеристики його магнітного і температурного поля, споживані двигуном з мережі потужність, струм, напругу, а також ковзання, струм або напругу нульової послідовності й інші показники [4]. В експлуатації їх контролюють в основному безперервно за допомогою захисної апаратури або пристроїв функціонального контролю, а на заводах-виготовлювачах – за допомогою стендів для випробувань і спеціальних установок [5].

Періодичне діагностування роботоздатності асинхронних електродвигунів на підприємствах агропромислового комплексу здійснюється за технологіями, для реалізації яких необхідні мобільні діагностичні установки на базі автотранспортного засобу (тобто дуже коштовний технічний засіб), які дозволяють діагностувати не тільки асинхронні електродвигуни, а й трансформатори невеликої потужності, кабелі, комутаційну та захисну апаратуру (тобто кваліфікація електротехнічного персоналу повинна бути високою).

В даному випадку виконують послідовний функціональний аналіз асинхронного електродвигуна, визначаючи функціональний стан його окремих елементів, при цьому витрачають на це декілька годин робочого часу.

Діагностичні параметри, які контролюються існуючими технологіями періодичного контролю роботоздатності асинхронних електродвигунів, характеризують функціональний стан окремого елемента конструкції електродвигуна. Тому раціональним є контроль такого уза-

гальненого показника роботоздатності асинхронних електродвигунів, як коефіцієнт корисної дії, що характеризує електродвигун як магнітну електромеханічну систему. Допустиме його значення для асинхронних електродвигунів потужністю до 11 кВт (найбільш поширеними на підприємствах агропромислового комплексу) прийнято таким:

$$\eta_{\text{доп}} = \eta_{\text{н}} - 0,15 \cdot (1 - \eta_{\text{н}}), \quad (1)$$

де $\eta_{\text{доп}}$ – допустиме значення коефіцієнта корисної дії асинхронного електродвигуна;

$\eta_{\text{н}}$ – номінальне значення коефіцієнта корисної дії асинхронного електродвигуна.

Для визначення коефіцієнту корисної дії електродвигуна необхідно його навантажити. На сьогодні використовують наступні основні методи навантаження асинхронних електродвигунів: метод навантаження із повертанням енергії до мережі та метод взаємного навантаження [5]. Для технічної реалізації метода навантаження із повертанням енергії до мережі для створення навантаження електродвигуна, що діагностується, використовують іншу електричну машину та мережу зі зниженою частотою, а для технічної реалізації метода взаємного навантаження для кожного асинхронного електродвигуна, що діагностується, необхідно мати електричну машину, потужність якої дорівнює потужності електродвигуна, що діагностується.

Вказане вище обумовлює високу вартість технічної реалізації зазначених методів, тому для навантаження асинхронного електродвигуна пропонується використовувати досліди холостого ходу і короткого замикання, як граничні режими його роботи. Коефіцієнт корисної дії запропоновано визначати за результатами цих дослідів, тобто за втратами активної потужності в асинхронному електродвигуні у цих дослідах.

В результаті аналітичних досліджень цих дослідів розроблено технологію періодичного контролю роботоздатності асинхронних електродвигунів, яка складається з наступних операцій:

- зібрання початкових даних;
- виконання технічних операцій з діагностування;
- виконання розрахункових операцій з діагностування.

Зібрання початкових даних полягає у встановленні значень:

- 1) номінальної активної потужності;
- 2) номінальної фазної напруги;
- 3) номінального коефіцієнту корисної дії.

Виконання технічних операцій з діагностування полягає у наступному (табл. 1).

Таблиця 1 – Технічні операції з діагностування

№ п/п	Зміст операції	Технічний засіб
1	2	3
1.	Встановити асинхронний електродвигун на стільнищу	
2.	Переконатися, що електродвигун має практично холодний стан	візуально
3.	Визначити опір обмоток статора при постійному струмі в практично холодному стані ($R_{1A}; R_{1B}; R_{1C}$)	вимірювальний міст
4.	Визначити температуру навколишнього середовища ($\vartheta_{\text{СЕР}} = \vartheta_1$)	термометр
5.	Підключити вимірювальний комплект до затисків електродвигуна, що діагностується	вимірювальний комплект
6.	Приєднати вимірювальний комплект через регулятор напруги до мережі	з'єднуючі проводи
7.	Загальмувати ротор електродвигуна, що діагностується	пристрій для загальмування ротора
8.	Подати напругу на затиски отриманого кола	автоматичний вимикач
9.	Установити номінальні значення струмів фаз електродвигуна, що діагностується ($I_{KA} = I_{KB} = I_{KC} = I_H$)	регулятор напруги
10.	Вимірити споживану активну потужність ($\Delta P_{KA}; \Delta P_{KB}; \Delta P_{KC}$) і напругу на затисках ($U_{KA}; U_{KB}; U_{KC}$) електродвигуна	вимірювальний комплект
11.	Зняти напругу з затисків кола	автоматичний вимикач
12.	Розгальмувати ротор електродвигуна, що діагностується	пристрій для загальмування ротора
13.	Відключити вимірювальний комплект від затисків електродвигуна	
14.	Визначити опір обмоток статора при постійному струмі в досліді ($R_{1a.k}; R_{1b.k}; R_{1c.k}$) короткого замикання	вимірювальний міст

Продовження таблиці 1

1	2	3
---	---	---

15.	З'єднати затиски вимірювального комплексу через регулятор напруги з мережею	з'єднуючі проводи
16.	Підключити вимірювальний комплект до затисків електродвигуна	вимірювальний комплект
17.	Подати напругу на затиски отриманого кола, яка дорівнює номінальному значенню ($U_{X.A}=U_{X.B}=U_{X.C}$)	автоматичний вимикач, регулятор напруги
18.	Виміряти споживану активну потужність ($\Delta P_{X.A}; \Delta P_{X.B}; \Delta P_{X.C}$) і силу струму ($I_{X.A}; I_{X.B}; I_{X.C}$) електродвигуна, що діагностується	вимірювальний комплект
19.	Установити напругу на затисках електродвигуна рівну $0,7U_H$	регулятор напруги
20.	Виміряти споживану активну потужність ($\Delta P_{X.A1}; \Delta P_{X.B1}; \Delta P_{X.C1}$) і силу струму ($I_{X.A1}; I_{X.B1}; I_{X.C1}$) двигуна	вимірювальний комплект
21.	Зняти напругу з затисків отриманого кола	автоматичний вимикач
22.	Відключити вимірювальний комплект від затисків електродвигуна	
23.	Визначити опір обмоток статора при постійному струмі в досліді холостого ходу ($R_{I.A.X}; R_{I.B.X}; R_{I.C.X}$)	вимірювальний міст
24.	Виконати розрахунки і визначити робото здатність електродвигуна	обчислювальний пристрій

Виконання розрахункових операцій з діагностування полягає у наступному (табл. 2).

Таблиця 2 – Розрахункові операції з діагностування

№ п/п	Зміст операції	Формули для розрахунку
1	2	3
1.	Розрахувати середнє значення опору постійному струму фази при температурі $\vartheta_{\text{сєр}} = \vartheta_1$	$R_1 = \frac{R_{1A} + R_{1B} + R_{1C}}{3}$
2.	Розрахувати сумарну активну потужність у досліді холостого ходу при номінальній напрузі	$\Delta P_X = \Delta P_{X.a} + \Delta P_{X.b} + \Delta P_{X.c}$

Продовження таблиці 2

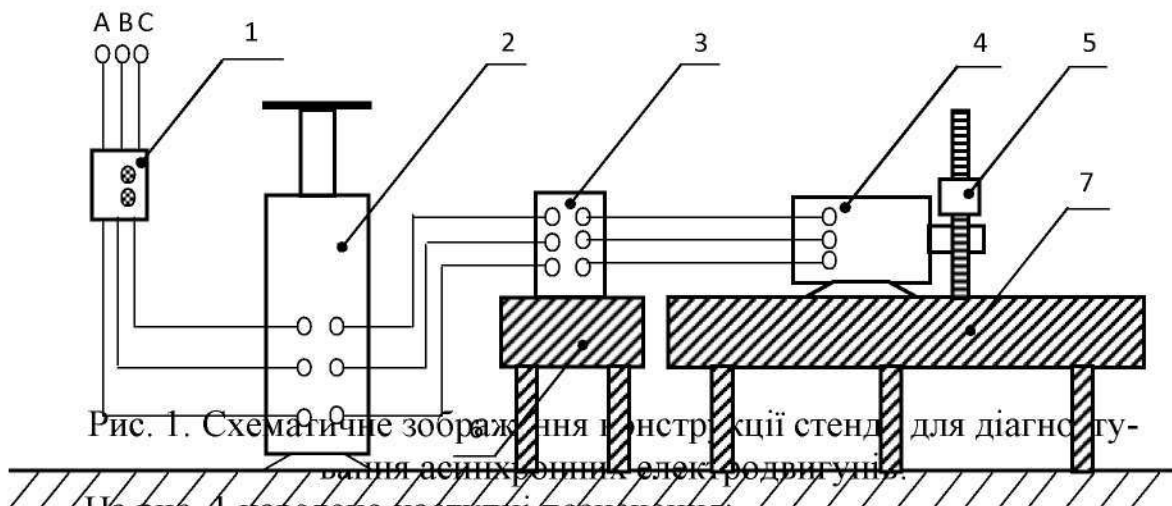
1	2	3
---	---	---

3.	Розрахувати сумарну активну потужність у досліді холостого ходу при зниженій напрузі	$\Delta P_{X1} = \Delta P_{X.a1} + \Delta P_{X.b1} + \Delta P_{X.c1}$
4.	Розрахувати середнє значення фазного струму у досліді холостого ходу при номінальній напрузі	$I_X = \frac{I_{X.A} + I_{X.B} + I_{X.C}}{3}$
5.	Розрахувати середнє значення фазного ст. уму у досліді холостого ходу при зниженій напрузі	$I_{X1} = \frac{I_{X.A1} + I_{X.B1} + I_{X.C1}}{3}$
6.	Розрахувати втрати активної потужності в обмотці статора при номінальній напрузі в досліді холостого ходу	$\Delta P_{El.X} = 3 \cdot R_{IX} \cdot I_X^2$
7.	Розрахувати втрати активної потужності в обмотці статора при зниженій напрузі в досліді холостого ходу	$\Delta P_{El.X.1} = 3 \cdot R_{IX} \cdot I_{X1}^2$
8.	Розрахувати механічні втрати	$\Delta P_{Mx} = \frac{\Delta P_{X1} - \Delta P_{El.X.1} - 0,49 \cdot (\Delta P_X - \Delta P_{El.X})}{0,51}$
9.	Розрахувати втрати в магнітопроводі при номінальній напрузі	$\Delta P_{Mg} = \Delta P_X - \Delta P_{Mx} - \Delta P_{el.x}$
10.	Розрахувати сумарну активну потужність, що споживає двигун у досліді короткого замикання	$\Delta P_K = \Delta P_{K.a} + \Delta P_{K.b} + \Delta P_{K.c}$
11.	Розрахувати середнє значення фазної напруги у досліді короткого замикання	$U_K = \frac{U_{K.A} + U_{K.B} + U_{K.C}}{3}$
12.	Розрахувати середнє значення опору постійному струму фази електродвигуна напруги у досліді короткого замикання	$R_{IK} = \frac{R_{IAK} + R_{IBK} + R_{ICK}}{3}$
13.	Розрахувати температуру обмотки статора після проведення досліді короткого замикання	$\vartheta_{IK} = \left(\frac{R_{IK}}{R_1} - 1 \right) \cdot (235 + \vartheta_1) + \vartheta_1$
14.	Розрахувати втрати активної потужності в обмотці статора при номінальному струмі в досліді короткого замикання	$\Delta P_{El.K} = 3 \cdot R_{IK} \cdot I_H^2$
Продовження таблиці 2		
1	2	3

15.	Розрахувати втрати активної потужності в обмотці статора при номінальному струмі та температурі 130 °С	$\Delta P_{E1} = 3 \cdot \frac{365}{235 + \vartheta_{1K}} \cdot R_{1K} \cdot I_H^2$
16.	Розрахувати втрати активної потужності в обмотці ротора при номінальному струмі	$\Delta P_{E2} = \Delta P_K - \Delta P_{E1} - \Delta P_{MG} \left(\frac{U_K}{U_H} \right)^2$
17.	Розрахувати поточні сумарні втрати активної потужності в електродвигуні при номінальній потужності на валу P_H і номінальній напрузі на затискачах U_H	$\Delta P_{H,\Pi} = \Delta P_{E1} + \Delta P_{E2} + \Delta P_{MG} + \Delta P_{MX} + 0,005 \cdot P_H$
18.	Розрахувати поточний коефіцієнт корисної дії електродвигуна	$\eta_{H,\Pi} = \frac{P_H}{P_H + \Delta P_{H,\Pi}}$
19.	Розрахувати допустимий коефіцієнт корисної дії електродвигуна	$\eta_{доп} = \eta_H - 0,15(1 - \eta_H)$

Виконано експериментальну перевірку розробленої технології періодичного контролю роботоздатності асинхронних електродвигунів, яка показала здатність виявляти несправності електродвигуна [6].

Для реалізації технології періодичного контролю роботоздатності асинхронних електродвигунів розроблено стенд, схематичне рішення якого наведено на рис.1.



На рис. 1 наведено наступні позначення:

- 1 – автоматичний вимикач;
- 2 – індукційний регулятор напруги;
- 3 – вимірювальні пристрої;
- 4 – асинхронний електродвигун, що діагностується;
- 5 – гальмуючий пристрій;

- 6 – стільниця для встановлення вимірювальних пристроїв;
- 7 – стільниця для встановлення асинхронного електродвигуна, що діагностується.

Для виготовлення станда, необхідно мати матеріали та обладнання, що наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Перелік матеріалів та обладнання для виготовлення станду для діагностування асинхронних електродвигунів

№ п/п	Найменування	Тип або серія	Кількість
1.	Індукційний регулятор	ИР-60У4	1 шт.
2.	Вимірювальний комплект	К-500	1 шт.
3.	Вимірювальний міст	Р-333	1 шт.
4.	Автоматичний вимикач	ВА52Г31У3	1 шт.
5.	З'єднувальний провід	АПВ 4(1×25)	50 м
6.	Стільниця	–	1 шт.
7.	Гальмуючий пристрій	–	1 шт.

Висновки. Таким чином, запропонована технологія періодичного контролю роботоздатності асинхронних електродвигунів здатна визначати функціональний стан електродвигуна, що діагностується. Узагальненим діагностичним параметром, що всебічно характеризує роботоздатність асинхронних електродвигунів та не потребує дуже коштовних технічних засобів для визначення, є коефіцієнт корисної дії. Методом навантаження асинхронних електродвигунів, технічна реалізація якого буде раціональною, є досліди холостого ходу і короткого замикання, при цьому коефіцієнти корисної дії визначається за складовими втрат активної потужності

Література

1. *Овчаров В.В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. – К.: УСХА, 1990. – 168 с.
2. *Єрмолаєв С.О.* Експлуатація енергообладнання та засобів автоматизації в системі АПК [Єрмолаєв С.О., Мунтян В.О., Яковлев В.Ф.]. – К.: Мета, 2003. – 534 с.
3. *Хорольский В.Я.* Теоретические основы эксплуатации электрооборудования сельскохозяйственных предприятий: Учебное пособие. – Ставрополь: Ставроп. с/х ин-т, 1992. – 149 с.

4. Коварский Е.М., Янко Ю.И. Испытание электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.

5. Копылов И.П., Клоков Б.К. Справочник по электрическим машинам: В 2-х т., Т.1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.

6. Вовк О.Ю. Метод періодичного діагностування асинхронних електродвигунів / О.Ю. Вовк, Л.М. Безменнікова, С.О. Квітка // Праці ТДАТУ. – 2010. – Вип. 10, Т.4. С.39 – 46.

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Вовк А.Ю., Квитка С.А.

Аннотация

Представлена технология периодического контроля работоспособности асинхронных электродвигателей, которая нацелена на повышение эксплуатационной надежности асинхронных электродвигателей на производствах агропромышленного комплекса.

TECHNOLOGY OF THE PERIODIC MONITORING OF THE CAPACITY TO WORK OF ASYNCHRONOUS MOTORS

O. Vovk, S. Kvitka

Summary

The activity is dedicated to method monitoring asynchronous electric motors, which is directed on increasing to serviceability of the asynchronous electric motors on enterprise agro industrial complex by way periodic monitoring their functional condition.