

ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ НАСОСНИХ УСТАНОВОК

О. О. Закладний, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

вул. Борщагівська, 115, корп. 22, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: zakladniy@gmail.com

Діагностування стану електрообладнання при його виготовленні, ремонті та профілактичних перевірках є невід'ємною частиною технологічного процесу. Приладів для діагностування потребують підприємства промислово-енергетичного комплексу, залізничного й морського транспорту, гірничодобувні, збагачувальні й целюлозно-паперові комбінати, ремонтні заводи і т. ін. Запропонований діагностичний комплекс визначає параметри електродвигунів без сполучення їх з навантажувальними пристроями та при зниженій напрузі живлення. Це значно зменшує трудомісткість випробувань і дає змогу проводити прискорені випробування електродвигунів на стадії їх виробництва та післяремонтного діагностування.

Ключові слова: асинхронний двигун, діагностування, технічний стан, ремонт двигунів.

Вступ. Асинхронні двигуни (АД), як правило, розраховані на термін служби 15–20 років без капітального ремонту, за умови правильної їх експлуатації. Під правильною експлуатацією АД розуміється його робота відповідно до номінальних параметрів, зазначених в паспортних даних електродвигуна. Однак у реальному житті має місце значне відхилення від номінальних режимів експлуатації. Це, передусім, низька якість напруги живлення й порушення правил технічної експлуатації: технологічні перевантаження, умови навколишнього середовища (підвищені вологість, температура), зниження опору ізоляції, порушення охолодження.

Наслідком таких відхилень є аварійні режими роботи АД. У результаті аварій щорічно виходять із ладу до 10% застосовуваних електродвигунів. Наприклад, 60% свердловинних електронасосних агрегатів виходять з ладу частіше одного разу на рік. Вихід з ладу АД призводить до важких аварій і значних матеріальних збитків через простой обладнання, затрати на усунення наслідків аварій і ремонт електродвигуна, що вийшов з ладу. Ремонт електричної машини потужністю до 1 кВт коштує в 800...1000 грн. Щоб оцінити вартість ремонту потужнішої машини, треба помножити цю цифру на потужність двигуна. Крім цього, робота на аварійних режимах призводить до підвищеного енергоспоживання та збільшення спожитої реактивної потужності [1].

Мета роботи – підвищення надійності та енергетичної ефективності АД шляхом усунення недоліків пристроїв технічного діагностування.

Матеріал і результати досліджень. Залежно від характеру зміни навантаження, розрізняють чотири основних номінальних режиму роботи АД: тривалий, короткочасний, повторно-короткочасний і змінний. Основною характеристикою навантажувальних режимів є теплова характеристика електродвигуна. Робота АД завжди супроводжується його нагріванням, що зумовлено процесами, які відбуваються в ньому, і втратами енергії. Нормативний термін служби електродвигуна визначається, в остаточному підсумку, допустимою температурою нагрівання його ізоляції.

У сучасних двигунах застосовується кілька класів ізоляції, припустима температура нагрівання

яких становить для класу А – 105 °С, Е – 120 °С, В – 130°С, F – 155°С, Н – 180°С, С – понад 180°С. Перевищення припустимої температури призводить до передчасного руйнування ізоляції й істотного скороченню терміну роботи двигуна [3].

Аварії АД поділяються на два основних типи механічні й електричні. Механічні аварії – це деформація або поломка вала ротора, ослаблення кріплення осердя статора до станини, ослаблення обпресування осердя ротора, пошкодження бабіту в підшипниках ковзання, руйнування сепаратора, кільця або кульки в підшипниках кочення, поломка крильчатки, відкладення пилу й бруду в рухомих елементах тощо.

Електричні аварії АД, своєю чергою, поділяються на три типи:

- мережеві аварії (аварії за напругою), пов'язані з аваріями в електромережі;

- струмові аварії, пов'язані з обривом провідників в обмотках статора, ротора або кабелю, витковим й фазним замиканням обмоток, порушенням контактів і руйнуванням з'єднань, виконаних пайкою або зварюванням, аварії, що призводять до пробією ізоляції в результаті нагрівання, викликаного протіканням струмів перевантаження або короткого замикання;

- аварії, пов'язані зі зниженням опору ізоляції внаслідок її старіння, руйнування або зволоження [3].

На сьогоднішній день існують приклади реалізації засобів діагностики електродвигунів при їх виробничому або післяремонтному випробуванні. Дослідження показали, що трудомісткість контрольних операцій становить до 15% трудомісткості виготовлення електродвигунів. Природно, що така висока трудомісткість проведення випробувань і обробки їх результатів змушує шукати шляхи її зниження.

Відомі приклади реалізації діагностувальних комплексів для електродвигунів при їх виробничому або післяремонтному випробуванні. Всі вони мають навантажувальні пристрої.

Розроблений діагностувальний комплекс – це програмно-апаратний комплекс, призначений для поточного моніторингу й післяремонтних випробувань, дослідження та аналізу реального стану електромеханічних систем, експериментальної

оцінки стану електродвигуна й видачі рекомендацій щодо умов експлуатації діагностованої електричної машини. Стенд визначає параметри електричних машин без сполучення їх з навантажувальними пристроями, що значно знижує трудомісткість випробувань і скорочує час їх проведення.

Стенд визначає номінальні параметри двигуна, значення яких установлені в паспортних даних або технічних умовах (потужність, частоту обертання, струм, ККД, коефіцієнт потужності, максимальний момент, момент інерції двигуна), а також внутрішні параметри (активні та індуктивні опори обмоток, струми і втрати короткого замикання й холостого ходу і ін.).

Система прискореного випробування, діагностування та контролю двигунів у вигляді випробувального стенду на базі адаптивного керування з фаззі-контролерами є новим електротехнічним обладнанням, яке визначає параметри електричних машин без з'єднання їх з навантажувальними пристроями та проводить випробування при зниженій напрузі живлення. Система дозволяє визначити в повному обсязі параметри, характеристики та технологічні показники електродвигунів.

Методика прискореного діагностування АД дозволяє визначити номінальні параметри двигуна, значення яких установлені в паспортних даних або технічних умовах (потужність, частоту обертання, струм, ККД, коефіцієнт потужності, максимальний момент M_m , момент інерції двигуна J , а для двигунів з короткозамкненим ротором, крім того, початковий пусковий момент M_n і початковий пусковий струм I_n), а також внутрішні і додаткові параметри (активні та індуктивні опори обмоток, струми і втрати короткого замикання й холостого ходу і т. ін.).

Алгоритм діагностування за даною методикою, складається з:

- контролю обриву фаз та опорів ізоляції між обмотками і корпусом двигуна;
- циклу випробувань, що включає послідовну роботу машини у трьох динамічних режимах – короткого замикання, холостого ходу та вільного вибігу;
- вимірювання значень струму двигуна, напруги, споживаної потужності, частоти обертання й тривалості режимів короткого замикання, холостого ходу і вільного вибігу;
- обробки результатів тестування, визначення параметрів випробуваного двигуна і порівняння їх з технічними умовами;
- формування паспорта діагностованої машини.

Проведені експерименти й розрахунки показують, що при роботі в межах робочих частин механічних характеристик при частотному керуванні АД можна представити лінійним об'єктом. За цих умов складна система нелінійних рівнянь приводиться до лінійної передатної функції, для чого необхідно апроксимувати експериментальні криві перехідного процесу лінійними диференціальними рівняннями необхідного, наприклад, другого порядку. Отримані

в результаті апроксимації передатні функції двигуна з коефіцієнтами в числовому вигляді будуть ураховувати весь набір вихідних даних і залежностей системи без додаткових припущень, що призводять до істотної відмінності їх від параметрів реального об'єкта.

При зазначених умовах, АД в межах робочих напруг притаманна практично стала жорсткість механічних характеристик. Тобто відношення напруги до частоти обертання залишається сталим. Це дозволяє для зменшення струму двигуна проводити режим короткого замикання при низькій напрузі живлення. Доцільно задатися такими параметрами джерела живлення, при яких струм короткого замикання буде чисельно дорівнювати номінальному струму $I_{кз} = I_n$.

Цикл випробувань складається з послідовної роботи електродвигуна у трьох динамічних режимах – короткого замикання, холостого ходу та вільного вибігу. Випробування проводяться при зниженій напрузі, а тривалість їх складає не більше 10с. Під час випробувань знімаються значення струму двигуна, частоти обертання та вимірюється тривалість режимів короткого замикання, холостого ходу і вільного вибігу.

Пристрій визначає номінальні параметри двигуна (потужність, частоту обертання, струм і електромагнітний момент) та внутрішні параметри (активний і індуктивний опори двигуна, електромагнітну та електромеханічну сталі часу), а також швидкість ідеального холостого ходу та момент інерції [2].

Методика визначення параметрів двигуна за результатами режиму короткого замикання полягає в наступному:

1. осцилографують процес короткого замикання $i(t)$ при зниженій напрузі;
2. визначають стале значення струму $i_{кз} = I_n$;
3. знаходять T_y при $0,632i_{кз}$;
4. розраховують $R_y = U_x / i_{кз}$;
5. визначають $L_y = T_y R_y$;
6. визначають тривалість перехідного процесу $t_{пп}$ і перевіряють величину T_y .

Методика визначення параметрів двигуна за результатами режиму холостого ходу полягає в наступному:

1. осцилографують процес холостого ходу, тобто зміну струму й швидкості в часі при зниженій напрузі;
2. визначають сталі значення швидкості ω_{0x} й I_{xx} (струм холостого ходу);

3. розраховують конструктивну сталу двигуна $C_d = U_x / \omega_{0x}$; (1)

4. перераховують значення отриманих параметрів на природну характеристику. Визначають величину ω_n .

$$\omega_n = \frac{U_n}{C_d} - \frac{I_n R_y}{C_d} = \omega_0 - \frac{I_n R_y}{C_d}; \quad (2)$$

5. визначають тривалість перехідного процесу й знаходять величину T_1 .

Методика визначення параметрів двигуна за результатами режиму вільного вибігу полягає в наступному:

1. осцилографують процес вільного вибігу $\omega(t)$ при зниженій напрузі;
2. визначають тривалість перехідного процесу;
3. розраховують момент інерції J , електро механічну сталу двигуна T_m , сталі T_1 і T_2 , максимальне значення струму I_{max} і час t_{max} .

Програма роботи діагностувального комплексу передбачає 7 основних етапів випробувань двигуна. На першому етапі контролюють обрив фаз, а на другому - опори ізоляції обмоток щодо корпусу двигуна й між ними. На третьому випробовують міжвиткову ізоляцію обмоток, ізоляції обмоток щодо корпусу й між ними на електричну міцність. На четвертому, п'ятому і шостому етапах відповідно двигун випробовується у режимах короткого замикання, холостого ходу й вільного вибігу. На сьомому етапі виконують вібраційні тестування.

Результати контролю діагностованого двигуна представляються номінальними даними, параметрами перехідних процесів та значеннями струмів і втрат короткого замикання й холостого ходу. Області на параметри двигунів, розраховані за номінальними даними з урахуванням допусків, дозволяють здійснити контроль номінальних параметрів діагностованих двигунів за результатами прийнятно-здавальних випробувань.

Діагностування й відбраковування АД здійснюються шляхом обробки результатів вимірювань параметрів випробовуваних двигунів за наведеною програмою. Якщо отримані параметри двигуна, що випробовується, не виходять за допустимі межі, це означає, що двигун пройшов прийнятно-здавальні

випробовування. Для кожного придатного АД оформляють протокол випробувань з реквізитами двигуна. Далі здійснюють статистичний аналіз придатних АД.

Висновки. Розроблена методика прискореного діагностування, яка дозволяє встановити параметри електродвигуна без сполучення його з навантажувальними пристроями, що значно знижує трудомісткість випробувань і скорочує час їх проведення.

Цикл випробувань складається з послідовної роботи електродвигуна у трьох динамічних режимах – короткого замикання, холостого ходу та вільного вибігу. Під час випробувань вимірюються значення струму статора (якоря), частоти обертання й тривалість режимів короткого замикання, холостого ходу й вільного вибігу.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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. – № 3. – С. 21–28.
2. Закладний О.М., Алтухов Є.І., Прядко С.Л., Смоляр В.Г. Пристрій для прискореного випробування колекторних машин // Вісник НТУУ “КПІ”, серія “Гірництво”. – 2000. – Вип. 3. – С. 37–41.
3. Черный А.П., Луговой А.В., Максимов М.Н., Родкин Д.И., Сисюк Г.Ю. Эксплуатационная надежность электрических двигателей переменного тока и пути ее повышения // Проблемы створення нових машин і технологій: Наук. праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2000. – Вип. 1 (8). – С. 150–156.

DIAGNOSTICS OF THE STATE OF ELECTRIC MOTORS OF PUMPING INSTALLATIONS

O. Zakladnyi, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

prosp. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: zakladnyi@gmail.com

Diagnosing the condition of electrical equipment in its manufacture, repair and preventive checks is an integral part of the technological process. Devices for diagnostics are required by enterprises of industrial-energy complex, railway and sea transport, mining, enrichment and pulp-and-paper combines, repair works, etc. The proposed diagnostic complex defines the parameters of the motors without combining them with the loaders and with a low voltage supply. This significantly reduces the complexity of the tests and enables accelerated testing of the motors at the stage of their production and after-repair diagnostics.

Key words: asynchronous motor, diagnostics, technical condition, engine repair.

REFERENCES

1. Ovcharov, V.V. and Ryzhkov, A.O. (2006), “Diagnosis of operating modes and protection of the induction motor by the temperature of the steel and the multiplicity of the current strength”, *Scientific Reports of NAU*, no.3, pp. 21–28.
2. Zakladnyi, O.M., Altukhov, E.I., Pryadko, S.L. and Smolyar, V.G. (2000), “Device for accelerated testing of collector machines”, *Bulletin of NTUU “KPI”*, Vol. 3, pp. 37–41.
3. Cherny, A.P., Lugovoi, A.V., Maximov, M.N., Rodkin, D.I. and Sysyuk, G.Yu. (2000), “The operational reliability of AC electric motors and the way to increase it”, *Problems of creation of new machines and technologies: Sciences. of the KSPU*, vol. 1, no. 8, pp.150–156.