

В.М. Шавкун, В.В. Ліньков

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Україна

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

В представленій статті висвітлюється актуальна проблема вибору стратегії і методів діагностування асинхронних двигунів. Проведено порівняльний аналіз методів контролю технічного стану асинхронних двигунів на етапах виробництва, експлуатації та ремонту. Розглянуто методи тестової та функціональної діагностики асинхронних двигунів.

Проаналізовано сучасні системи і методи діагностики асинхронних двигунів. Розглянуто основні методи контролю технічного стану асинхронних двигунів в процесі експлуатації. Виявлено переваги та недоліки розглянутих методів. Перераховано основні види дефектів асинхронних двигунів, які виявляються даними методами контролю технічного стану.

Ключові слова: *методи діагностики, технічний стан, асинхронний двигун, ймовірність пошкоджень*

Постановка проблеми

Аналіз досліджень, наукових публікацій, практичних розробок доводить широту і розповсюдженість результатів роботи багатьох вчених, які займаються проблемою буксування. Але деякі розроблені протибуксувальні пристрої та моделі мають певні недоліки. Проблеми, що зустрічаються під час експлуатації транспортних засобів носять диференційний характер. Тому пошук нових підходів у загальному арсеналі сучасних методів діагностики технічного стану асинхронних двигунів є актуальним завданням.

Вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що впровадження перспективних засобів діагностування є одним з найважливіших факторів виявлення та попередження відмов і пошкоджень електрообладнання та систем автоматизованого електроприводу в загальній промисловості і на транспорті. Це дозволяє підтримувати експлуатаційні показники у встановлених межах і прогнозувати стан обладнання та елементів з метою повного використання ресурсу [1]. Сукупність методів діагностування сприяє підвищенню економічної ефективності використання електрообладнання в транспортних засобах, промислових та ремонтних підприємств.

На даний час трифазні асинхронні двигуни (ТАД) є основними споживачами електроенергії в Україні, які широко використовуються в електроприводних системах промисловості, транспорту, побуту та інше. Але під час їх експлуатації відбувається велика кількість відмов з причин аварійних ситуацій, які щорічно складають

20-25% і більше від загальної кількості встановлених електродвигунів [2, 3].

Вихід з ладу ТАД завдає великої шкоди об'єктам, де вони можуть використовуватися. Таке становище, в основному, приводить до збитку, що пов'язаний з простим технологічним обладнанням або до псування продукції внаслідок аварії двигуна.

Таким чином, завдання зниження рівня прямих і непрямих витрат у процесі експлуатації асинхронних двигунів, підвищення якості їх діагностики, а також підвищення їх надійності актуальні на цей час в будь-якій галузі виробництва.

Як об'єкти аналізу та діагностування в роботі розглянуті загальнопромислові асинхронні двигуни середньої потужності (до 400 кВт).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На цей час існує багато робіт, які присвячені дослідженням процесу діагностування [4–7].

Вибір стратегії і методів діагностування асинхронних двигунів визначається цілою низкою чинників. Застосування методів і засобів технічного діагностування ТАД є ефективним способом забезпечення високої їх надійності, що дозволяє скоротити терміни та трудомісткість технічного обслуговування і ремонту.

Першорядне значення має кінцева мета діагностування, яка залежить від того, на якому етапі життєвого циклу визначається технічний стан двигуна: на етапі виробництва, експлуатації або ремонту.

Виходячи з цього, **мета роботи** полягає у обґрунтуванні та використання сучасних методів діагностики технічного стану асинхронних двигунів при проектуванні, виробництві, експлуатації,

обслуговуванні та ремонті рухомого складу міського електротранспорту.

Виклад основного матеріалу

На етапі виробництва важливо забезпечити оптимальне проектування і доведення конструкції ТАД, орієнтуючись на забезпечення надійності та довговічності, а також контроль якості виготовлення деталей і їх монтажу.

Основні види пошкоджень в умовах серійного виробництва є:

- кінематичні помилки виготовлення деталей,
- вихід параметрів за допустимі межі по точності;
- дефекти збірки, до яких відносяться нерівноваженість, наявність ексцентриситету, різного роду перекося, зазори, відносні зміщення взаємодіючих деталей та елементів, недотримання технології мастила тощо.

На етапі експлуатації, внаслідок природного процесу старіння елементів з часом напрацювання, відбувається зміна параметрів двигунів, що приводить до пошкоджень і поломок.

Розрізняють внутрішні і зовнішні причини несправностей двигуна.

Внутрішні несправності діляться на механічні (пошкодження підшипників, зношування ізоляції і обмоток) і електричні (пробої ізоляції, пошкодження магнітного контуру, обрив стрижня ротора).

Зовнішні несправності також можуть бути механічними (невірний монтаж, пульсуюче навантаження, перевантаження), електричні (коливання напруги, перебої в напрузі, нерівномірний розподіл напруги).

У процентному складі пошкодження елементів ТАД представлено на рис. 1.

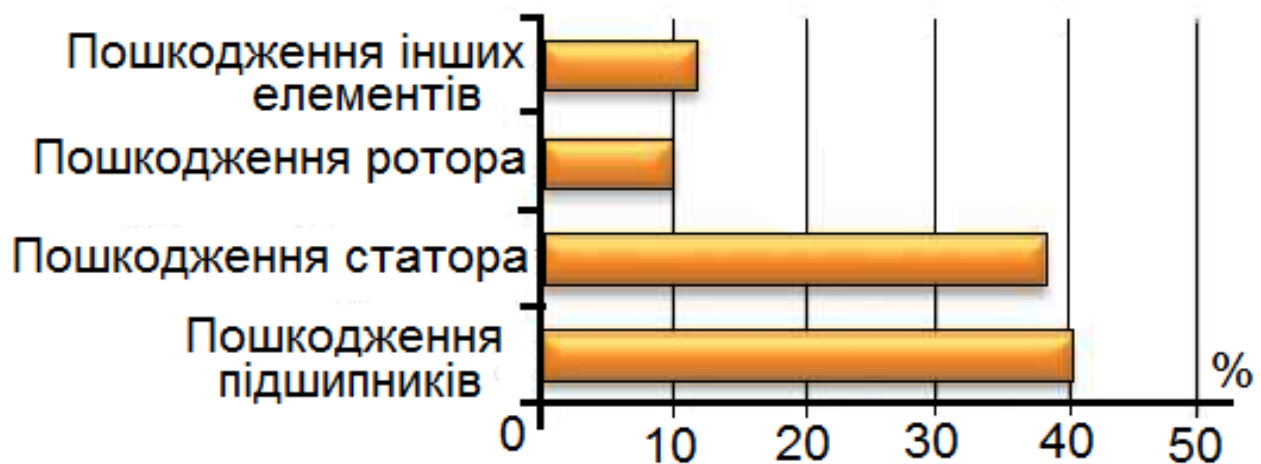


Рис.1. Ймовірність пошкоджень в асинхронних двигунах

Аналіз пошкоджень під час виробництва та експлуатації ТАД показав, що найчастіше виходять з ладу елементи, на які діють електричне і механічне навантаження.

Наприклад, дефекти, що виникають в підшипниках. Вони умовно класифікуються як розподілені або локальні. Розподілені дефекти мають хвилястість, шорсткість поверхні і елементи кочення без зміни. Локалізовані дефекти мають відскоки, ями і тріщини на поверхні кочення підшипника. Ці локалізовані дефекти створюють серію ударних вібрацій. Розміри підшипника і швидкість обертання машини використовуються для визначення характерних частот, пов'язаних з доріжками кочення, а також кулями або роликками. Стан підшипника визначається шляхом вивчення цих частот та використання методів механічного вібраційного аналізу.

Несправності в обмотці статора, такі як міжжиткове коротке замикання, обрив ланцюга,

міжфазове замикання і замикання фази з землею, є одними з найбільш поширених і потенційно руйнівних пошкоджень. Якщо вони не виявлені, це може привести до катастрофічного збою роботи двигуна.

Несправності ротора можуть бути викликані електричними пошкодженнями, такими як обрив стрижня, механічні збої або не співвісність ротора.

Перша несправність виникає через термічні напруження гарячих точок на поверхні ротора або перенапруг під час перехідних операцій, таких, наприклад, як пуск асинхронного двигуна. Зламаний стрижень значно змінює крутний момент і стає небезпечним для роботи електричних машин.

Другий тип пошкодження ротора пов'язаний з нерівномірністю повітряного зазору. Ця помилка є загальним дефектом, пов'язаним з низкою механічних проблем в асинхронних двигунах, таких як дисбаланс навантаження або не співвісність вала, що приводить до горизонтального, вертикального

або радіального зсуву між валом і його зчепленим навантаженням. Також при відсутності співвідносності вала ротор буде зміщений зі свого нормального стану через постійну дію радіальних сил.

Експлуатаційні дефекти за швидкістю їх розвитку ділять на дві категорії: які швидко розвиваються і викликають раптові відмови.

До 1-ї категорії відносяться важкопрогнозовані відмови, які є наслідком виробничих технологічних дефектів або руйнування під дією миттєвого навантаження, що перевищує межу міцності елементів. У електродвигунів після ремонту з розбиранням і заміною деталей надійність їх роботи часто знижується. Під час ремонту проблематично виявити приховані дефекти, такі, наприклад, як дефекти стрижнів короткозамкненого ротору або порушення ізоляції обмотки статора [8].

На цей час виникає потреба діагностики стану асинхронних електродвигунів в процесі роботи. Виявлення дефектів в працюючому електродвигуні на ранній стадії розвитку дозволить попередити раптову зупинку виробництва в результаті аварії, знизити витрати на ремонт електродвигуна і збільшити термін його служби.

Методи діагностування ТАД, що розглядаються і аналізуються, є ефективними та використовуються на даний час.

Найбільш відомими є методи діагностики, що засновані на:

- аналізі вібрацій окремих елементів агрегату;
- аналізі акустичних коливань, що створюються під час експлуатації двигуна;
- вимірі і аналізі температури окремих елементів машини;
- діагностики механічних вузлів (зокрема, підшипників);
- діагностики і аналізі електричних параметрів машини;
- діагностики стану ізоляції та інші.

Сучасний спосіб діагностування асинхронних електродвигунів повинен відповідати наступним вимогам:

- висока достовірність і точність виявлення несправностей і пошкоджень асинхронного електродвигуна;
- можливість виявлення всіх або значної частини електричних і механічних пошкоджень ТАД і пов'язаних з ним механічних пристроїв;
- проведення діагностичних вимірювань дистанційно, що актуально в тих випадках, коли доступ до обладнання затруднений;
- низька трудомісткість діагностичних робіт (вимірів) і простота проведення вимірювань;
- можливість проведення аналітичної обробки отриманих результатів вимірювань за короткий час,

із застосуванням обчислювальних і програмних засобів.

Сучасні системи і методи діагностики асинхронних двигунів можна розділити на дві групи.

До першої групи належать методи тестової діагностики, яка складається з виміру опору ізоляції, струмів витoku, внутрішнього опору обмоток, тангенса кута діелектричних втрат обмоток, тощо.

Тестове діагностування – це вид виявлення дефектів електродвигунів під час технічного обслуговування та ремонту за регламентом. Такий вид діагностики має сформовану структуру і сприяє не тільки попередженню розвитку різних дефектів, але і їх появи.

Так як після планового ремонту двигун підлягає випробуванням підвищеною напругою, яка негативно впливає на ізоляцію машини, що викликає появу в обмотці мікродефектів, що розвиваються в процесі роботи електродвигуна під впливом неякісної електроенергії, перевантажень, частих пусків і зупинок. З кожним високовольтним випробуванням, при планово-попереджувальних ремонтах, число дефектів збільшується. Це в кінцевому підсумку призводить до аварійного виходу з ладу електричного двигуна. Кожне розбирання та збирання електродвигуна збільшує ці мікродефекти.

До недоліків тестової діагностики також відноситься: тимчасове припинення роботи електродвигуна, відсутність можливості захисного відключення обладнання під час його роботи для запобігання повного виходу його з ладу, відсутність контролю ненормальних режимів роботи даного обладнання тощо.

Для переходу з обслуговування та ремонту за регламентом на ремонт і обслуговування по фактичному стану необхідна ретельна діагностика електрообладнання. Причому, щоб підготуватися до ремонту, бажано виявити всі дефекти, що впливають на ресурс роботи двигуна, задовго до його відмови. З цих причин необхідно застосування методів діагностики які не тільки відносяться до категорії функціональних, але і дозволяють виявити дефект конкретної частини електрообладнання. До того ж методи функціональної діагностики економічно найбільш кращі, тому що не вимагають навіть тимчасового виведення електрообладнання з експлуатації.

На цей час розроблені і використовуються багатофункціональні системи діагностики ізоляції асинхронних двигунів за допомогою високовольтного імпульсного випробування [9–11].

Таким чином, показані методи діагностики не можуть повністю виявити пошкодження ТАД, а їх

використання можливо тільки при першому огляді і діагностуванні асинхронних двигунів.

Висновки

Теорія і практика діагностики повинна розвиватися на реалізації принципів безрозбірності, універсальності методів і засобів, комплексності приладів і установок, забезпечення високої оперативності і ефективності їх використання в технологічному процесі. В цьому напрямі великі можливості відкривають методи і засоби, засновані на застосуванні електроніки.

Отже, потреба в діагностиці технічного стану асинхронних двигунів сприяє зменшенню дефектів, що дозволяє знизити витрати на ремонт електродвигуна і збільшити термін його служби.

Аналіз методів тестової діагностики показав можливість їх використання тільки при першому огляді і діагностуванні асинхронних двигунів, що є одним з основних їх недоліків.

Напрямами подальшої роботи є дослідження ефективності застосування сучасних методів та засобів технічної ТАД на підприємствах, що експлуатують електротранспорт.

Література

1. Шавкун, В. М. Методи моніторингу параметрів тягових електричних двигунів в процесі експлуатації рухомого складу міського електротранспорту [Текст] / В. М. Шавкун, В. М. Бушма // *Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – ХНАМГ.: технічні науки і архітектура, 2011. – Вип. 97. – С. 272-278.*
2. Яцун, М. А. Експлуатація та діагностування електричних машин і апаратів [Текст] / М. А. Яцун, А. М. Яцун. – Львів.: «Львівська політехніка», 2010. – 228 с.
3. Шавкун, В. М. Вплив періодичності діагностування на показники надійності тягових електродвигунів рухомого складу електротранспорту [Текст] / В. М. Шавкун, С. П. Шацький // *Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – ХНАМГ.: технічні науки і архітектура, 2011. – Вип. 101. – С. 265-269.*
4. Шавкун, В. М. До питання підвищення надійності тягових електричних двигунів та ресурсозбереження на рухомому складі міського електричного транспорту [Текст] : *Наук.-техн. зб./ В. М. Шавкун // Комунальне господарство міст., серія: технічні науки і архітектура. ХНАМГ.– 2010.– Вип. 97.– С. 272-278.*
5. Pavlenko, T., Shavkun, V., Petrenko, A. (2017) Ways to improve operation reliability of traction electric motors of the rolling stock of electric transport. *Eastern-European Journal of Enterpraise Technologies*, 5, 8(89), 22–30. doi: 10.15587/1729-4061.2017.112109.
6. Далека, В. Х. Технічна експлуатація міського електричного транспорту [Текст]: навч. посібник / В. Х. Далека, В. Б. Будниченко, Е. І. Карпушин, В. І. Коваленко. – Х. :, ХНУМГ, 2014. – 235 с
7. Бондаренко, В. Г. Теорія імовірностей і математична статистика [Текст] / В. Г. Бондаренко, І. Ю. Канівська, С. М. Парамонова // *К.: НТУУ «КПІ», 2006. – 125 с.*
8. Иваботенко, Б. А. Планирование эксперимента в электромеханике [Текст] / Б. А. Иваботенко, Н. Ф. Ильинский. – М.: Энергия, 1975. – 240.
9. Шавкун, В. М. Діагностування тягових електричних машин електротранспорту [Текст] / В. М. Шавкун // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Вып. 1/7(67). – 2014, С. 48 – 52.*
10. Kolcio, K., Fesq, L. (2016) Model-based off-nominal state isolation and detection system for autonomous fault management. *IEEE Aerospace Conference Proceedings. 2016-June*. DOI: 10.1109/AERO.2016.7500793.
11. Krobot, Z., Turo, T., Neumann, V. (2017) Using vehicle data in virtual model for maintenance system support. *ICMT 2017–6th International Conference on Military Technologies*, 171–174. DOI: 10.1109/MILTECHS.2017.7988750.

References

1. Shavkun, V. M., Bushma, V. M. (2011). Metodi monitoringu parametriv tjavovih elektrichnih dviguniv v procesi ekspluatacii ruhomogo skladu mis'kogo elektrottransportu. *Komunal'ne gospodarstvo. Tehnichni nauki i arhitektura*, 97, 272-278.
2. Jacun, M. A., Jacun, A. M. (2010). Ekspluatacija ta diagnostuvannja elektrichnih mashin i aparativ. *L'viv.: «l'viv's'ka politehnika», 228.*
3. Shavkun, V. M. (2011). Vpliv periodichnosti diagnostuvannja na pokazniki nadijnosti tjavovih elektrodviguniv ruhomogo skladu elektrottransportu. *Komunal'ne gospodarstvo mist: nauk.-tehn. Zb. HNAMG: tehnicni nauki i arhitektura*, 101, 265-269.
4. Shavkun, V. M. (2010). Do pitannja pidvishhennja nadijnosti tjavovih elektrichnih dviguniv ta resursozberezhennja na ruhomomu skladi mis'kogo elektrichnogo transportu. *Komunal'ne gospodarstvo mist, serija: tehnicni nauki i arhitektura. HNAMG*, 97, 272-278.
5. Pavlenko, T., Shavkun, V., Petrenko, A. (2017) Ways to improve operation reliability of traction electric motors of the rolling stock of electric transport. *Eastern-European Journal of Enterpraise Technologies*, 5, 8(89), 22–30. doi: 10.15587/1729-4061.2017.112109.
6. Castaldi, P., Tilli, A. Parameters estimation of induction motor at standstill with magnetic flux monitoring. *Accepted for the publication on IEEE Transaction on Contrl System Technology : to appear.*
7. Peresada, S., Montanari, M., Till, A., Bolotnikov, A. (2007). A speed-sensorless indirect field-oriented control for induction motor : theoreticfl result and experimental evaluation, 60–65.
8. Douglas, H., Pillay, P. Ziarani, A. (2003). Detection of broken rotor bars in induction motors using wavelet analysis. *IEEE transactions on industrial electronics*, 3, 452– 460.
9. Stefan, J., Bodson, M. (1994). Real-time estimation of the parameters and fluxes of induction motors. *IEEE Transactions on Industrial Applications*, 3, 746–759.
10. Kolcio, K., Fesq, L. (2016) Model-based off-nominal state isolation and detection system for autonomous fault management. *IEEE Aerospace Conference Proceedings. 2016-June*. DOI: 10.1109/AERO.2016.7500793.
11. Krobot, Z., Turo, T., Neumann, V. (2017) Using vehicle data in virtual model for maintenance system support. *ICMT 2017–6th International Conference on Military Technologies*, 171–174. DOI: 10.1109/MILTECHS.2017.7988750.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Сирний М. Ф.,
Харківський національний університет міського
господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна.

Автор: ШАВКУН Вячеслав Михайлович
кандидат технічних наук., доцент
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – vm.shavkun@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3253-1282>

Автор: ЛІНЬКОВ Віктор Васильович
кандидат технічних наук., доцент
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – vm.shavkun@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0246-0513>

ANALYSIS OF MODERN METHODS OF DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL CONDITION OF ASYNCHRONOUS ENGINES

V. Shavkun, V. Linkov

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The decisive condition for the introduction of efficient maintenance and repair of electric transport, management of its technical condition is the application of methods and means of diagnostics of rolling stock of electric transport. This allows you to move from scheduled maintenance and repair periodically (regardless of condition) to scheduled control and maintenance, repair as needed depending on the state of rolling stock [1,2].

Such a strategy dramatically reduces the number of repairs, reduces the cost of spare parts, increases the actual overhaul. Therefore, there is a need for theoretical substantiation of perspective directions of development of methods and means of technical diagnostics of electric transport.

Domestic and foreign experience shows that the introduction of promising means of diagnosis is one of the most important factors in detecting and preventing failures and damages of electrical equipment and automated electric drive systems in the general industry and in transport. This allows to maintain operational performance within the established limits and to predict the condition of equipment and elements for the full use of the resource. The combination of methods of diagnosis helps to increase the economic efficiency of the use of electrical equipment in vehicles, industrial and repair companies.

At present, induction motors are the main consumers of electricity in Ukraine, which are widely used in electric drive systems of industry, transport, everyday life and more. But during their operation there is a large number of failures due to emergency situations, which annually account for 20-25% or more of the total number of installed motors.

The failure of the AD does great damage to the objects where they can be used. This situation generally results in damage due to downtime of the process equipment or damage to the product due to an engine failure.

Thus, the task of reducing the level of direct and indirect costs in the operation of induction motors, improving the quality of their diagnostics, as well as improving their reliability are relevant at this time in any industry.

Keywords: *diagnostic methods, technical condition, induction motor, probability of damage*