

Технические науки

УДК 621.313

А.В. Бахарев

Инновационный Евразийский университет (г. Павлодар),

E-mail: avbaharev1990@gmail.com

А.Д. Умурзакова, кандидат технических наук

Инновационный Евразийский университет (г. Павлодар),

E-mail: granat_72@mail.ru

Ю.Н. Дементьев, кандидат технических наук

Томский политехнический университет (г. Томск, РФ)

E-mail: dementev@tpu.ru

Обзор методов диагностирования неисправностей электродвигателя

***Аннотация.** В статье рассмотрены различные методы диагностирования неисправностей электрооборудования наиболее часто встречающиеся в настоящее время в промышленности, приведена классификация методов диагностики неисправностей электродвигателя, выявлены преимущества и недостатки существующих методик диагностирования неисправностей электрооборудования. На основании описания методик диагностирования неисправностей электрооборудования составлена сравнительная таблица. Проанализировав сравнительную таблицу методик диагностирования неисправностей электрооборудования определен наиболее актуальный метод диагностики технического состояния электродвигателя.*

***Ключевые слова:** асинхронный трехфазный двигатель, двигатель с короткозамкнутым ротором, диагностика, мониторинг, электропривод, вибродиагностика, спектральный анализ.*

На сегодняшний день самым распространенным типом двигателя в промышленности является асинхронный трехфазный двигатель. Статистика показывает, что асинхронные двигатели на различных промышленных предприятиях потребляют до 80 % всей потребляемой мощности. Они используются во всех отраслях промышленности.

Большой популярностью среди электродвигателей пользуется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (АД) потому, что характеризуется выносливостью, приемлемой стоимостью, высокой надежностью, простотой конструкции и большим сроком службы. Преимуществом АД по сравнению с двигателями постоянного тока является отсутствие коллекторно - щеточного механизма, а в сравнении с асинхронным двигателем с фазным ротором - отсутствие щеток и контактных колец. Питание на статор АД подается только на неподвижную трехфазную обмотку статора, что и делает этот двигатель весьма удобным для самых разных сфер применения. Поэтому АД широко применяют как в быту, так и в производстве.

Однако, несмотря на свою высокую надежность, у АД в процессе эксплуатации не исключена возможность появления повреждений деталей электродвигателя, которые влекут за собой выход из строя машины. Основными источниками развития повреждений АД являются:

- перегрузка или перегрев статора электродвигателя – 31 %;
- межвитковое замыкание – 15 %;
- повреждения и дефекты подшипников – 12 %;
- повреждение обмоток статора или изоляции – 11 %;
- неравномерный воздушный зазор между статором и ротором – 9 %;
- работа электродвигателя на двух фазах – 8 %;
- обрыв или ослабление крепления стержней в беличьей клетке – 5 %;
- ослабление крепления обмоток статора – 4 %;
- дисбаланс ротора электродвигателя – 3 %;
- несоосность валов – 2 % [1].

Так же причиной неисправности электродвигателя могут быть механические повреждения при погрузке, разгрузке, транспортировке, монтаже и неправильное хранение машины.

В промышленном производстве выход из строя электропривода может привести к аварии, опасным инцидентам, простоям, нарушению технологического режима и другим негативным последствиям. Это может привести к большому материальному урону, отрицательно отразится в вопросах, связанных с охраной труда, промышленной и гражданской безопасностью. Исходя из вышеизложенного, возникает необходимость ввести современную, интеллектуальную систему

диагностики, чтобы избежать возможность незапланированного отказа АД в промежутках между капитальными ремонтами и выявить неисправность на ранней стадии. Своевременное определение неисправности поможет предотвратить более серьезные последствия или более дорогостоящий ремонт.

Система оценки технического состояния электрической машины должна включать в себя мониторинг состояния электродвигателя в реальном времени, поиск неисправностей, оценку остаточного ресурса, сигнализирование, запись данных и передача их на расстояние.

К современным способам и методам диагностирования, необходимых для контроля и мониторинга работы АД должны предъявляться следующие требования:

- высокая достоверность и точность выявления неисправностей и повреждений электродвигателя;
- возможность диагностирования как электрических, так и механических повреждений электродвигателя и связанных с ним механических устройств;
- дистанционная диагностика неисправностей электродвигателя, так как не всегда имеется прямой доступ к деталям электродвигателя из-за его исполнения;
- упрощенная процедура оценки технического состояния АД и простота проведения диагностических измерений;
- возможность проведения аналитической обработки полученных результатов измерений за короткое время, с применением вычислительных и программных средств [2].

В настоящее время существует множество способов и методов диагностирования неисправностей электродвигателя. На рисунке 1 представлена классификация наиболее распространенных методик диагностирования неисправностей электродвигателя.

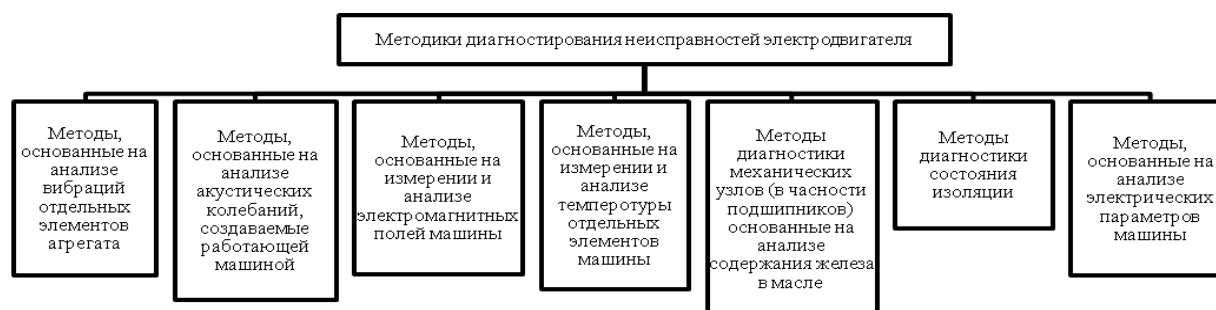


Рисунок 1 – Классификация методик диагностирования неисправностей электрооборудования

Методы, основанные на анализе вибраций отдельных элементов агрегата. Методы вибродиагностики пользуются большой популярностью благодаря точности определения механических неисправностей электродвигателя. Принцип действия заключается в определении вибрационных характеристик в различных точках, создаваемых электродвигателем. Мониторинг производится в вертикальном, горизонтальном и осевом направлениях. Большую популярность завоевали методы спектрального анализа, в которых в качестве диагностируемых параметров используют амплитудные значения отдельных гармонических составляющих вибросигнала. К вибрационным параметрам относятся виброперемещение, виброускорение и виброскорость.

К основным диагностическим параметрам методов вибродиагностики относят:

- ПИК – максимальное значение сигнала на рассматриваемом отрезке времени;
- СКЗ – среднее квадратическое значение (действующее значение) сигнала для рассматриваемой полосы частот;
- ПИК-фактор – отношение параметра ПИК к СКЗ;
- ПИК-ПИК – (Размах) разница между максимальным и минимальным значением сигнала на рассматриваемом отрезке времени;
- SPM – метод ударных импульсов, который основан на применении специального датчика с резонансной частотой 32 кГц и алгоритма обработки ударных волн малой энергии, производимых подшипниками качения из-за соударений и изменений давления в зоне качения этих подшипников (Эдвин Сёхль, SPM Instrument, Швеция, 1968г.);
- EVAM – Аббревиатура EVAM является сокращением от "Evaluated Vibration Analysis Method", что в переводе означает "Метод анализа вибрации с оценкой состояния". Метод EVAM® объединяет в себе несколько общепринятых методик анализа вибросигналов вместе с программными средствами практической оценки состояния оборудования на основе результатов такого анализа. Поддерживается программно и аппаратно, как и метод SPM, оборудованием и ПО производства фирмы SPM Instrument AB (Швеция);
- SPM-M: пик-фактор на резонансной частоте акселерометра (ООО Бифор) (1980 г.);
- RPF: пик-фактор высших частот вибрации механизмов (1982 г.);
- VCC – контроль степени кондиции смазки (1995 г.);

- ARP: распределение амплитуд импульсов сухого трения в узлах машин (2001г.);
- Entropy- вибродиагностическая оценка состояния узлов машин (2002г.);
- Из датчиков вибрации наиболее часто применяются акселерометры (вибропреобразователи ускорения) пьезоэлектрические датчики [3].

Допустимый уровень вибрации приведен в ГОСТе.

Основными преимуществами методов анализа вибрации являются:

- Метод не требует остановки, сборки-разборки АД;
- Позволяет обнаруживать скрытые неисправности;
- Высокое быстродействие;
- Надежность;
- Возможность раннего диагностирования и предупреждения неисправностей;
- При эксплуатации снижается риск возникновения аварии и опасного инцидента.

Однако при использовании данного метода обнаруживаются следующие недостатки:

– Методы, основанные на анализе вибраций диагностируют только механические повреждения отдельных деталей электропривода в целом. Они не способны выявлять электрические повреждения, поэтому образуется мертвая зона в диагностике неисправностей;

- Необходим прямой доступ для установки вибродатчиков, что не всегда возможно.

Методы, основанные на анализе акустических колебаний. Данный метод основан на измерении уровня шума, генерируемого работающей машиной. Уровень шума измеряется с помощью электрических стетоскопов и шумомеров. Наиболее полную информацию о наличии дефектов можно получить, измеряя частный спектр шума. Преимущества и недостатки данного метода схожие с методами вибродиагностики. Методы анализа акустических колебаний не чувствительны к электрическим повреждениям электродвигателя и способны определять только механические повреждения.

Методы, основанные на измерении и анализе электромагнитных полей машины. Работа данного метода основана на обследовании магнитных полей и отдельных спектров магнитного поля обследуемого электродвигателя. Анализу подлежат магнитный поток в воздушном зазоре электродвигателя и вторичные электромагнитные поля. При появлении дефектов появляются дополнительные составляющие гармоник, происходят изменения компонентов спектра магнитного потока. С помощью анализа магнитного потока можно выявить такие дефекты как асимметрию ротора, перекос вала, повреждения подшипников, обрыв и ослабление стержней АД и междувитковые замыкания. Преимущество данной методики в том, что с помощью нее можно определять как механические, так и электрические дефекты.

Недостатки методов, основанных на обследовании электромагнитных полей:

- Распространены только для высоковольтных машин;
- Установка датчиков должна производиться предприятием изготовителем;
- Чувствительность к внешним магнитным полям;
- Непригодность применения в нормальных режимах работы;
- Требуется специальное испытание.

Методы, основанные на измерении и анализе температуры отдельных элементов машины. При помощи температурной диагностики можно с достаточной точностью определить состояние изоляции и подшипников. Датчики температуры устанавливаются как на самой машине (термопары, термометры сопротивления, датчики I-wire), так и дистанционно (дистанционные пирометры).

Преимущества температурного контроля:

- Высокая точность и достоверность прогнозов;
- Имеется возможность дистанционного обследования;
- Диагностика производится на работающей машине;
- Простота измерения;
- Надежность.

Недостатки:

– Для измерения температуры изоляции необходима установка датчиков внутри машины, что не всегда возможно;

- Установка бесконтактных датчиков невозможна в электродвигателях с закрытым исполнением;
- С помощью данного метода можно выявить только дефекты подшипников и изоляции.

Методы диагностики механических узлов (в частности подшипников) основанные на анализе содержания железа в масле. Применяются для диагностики подшипников электродвигателя. Принцип действия данного метода основан на анализе содержания железа в смазочном материале в следствии износа подшипников.

Основными недостатками анализа содержания железа в масле являются:

- Пригоден для выявления неисправностей только в подшипниках;
- Дефекты определяются по косвенным признакам;
- Несвоевременность результатов измерения;
- Сложность процедуры анализа;

– Влияние на результат веществ попавших в образец извне.

Методы диагностики состояния изоляции. Воздействие температуры, перегрузки, механические повреждения, старение от времени могут негативно повлиять на состояние изоляции. Из за этих воздействий на изоляции появляются дефекты в виде расслоения и трещин, которые в дальнейшем могут привести к пробоям и обугливанню. Обследование состояния изоляции электродвигателя производится на машине с отключенным питающим напряжением, кроме высоковольтных двигателей (метод частичных разрядов).

Процедура диагностики состояния изоляции АД является отработанной. Диагностическими параметрами служат:

- Сопротивление изоляции обмотки;
- Коэффициент абсорбции (I15/I60сек) и индекс поляризации (I1мин/I10мин);

– Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты при измерении на низком напряжении и зависимость диэлектрических потерь от приложенного напряжения при подъеме последнего до 1,1 U;

– Характеристики частичных разрядов, главным образом, динамика частичных разрядов при анализе всего потока импульсов на рабочем напряжении за длительный период времени (6... 10 месяцев) [5].

Методы, основанные на анализе электрических параметров машины. Одним из наиболее перспективных методов являются методы, основанные на анализе электрических параметров работающего электродвигателя. В качестве диагностических параметров применяются гармонические составляющие спектра токов, напряжений, мощностей и спектральные составляющие амплитуды и фазы вектора Парка. Данный метод позволяет производить удаленную диагностику. В качестве датчиков тока и напряжения в настоящее время используются датчики, основанные на эффекте Холла, которые работают в широком диапазоне частот с постоянной чувствительностью. Это позволяет регистрировать колебания с частотами от нуля до нескольких десятков килогерц [4].

Несмотря на все преимущества методы, основанные на анализе электрических параметров машины имеют следующие недостатки: необходимость учета влияния на электрические параметры привода параметров питающей сети, характера нагрузки, влияния внешних электромагнитных полей, переходных процессов в приводе. При использовании регулируемого электропривода на основе силовых полупроводниковых преобразователей в спектрах токов возникают частоты, обусловленные коммутацией вентиля. Это также необходимо учитывать [6].

Сравнение основных характеристик и параметров приведенных методик диагностики неисправностей электродвигателя представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика основных характеристик и параметров методов диагностирования неисправностей электродвигателя

		Методы						
		Методы, основанные на анализе вибраций отдельных элементов агрегата	Методы, основанные на анализе акустических колебаний	Методы, основанные на измерении и анализе электромагнитных полей машины	Методы, основанные на измерении и анализе температуры отдельных элементов машины	Методы диагностики механических узлов основанные на анализе содержания железа в масле	Методы диагностики состояния изоляции	Методы, основанные на анализе электрических параметров машины
Диагностируемые неисправности	Перегрузка или перегрев статора	-	-	-	□	-	-	□
	Межвитковое замыкание	-	-	□	□	-	□	□
	Повреждение подшипников	□	□	□	□	□		□
	Повреждение обмоток статора или изоляции	-	-	-	-	-	□	□
	Неравномерный воздушный зазор	□	□	□	-	-	-	□

между статором и ротором							
Работа электродвигателя на двух фазах	-	-	-	-	-	-	<input type="checkbox"/>
Обрыв или ослабление крепления стержней в беличьей клетке	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-	-	-	<input type="checkbox"/>
Ослабление крепления обмоток статора	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-	-	-	<input type="checkbox"/>
Дисбаланс ротора электродвигателя	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-	-	-	<input type="checkbox"/>
Несоосность валов	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-	-	-	<input type="checkbox"/>
Возможность диагностирования в реальном времени	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-	-	<input type="checkbox"/>

Таким образом, в статье рассмотрены наиболее распространенные методики диагностирования неисправностей электродвигателя. Из анализа таблицы 1 следует, что большинство существующих методик диагностики неисправностей электрооборудования обладают небольшим диапазоном диагностируемых неисправностей. Наиболее перспективным методом диагностики технического состояния АД является метод, основанный на анализе электрических параметров машины. Данный метод позволяет производить мониторинг технического состояния электродвигателя в реальном времени, обладает расширенным перечнем диагностируемых неисправностей, простотой проведения процедуры диагностики, полной автоматизацией процесса диагностики, высокой точностью и надежностью. С помощью метода анализа электрических параметров можно определить техническое состояние электродвигателя, отследить динамику развития дефекта и определить остаточный ресурс машины. Это обеспечивает снижение до минимума ущерба предприятия от аварийных отказов оборудования предприятия за счет раннего обнаружения зарождающихся дефектов и контроля развития повреждений.

Несмотря на все достоинства методов диагностирования неисправностей электродвигателя, в каждом из них существуют недостатки, в связи с этим открытым остается вопрос об использовании интеллектуальной системы диагностики. Современная интеллектуальная система диагностики должна состоять из нескольких методов диагностики, которые будут дополнять друг друга, учитывать несколько диагностируемых параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Неисправности асинхронного электродвигателя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.malahit-irk.ru>. (Дата обращения: 25.01.2017).
- 2 Петухов В. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока // Новости Электротехники. – 2005. – № 1 (31). – С. 23–28.
- 3 Вибрационная диагностика. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (Дата обращения: 25.01.2017).
- 4 Методы диагностики асинхронных двигателей. Седунин А.М., Афанасьев Д.О., Сидельников Л.Г. Пермский государственный технический университет, ООО «ТестСервис», г. Пермь.
- 5 Экспертная система контроля технического состояния вращающихся машин/ <http://www.diacs.com/ru/article.php>.
- 6 Современные методы неразрушающего контроля и диагностики технического состояния электроприводов горных машин / С.В. Бабурин, В.Л. Жуковский, А.А. Коржев, А.В. Кривенко. – Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет) им. Г.В. Плеханова.

REFERENCES

- 1 Failure of the asynchronous electromotor. [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.malahit-irk.ru>. (Date of the address: 25.01.2017).
- 2 Roosters of Century. Diagnostics of a status of electromotors. A method of spectrum analysis of the consumed current//Electrical engineering News. – 2005. – No. 1 (31). – Page 23-28.

3 Vibrational diagnostics. [Electronic resource]. – Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>(Date of the address: 25.01.2017).

4 Methods of diagnostics of asynchronous engines. Sedunin A.M., Afanasyev D.O., Sidelnikov L.G. Perm state technical university, LLC Testservice, Perm.

5 Expert system of monitoring of technical condition rotating machines/
<http://www.diacs.com/ru/article.php>.

6 The modern methods of non-destructive testing and diagnostics of technical condition of electric drives of mining machines / S.V. Baburin, V.L. Zhukovsky, A.A. Korzhev, A.V. Krivenko. – St. Petersburg state mining institute (technical university) of G.V. Plekhanov

ТҮЙІН

А. В. Бахарев

Инновациялық Еуразия университеті (Павлодар),

А. Д. Умурзакова, техника ғылымдарының кандидаты

Инновациялық Еуразия университеті (Павлодар),

Ю.Н. Дементьев, техника ғылымдарының кандидаты

Томск политехникалық университеті (Томск, РФ)

Электрқозғалтқыш ақауларын диагностикалау әдістеріне шолу

Мақалада әр түрлі әдістерін диагностикалау, ақауларды электр жабдықтарын жиі кездесетін қазіргі уақытта, өнеркәсіп, жіктелуі келтірілген, диагностикалау әдістерін электр қозғалтқыштың ақаулықтары анықталған артықшылықтары мен кемшіліктері қолданыстағы әдістерін диагностикалау, ақауларды электр жабдықтары. Негізінде сипаттау әдістерін диагностикалау, ақауларды электр жабдығы құрастырылды салыстырмалы кесте. Талдап, салыстырма кестеге әдістерін диагностикалау, ақауларды электр анықталған ең өзекті диагностика әдісі техникалық жай-күйін электр қозғалтқыш.

Түйін сөздер: үш фазалы асинхронды қозғалтқыш, қозғалтқыш қысқа тұйықталған роторы бар, диагностика, мониторинг, электр жетегі, вибродиагностика, спектрлік талдау.

RESUME

A.V. Baharev

Innovative University of Eurasia (Pavlodar),

A. D. Umurzakova, candidate of technical sciences

Innovative University of Eurasia (Pavlodar),

Yu.N. Dementev, candidate of technical sciences

Tomsk polytechnic university (Tomsk, Russia)

Review of methods of diagnosis of failures of electric motor

In the article different methods of diagnosis of failures of electric equipment which are most often found in the industry today. The classification of methods for diagnosing motor failures is presented, and the advantages and disadvantages of existing methods for diagnosing failures in electric equipment are revealed. Based on the description of the methods of diagnosing electric equipment failures, a comparative table was compiled. Analyzing the comparative table of methods for diagnosing failures of electric equipment, the most current method for diagnosing the technical condition of the electric motor was determined.

Keywords: asynchronous three-phase engine, short-circuited electrical motor, diagnosis, monitoring, electric drive, vibration monitoring, spectrum analysis.