

А.А. МЕСИЛОВА, магистрант гр. ЭНМ-240407 (УрФУ),
В.Э. ФРИЗЕН, д.т.н., доцент (УрФУ)
г. Екатеринбург

ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ ИНДУКЦИОННЫХ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ НАСОСОВ

Магнитогидродинамические (МГД) насосы используются в металлургическом производстве и атомной промышленности, где цена аварии очень высока, поэтому развитие методов контроля и диагностики МГД-насосов является актуальным вопросом в настоящее время.

По принципу действия индукционные МГД-насосы схожи с вращающимися асинхронными двигателями. Основные отличия МГД-насосов – это отсутствие вращающихся частей, использование проводящей жидкости в качестве вторичного элемента и высокие рабочие температуры.

Для вращающихся асинхронных двигателей разработано множество методов диагностики различных дефектов, поскольку эти машины широко распространены в промышленности и в быту.

Ввиду сходства возможно применить некоторые методы диагностики вращающихся асинхронных двигателей для МГД-насосов.

Одним из наиболее распространенных методов оценки состояния электрических двигателей является контроль температуры активных частей.

Для МГД-насосов важно осуществлять такой контроль, поскольку активные части (обмотки и магнитопроводы) находятся в непосредственной близости к каналу насоса.

Такой контроль можно осуществлять несколькими методами [1]:

- методом термометра;
- методом сопротивления;
- методом заложенных термопреобразователей;
- с помощью тепловизора;
- расчетными методами.

Рассмотрим каждый из этих методов применительно к МГД-насосам.

Самыми подходящими на данный момент методами для контроля температуры активных частей МГД-насосов являются метод сопротивления и метод заложенных термопреобразователей. При использовании данных методов измерения посторонние источники тепла практически не влияют на замеры температуры. Недостатком метода сопротивления является проведение замеров на отключенном насосе, а недостатком метода заложенных термопреобразователей – возможность измерения температуры

только в точках, где установлены датчики, и невозможность их перемещения, поскольку датчики закладываются в конструкцию машины при изготовлении.

При контроле температуры методом термометра датчики устанавливаются у поверхности активных частей, такие замеры для МГД-насосов могут быть неточными из-за влияния нагретого металла (жидкости) на результат.

Контроль температуры с помощью тепловизора для МГД-насосов также является нецелесообразным, поскольку вблизи обмотки находится горячий металл (жидкость) с температурой, во много раз превышающей температуру обмоток. Чувствительности тепловизора может быть недостаточно для точного определения температуры активных частей в таких условиях [2].

Расчетные методы контроля температуры имеют большие перспективы за счет развития методов численного моделирования и программного обеспечения. С помощью таких методов можно достичь большей точности модели, чем при использовании тепловых схем замещения, о которых говорится в статье [1].

Другим распространенным методом диагностики электрических двигателей является спектральный анализ тока статора.

Данный метод заключается в контроле потребляемого тока с последующим выполнением спектрального анализа полученного сигнала. Это позволяет с высокой степенью достоверности определять состояние различных элементов машины. Наличие в спектре тока электрической машины характерных частот определенной величины свидетельствует о наличии различного рода повреждений.

Токи в обмотках могут предоставить информацию об обрывах и замыканиях обмоток.

Алгоритм проведения спектрального анализа тока статора:

- измеряется ток обмоток с помощью датчиков тока (токовые клещи, трансформаторы тока и т. д.) с высокой частотой дискретизации для регистрации большего числа гармоник с высокими частотами;
- далее измеренный временной сигнал раскладывается в частотный спектр с помощью быстрого преобразования Фурье;
- далее полученный спектр тока анализируется, определяются амплитуды гармоник, присутствующих в спектре;
- полученные данные сравниваются с опытными, определяется соответствие спектра тока тому или иному дефекту [3].

Например, на рисунке 1 показано сравнение спектров тока статора трехфазного асинхронного двигателя в нормальном режиме работы и при межвитковом замыкании. Видно, что при межвитковом замыкании значи-

тельно возрастают амплитуды 3, 5, 7-й гармоник, а также амплитуды других высших гармоник.

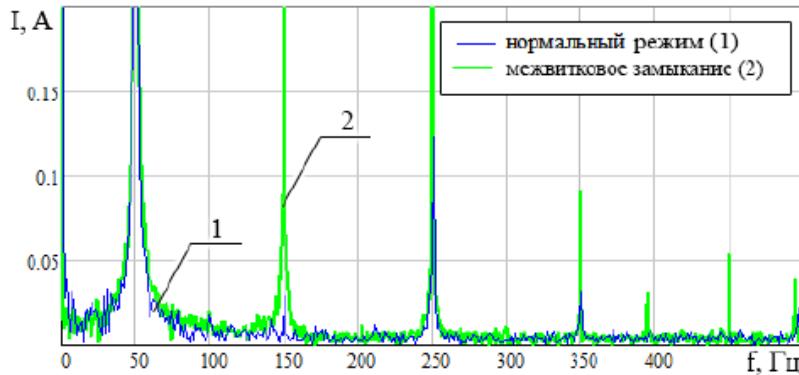


Рис. 1. Спектральный анализ тока статора трехфазного асинхронного двигателя [4]

Опыт, полученный при применении данного метода на вращающихся электрических двигателях, можно использовать при диагностике МГД-насосов. Сложность внедрения этого метода диагностики заключается в сборе опытных данных по МГД-насосам.

Еще одним методом диагностики вращающихся электрических двигателей является магнитный метод контроля.

Метод заключается в обнаружении дефектов в электрической машине на основе анализа ее внешнего магнитного поля и обработки результатов. Внутри или снаружи исследуемой машины устанавливают электромагнитные датчики, которые регистрируют магнитное поле, образующееся вокруг электрической машины в процессе ее работы.

Датчиками измеряются радиальная и тангенциальная составляющие индукции магнитного поля вблизи корпуса электрической машины.

Сигналы с датчиков поступают на компьютер, где все изменения фиксируются. Далее происходит обработка результатов исследований, проводится спектральный анализ сигналов, полученных с датчиков. Например, с помощью быстрого преобразования Фурье полученный временной сигнал преобразуется в частотный спектр. Затем частотный спектр анализируют и определяют, присутствуют ли в нем гармоники, характерные для того или иного дефекта, на основе опытных данных.

Установлено, что внешнее магнитное поле электрических машин в значительной мере определяется различного рода несимметричностью обмоток статора и магнитной системы. Несимметричности, обусловленные возникшими дефектами, изменяют характер внешнего магнитного поля, образуя спектр пространственных гармоник магнитной индукции. Это дает возможность использовать анализ внешнего магнитного поля для диагностики машины [5].

Этот метод также можно применить к МГД-насосам, но сложность этого метода диагностики также заключается в сборе опытных данных по МГД-насосам.

Таким образом, в данной статье рассмотрены методы диагностики электрических двигателей, которые могут применяться при диагностике МГД-насосов. Действительно, из-за схожего принципа работы и для двигателей, и для МГД-насосов могут быть применены одни и те же методы диагностики. Отметим, что при использовании некоторых методов диагностики требуются опытные данные по различным дефектам. И если для вращающихся электрических машин получение таких данных не вызывает затруднений из-за их широкого распространения в промышленности, то для МГД-насосов это может быть проблемой.

В связи с данным обстоятельством возможно использование численных моделей МГД-насосов для получения картин распределения электромагнитного поля при различных дефектах МГД-насосов вместо опытных данных.

Список литературы:

1. Контроль температуры обмоток и защита от перегрева электрических машин переменного тока / И. В. Брякин, И. В. Бочкарев, Х. Г. Багиев, К. К. Келебаев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2019. – Т. 19, № 1. – С. 75–84. DOI: 10.14529/power190109.
2. Прошкин С. С. К вопросу о точности измерения температуры с помощью тепловизора / С. С. Прошкин // Вестник Международной академии холода. – 2014. – № 1. – С. 51–54.
3. Сидельников Л. Г. Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации / Л. Г. Сидельников, Д. О. Афанасьев // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – Пермь, 2013. – № 7. – С. 127–137.
4. Бурцев А. Г. Спектральный анализ тока статора трехфазного асинхронного двигателя при аварийных режимах работы / А. Г. Бурцев, Т. В. Дягилева, А. Г. Пан // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2. – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2910> (дата обращения 15.06.2025).
5. Токарев Р. О. Способы диагностики электрических машин / Р. О. Токарев, В. В. Шапошников, Е. А. Чабанов // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всероссийской научно-технической конференции в двух томах. – Пермь, 2020. – Том 2. – С. 93–99.

**VIII Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

21-22 ноября 2025 г.

324-5

Информация об авторах:

Месилова Арина Александровна, магистрант гр. ЭНМ-240407,
УрФУ, г. Екатеринбург, 620002, ул. Мира, д. 19, arinochkame@gmail.com

Фризен Василий Эдуардович, д.т.н., доцент, УрФУ, г. Екатеринбург,
620002, ул. Мира, д. 19, vfrizen@yandex.ru