

## АННОТАЦИЯ

диссертация на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности: 6D071800 — Электроэнергетика

**Исуповой Натальи Александровны**

### **РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РОТОРА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Предлагаемая диссертационная работа посвящена развитию теории построения систем диагностики эксцентриситета ротора асинхронных двигателей.

**Актуальность работы.** Чаще всего в электроэнергетике и на промышленных предприятиях в качестве электропривода используются асинхронные двигатели (АД). Так в Казахстане их эксплуатируется порядка 0,5-0,8 миллионов. Как показывают исследования, значительная их часть длительное время работает со статическим эксцентриситетом ротора. Как правило, смещение одной из опор ротора на расстояние меньше 75-85% воздушного зазора не приводит к немедленному выходу АД из строя. Однако его эксплуатационные характеристики значительно ухудшаются. При этом стоимость потерь электроэнергии за год может превысить стоимость самого АД. Из этого следует, что контроль за эксцентриситетом ротора особенно в рабочем режиме двигателя крайне необходим. Особенно в свете борьбы правительства Республики Казахстан за экономию электроэнергии.

Свой вклад в создание теории построения систем диагностики эксцентриситета ротора АД внесли Геллер Б., Гамата В., Вольдек А.И., Новожилов А.Н., Клецель М.Я., Никиян Н.Г., Вейнреб К.Б., Гашимов М.А., Рогачев В.А., Сурков Д.В., Тонких В.Г., Петухов В.Н., Крюкова Е.В., Мирзоева С.М..

В настоящее время требованиям диагностирования эксцентриситета ротора в наибольшей степени удовлетворяет система диагностики в которой в качестве источника информации о повреждении используется ток статора АД, который контролируется с помощью трансформатора тока, в качестве информационного признака повреждения – дополнительные токи, а зависимость величины дополнительных токов от эксцентриситета ротора для каждого типа АД получают экспериментальным путем.

Однако значительная часть АД не имеет трансформаторов тока. Кроме того, не все предприятия располагают возможностью получить экспериментальную зависимость информационного признака повреждения АД от величины эксцентриситета для имеющегося нужного типа двигателя. Что значительно сокращает область использования этой системы диагностики. Кроме того, используемый в этой системе информационный признак повреждения в известной мере завит от колебаний параметров питающей электрической сети.

Таким образом, вопрос развития теории построения систем диагностики эксцентриситета ротора АД является актуальным.

**Целью работы** является расширение области использования и надежности функционирования системы диагностики эксцентриситета ротора путем совершенствования способа получения и обработки информации о повреждении, а также разработки математического аппарата для построения зависимости информационного признака повреждения АД от величины эксцентриситета.

**Для достижения цели** были поставлены и решены следующие задачи:

- совершенствовать способ получения информации об эксцентриситете ротора АД и оценить его возможности;
- разработать метод расчета токов в обмотках АД при эксцентриситете ротора, по точности удовлетворяющий требованиям диагностики этого вида повреждения;
- исследовать возможности разработанного метода расчета токов в обмотках АД при эксцентриситете ротора;
- разработать новый способ обработки сигнала с целью получения диагностического признака от эксцентриситета ротора в условиях временных колебаний параметров питающей АД сети и моментов нагрузки на его валу;
- разработать способ получения зависимости величины диагностического признака от эксцентриситета ротора теоретическим путем;
- оценить возможность использования в качестве АЦП встроенной звуковой карты персонального компьютера в системе диагностики с новым математическим аппаратом элементов системы диагностики;
- проработать вопросы практической реализации системы диагностики эксцентриситета ротора АД в связи с новым способом получения информации.

**Объектом исследования** является область диагностирования эксцентриситета ротора АД посвященная развитию теории построения систем диагностики путем разработки более совершенной структуры такой системы, а также математического аппарата некоторых ее структурных элементов.

**Предметом исследования** является развитие теории построения систем диагностики эксцентриситета ротора АД путем разработки более совершенной структуры такой системы, а также математического аппарата некоторых ее структурных элементов.

**Научная новизна.** В работе исследованы известные структуры построения систем диагностики, выявлены их недостатки, ограничивающие их возможности, и разработана новая, более совершенная структура, лишенная этих недостатков. В связи с чем, был обоснован и реализован новый способ получения информации об эксцентриситете ротора АД, разработана математическая модель АД для моделирования эксцентриситета ротора, позволяющая рассчитывать токи в обмотках статора, для чего были разработаны новые способы моделирования гладкого воздушного зазора при эксцентриситете ротора и магнитной проводимости зубчатого зазора. Предложены методы математического моделирования магнитного поля

зубчатого зазора и собственных, а также взаимных индуктивностей обмоток статора и ротора при смещении ротора.

Разработан новый способ обработки сигнала с целью более надежного выделения диагностических признаков эксцентриситета ротора из информационного сигнала в условиях временных колебаний параметров питающей АД сети.

**Практическая ценность.** Выявлено, что недостатком, ограничивающим известные структуры построения систем диагностики эксцентриситета ротора АД, является несовершенство математического аппарата блоков обработки информационного сигнала и получения информационных признаков повреждения, а так же ограничения области диагностирования из-за несовершенства снятия информационного сигнала о повреждении. Для расширения области применения систем диагностики, был предложен способ получения информации, об эксцентриситете ротора АД позволяющий осуществлять диагностирование даже тех АД, которые не имеют трансформаторов тока. Разработана математическая модель АД для моделирования эксцентриситета ротора, с помощью, которой можно рассчитывать токи в обмотках статора с точностью порядка 10-15%. Что позволяет получить зависимость величины диагностического признака повреждения от величины эксцентриситета ротора достаточно точным расчетным путем и позволяет отказаться от необходимости получать ее достаточно дорогим экспериментальным путем.

Разработанный способ обработки сигнала позволяет более надежно выделять диагностические признаки эксцентриситета ротора из информационного сигнала за счет увеличения доли информационных признаков в получаемом от АД информационном сигнале.

**Результатами работы** являются: способ получения информации с помощью токоизмерительных клещей; математическая модель АД, позволяющая моделировать токи в обмотках статора и ротора в произвольном режиме работы; новый способ обработки информационного сигнала; предложение для формирования диагностического признака повреждения использовать нейронные сети или среднеквадратичное приведенное значение; способ получения расчетным путем зависимости величины диагностического признака повреждения от величины эксцентриситета ротора; предложение замены АЦП в системе диагностики звуковой картой персонального компьютера.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация выполнена на 96 страницах, состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка использованных источников, содержит 39 рисунков, 7 таблиц, 1 приложение.

**Во введении** обоснована актуальность и поставлена цель работы, показаны ее научная новизна и практическая ценность. Отражены положения, выносимые на защиту. Указаны публикации, структура диссертации и апробация результатов исследования.

**В первой главе** рассмотрены причины возникновения эксцентриситета ротора и его основные виды. Выявлено, что около 30-50% находящихся в

эксплуатации АД длительное время работают со статическим эксцентриситетом ротора, при этом ухудшаются их технико-экономические показатели. В связи, с чем потребление электроэнергии АД возрастает на 0,45-3,95%, таким образом, стоимость перерасхода электроэнергии за год может сравниться со стоимостью самого двигателя. Исследованы методы моделирования магнитного поля в воздушном зазоре и токов в обмотках АД при эксцентриситете ротора, рассмотрены информационные признаки этого вида повреждения. Произведен анализ известных систем диагностики, из которого выбрано более удачное техническое решение, но и оно обладает рядом недостатков. Так метод получения информации от АД и способ, построения зависимости величины эксцентриситета ротора, от диагностического признака не позволяют выполнить диагностику на целом ряде АД. Кроме того существующая система диагностики обладает недостаточной надежностью, так как не имеет способов отстройки от нестабильности параметров питающего напряжения.

**Во второй главе** для описания процесса преобразования энергии в АД при эксцентриситете используется математическая модель с фазовыми координатами, сформированная для междуфазных напряжений по методу контурных токов. Предложен способ моделирования гладкого воздушного зазора при эксцентриситете ротора сравнение его точности с уже известными показало, что наиболее предпочтительный способ, предложенный Б. Геллером и В. Гаматой. Получено, что при моделировании магнитного поля в воздушном зазоре АД предпочтительнее использовать нулевую и первую составляющую магнитной проводимости зубчатого зазора. Выяснено, что собственная индуктивность фаз статора зависит от величины нулевой и первой составляющей магнитной проводимости зубчатого зазора, а ротора еще и углом поворота ротора. Разработана математическая модель АД, позволяющая рассчитывать токи в обмотках АД с точностью 10-15%.

**В третьей главе** предложена усовершенствованная система диагностики. Для съема информационного сигнала в ней предложено использовать модернизированные токоизмерительные клещи, а вместо АЦП использовать звуковую карту персонального компьютера. Предложен новый способ обработки информационного сигнала, который позволит повысить точность системы диагностики, в условиях колебания параметров питающей сети. Исследована возможность для получения диагностического признака использовать искусственные нейронные сети.

**В заключении** показаны основные научные и практические результаты, полученные в работе.

**Сведения о публикациях.** По работе опубликовано 23 печатных труда, в том числе: 2 из них статьи в журнале, входящим в базу данных компании Scopus, 7 - в журналах рекомендуемых уполномоченным органом, 8 публикаций в материалах международных конференций, в том числе 6 в материалах зарубежных конференций, 2 статьи в журнале входящем в базу данных РИНЦ, а также получены 3 авторских свидетельства на изобретение РК и 1 патент на изобретение РФ.