

УКД 621.879: 62-799

## СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ДИАГНОСТИКЕ ЭКГ-5А

Забегаев М.В., магистрант гр. ЭАм-161, II курс  
Научный руководитель: Семькина И.Ю., д.т.н., профессор кафедры  
электропривода и автоматизации  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Одноковшовые карьерные экскаваторы являются основной машиной на открытых горных работах. От бесперебойной работы экскаваторов существенно зависит эффективность работы горного предприятия. Этим продиктованы весьма жесткие требования к производительности и эксплуатационной надежности карьерных экскаваторов.

Периодически экскаваторный парк пополняется современными новыми машинами. Однако вместе с новыми типами экскаваторов на карьерах в эксплуатации остается множество машин прежних выпусков. Поэтому для повышения безаварийной работы экскаваторов и производительности труда имеет большое значение их диагностика. И диагностика, которая проводится не во время плановых и вынужденных ремонтах, а постоянная диагностика. Использование более новейших разработок в технике, могли бы сократить простои, улучшить производительность экскаватора, увеличить межремонтный цикл экскаваторов. Недостатки, связанные с необходимостью обеспечения непрерывного контроля состояния оборудования экскаватора в процессе эксплуатации и диагностики технического состояния его отдельных узлов и систем, являются основными для экскаваторов прежних выпусков.

С развитием способов управления электрическими машинами переменного тока (частотный, импульсный, изменением амплитуды питающего напряжения, амплитудно-фазовый и т.д.), двигателям постоянного тока (ДПТ) предрекали скорую их замену на двигатели переменного тока, но они все еще имеют огромное значение для промышленности. Даже с учетом большого количества систем управления трехфазных двигателей, на ДПТ более дешево плавно регулировать широкий диапазон частоты вращения и соблюдать большую точность поддержания набранной скорости. С учетом сложных условий эксплуатации при относительно длительном сроке работы, ДПТ подвержены ускоренному механическому износу и требуют периодической диагностики и профилактического обслуживания. Наибольшая доля отказов приходится на коллекторно-щеточный механизм и подшипниковый узел.

Решающее значение для долгой и стабильной работы двигателя имеет своевременная диагностика степени износа коллекторно-щеточного и подшипниковых узлов, а также выявления дефектов обмоток. Для проверки работо-

способности, устранения неисправностей и повышения надежности периодически проводят планово-предупредительные работы, которые включают техобслуживание, текущий и капитальный ремонты.

В связи с тем, что большая доля неисправностей электрической части экскаватора приходится на коллекторно-щеточный механизм, целью большинства работ по разработке мониторинга и диагностики неисправностей экскаватора является создание метода мониторинга и диагностики неисправностей двигателей постоянного тока, исходя из оценки параметров, которые могут быть получены путем непосредственного измерения (напряжение, ток, температура, вибрация) в процессе работы, с дальнейшим определением надёжности и прогнозированием возможного выхода двигателя из строя.

Диагностика неисправностей проводится разными методами, такими как: оценка параметров, спектральный анализ, нейронные сети, нечеткая логика и т.п.. В данной статье постараемся охватить самые эффективные методы диагностики карьерных экскаваторов на ДПТ и в заключение выбрать наиболее подходящий для внедрения на ЭКГ-5А. В настоящее время в этой области активно ведутся работы, как в Российской Федерации, так и за рубежом. Среди них можно выделить работы Малафеева С.И., Тихонова Ю.В., Гаргаева А.Н., Каширских В.Г., Глинка Т.Я. и других авторов.

Гаргаев А.Н. в работе «Диагностика электроприводов карьерных экскаваторов на основе динамической идентификации электродвигателей» объясняет то, что параметры, которые определяют техническое состояние главных электроприводов, не все доступны прямому измерению. Например, индуктивности и активные сопротивления обмоток якоря и возбуждения, взаимная индуктивность обмоток и др. невозможно измерить напрямую для двигателей постоянного тока, которые являются центральными элементами электроприводов экскаватора. Из-за того, что значения параметров в большей степени зависят от теплового состояния и режимов нагружения электродвигателей, данные параметры могут быть получены непосредственно в процессе работы экскаватора.

Для выполнения этих целей можно использовать динамическую идентификацию, которая определяет в настоящем времени текущие значения переменных величин и электромагнитных параметров ДПТ на основе компьютерной обработки информации, которая содержится в токах и напряжениях двигателя на базе его математической модели и математических методов оценивания. На основе результатов динамической идентификации состояния двигателей главных электроприводов экскаватора создается система защиты и диагностики для которой используются искусственные нейронные сети. В качестве структуры ИНС выбрана сеть на базе многослойного персептрона с одним скрытым слоем, хорошо подходящая для решения задач классификации. Главная особенность систем диагностики на базе нейронных сетей – возможность расширить диагностируемые классы неисправных режимов путем дополнительного обучения ИНС. [1]

Также у Гаргаева А.Н. совместно с Каширских В.Г. есть вариант диагностики динамической идентификации с помощью поисковых методов. Цель оценивания параметров ДПТ с помощью поисковых методов заключается в том, что используя некоторую модель объекта, настраиваются ее параметры так, чтобы была наименьшая разность между выходными сигналами реального объекта и модели при одинаковых входных воздействиях.

В качестве поисковых методов можно использовать генетические алгоритмы и метод прямого перебора. Недостатками метода прямого перебора является большое время работы, которое зависит от шага поиска и пространства оцениваемых величин, а достоинствами – высокая точность найденных решений и простота программирования. Суть метода прямого перебора, заключается в поиске параметров путем перебора всех комбинаций параметров в диапазоне, заданном заранее, с запоминанием тех из них, при которых разность сигналов объекта и модели будет наименьшей.

Как второй вариант для реализации поискового метода возможно использовать генетические алгоритмы, представляющие собой процедуру оптимизации, которая основана на концепциях биологической эволюции, для этого задача формализуется так, чтобы ее решение могло быть закодировано в виде вектора генов (генотипе), где каждый ген можно представить набором бит, либо числом. При этом генетические алгоритмы работают с популяцией - совокупностью особей, каждая из которых представляет собой возможное решение поставленной задачи. [2]

Малафеев С.И., Тихонов Ю.В., Серебренников Н.А., которые являются научными сотрудниками компании «Объединенная Энергия» предлагают способ контроля и визуализации работы щеточно-коллекторного узла электрического двигателя постоянного тока в своем патенте. Их изобретение относится к автоматизированному контролю и интеллектуальной диагностике электрических машин. Техническим результатом является повышение точности выявления причины искрения щеточно-коллекторного узла. По сравнению с наиболее близким аналогичным техническим решением предлагаемое решение имеет ряд новых операций. В заявленном способе измеряется температура обмоток ротора, ток якорной обмотки, угловая скорость ротора, параметр, характеризующий искрение, и длину щеток, преобразуются измеренные величины в цифровые коды и передаются их в вычислительное устройство и далее на панель оператора. В памяти вычислительного устройства хранится модель механической характеристики двигателя, синтезируется анимированное изображение искрения коллекторно-щеточного узла и положение рабочей точки двигателя в плоскости параметров ток - скорость на фоне механической характеристики, вычисляются значения коэффициентов корреляции между параметром, характеризующим искрение, и током двигателя и коэффициентом корреляции между параметром, характеризующим искрение, и угловой скоростью двигателя на скользящем интервале времени в зависимости от значений температуры обмоток, угловой скорости ротора, тока, длины щеток, параметра, характеризующего искрение, коэффициентов корреляции. [3]

Из зарубежных работ большой интерес представляют разработки авторов X.Z. Gao, S.J. Obacka, Y.Dote по обнаружению неисправностей двигателя с использованием нейронной сети Элмана с генетическим алгоритмическим обучением. Обычные методы по обнаружению неисправностей двигателя часто должны работать определенными моделями двигателя. Кроме того, большинство из них являются неадаптивными и поэтому не могут использоваться в различных режимах работы. Для устранения этих недостатков они предлагают схему обнаружения неисправностей двигателя, основанную на нейронной сети на основе Элмана. Нейронная сеть Элмана обладает уникальной возможностью прогнозирования временных рядов из-за своих узлов памяти, а также локальных рекуррентных соединений. Для повышения точности аппроксимации и достижения лучшей эффективности обнаружения дополнительно внедрена стратегия обучения генетическому алгоритму для нейронной сети Элмана. Для проверки эффективности метода проводилось компьютерное моделирование.[4]

Ещё одним из направлений нейронных сетей занимаются E.A. Feilat и E.K. Maaitah. В своей статье авторы применяют нейронные сети RBF для идентификации и управления двигателем постоянного тока. Используются две нейронные сети с радиальным базисом: первый - это идентификатор, подготовленный в автономном режиме, для эмуляции динамических характеристик двигательной системы постоянного тока. Второй представляет собой контроллер, который обучен, чтобы скорость вращения двигателя соответствовала указанному сигналу. Предлагаются две схемы управления с использованием схем прямого обратного и внутреннего моделирования моделей. Производительность идентификатора и контроллера исследуется с точки зрения отклика шага, резких изменений траектории скорости, внезапного изменения нагрузки, а также изменения параметров двигателя. Результаты моделирования показали, что контроллеры имеют отличный динамический отклик, хорошо адаптируются к изменениям направления вращения и нагрузки, подключенной к двигателю, и адаптируются к изменениям параметров двигателя. [5]

Американская компания Emerson для различной техники применяет систему CSI 6500. Система основана на измерение вибраций. Сбор вибрации во время работы машины имеет важное значение для точной диагностики состояния машины. CSI 6500 регулирует выявление неисправностей, основываясь на изменении условий работы машины, таких как нагрузка или скорость. Когда эти условия находятся в определенном диапазоне, данные снимаются и сохраняются. При адаптивном мониторинге вы будете также выявить те неисправности, которые происходят при ненормальных условиях эксплуатации. Данная система может распознать механические неисправности, которые приведут к выходу из строя электрическую машину, например дисбаланс ротора, несоответствие вала, неисправные подшипники и т.д..

CSI 6500 использует уникальный метод обработки технологии PeakVue, которая распознает увеличение волны усилия во время процесса мониторинга.

Это обеспечивает более раннюю идентификацию развития сбоя в механическом оборудовании по сравнению со стандартными методами анализа вибрации. Технология PeakVue обнаруживает аномалии даже при очень низких оборотах, которые могут остаться незамеченными с помощью традиционных методов.

Комбинация адаптивного мониторинга и PeakVue технологии позволяет собирать данные во время этапа тестирования и нормальной работы машины. Аналитические данные доступны, как в кабине машиниста, так и могут быть интегрированы с другими системами для удаленного анализа. Вы можете легко идентифицировать и контролировать развитие неисправностей не находясь на самой машине. [6]

Из представленных методов можно сразу вычеркнуть диагностику с помощью прямого перебора, потому что он имеет большое время работы, и систему диагностики CSI 6500 от Emerson, так как нам необходимо диагностировать в основном электрические неисправности, а систему CSI 6500 можно использовать только как дополнительную диагностику.

На данный момент наиболее перспективными являются системы диагностики на базе нейронной сети, потому что существует возможность расширения диагностируемых классов неисправных режимов путем дополнительного обучения ИНС.

#### Список литературы:

1. Гаргаев А.Н. Диагностика электроприводов карьерных экскаваторов на основе динамической идентификации электродвигателей [Текст]: Диссертация на соискание учен. степени к.т.н.: защищена 26.06.2013 / Гаргаев Андрей Николаевич. – Кемерово, 2013, - 161 с. – 04201357235.
2. Гаргаев А.Н. Идентификация параметров ДПТ с помощью поисковых методов [Текст]. / А.Н. Гаргаев, В.Г. Каширских // Вестник КузГТУ. 2013. - № 1. - С. 128-131.
3. Способы контроля и визуализации работы щеточно-коллекторного узла электрического двигателя постоянного тока [Текст]: пат. 2536669 Рос. Федерация: МПК G06G 7/63 / Малафеев С.И., Тихонов Ю.В., Серебренников Н.А.; заявитель и патентообладатель ООО «Объединенная Энергия». – №2013126865/08; заявл. 11.06.2013; опубл. 27.12.2014, Бюл. №36. – 11 с.: ил 2.
4. X.Z. Gao, S.J. Obacka, Y.Dote. Motor fault detection using Elman neural network with genetic algorithm-aided training [text] // IEEE International Conf. on Systems, Man & Cybernetics. (ICSE), Oct. 8-11, 2000.
5. Feilat E.A., Maaitah E.K. Identification and control of DC motors using RBF neural network approach [text] // International conference on communication, computer and power, February 15-18, 2009, С. 258-264.
6. Electric Rope Shovel Monitoring [text] / Emerson Process Management. – 2014.