

Обоснование метода диагностики и автоматизированного контроля технического состояния электромеханического привода горнопроходческого комбайна

И.А. Носенко, А.А. Домницкий, И.А. Курсанов

Шахтинский автодорожный институт (филиал) ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова

Аннотация: В статье рассмотрено одно из направлений повышения надежности горнопроходческого оборудования, за счет устранения внезапных отказов и уменьшения тяжести их последствий, на основе применения цифровых технологий и систем автоматизированного контроля его технического состояния и проведения оперативной онлайн-диагностики. Предложено использовать методы диагностики и автоматизированного контроля технического состояния силовых электрических машин, заключающиеся в мониторинге тока с последующим спектральным анализом зафиксированного сигнала. Метод позволяет с достаточной точностью определять текущее техническое состояние элементов двигателя. В качестве составляющих элементов диагностического комплекса принят высокопроизводительный RISC микроконтроллер семейства AVR ATmega16, который содержит в своем составе быстрый Гарвардский процессор, память программ, память данных, порты ввода/вывода и различные интерфейсные схемы.

Ключевые слова: надежность горнопроходческого оборудования, диагностика, автоматизированный контроль, мониторинг тока, спектральный анализ.

Одним из направлений повышения надежности горнопроходческого оборудования, за счет устранения внезапных отказов и уменьшения тяжести их последствий, рассматривается применение цифровых систем автоматизированного контроля его технического состояния и проведение оперативной онлайн-диагностики. Такие технологии позволяют не только получать прямые технико-экономические показатели работоспособности и эксплуатации оборудования, но и после соответствующей обработки результатов, определять косвенные показатели работоспособности [1-2]. Важность применения оперативной диагностики и автоматизированного контроля заключается в предотвращении аварийных ситуаций, прогнозировании остаточного ресурса, исключении ремонта надежно работающих узлов, снижении затрат на восстановление работоспособного состояния. Поэтому, применение безразборного автоматизированного

контроля технического состояния горнопроходческого оборудования является актуальной задачей.

К настоящему моменту, электродвигатели переменного тока являются главными потребителями электроэнергии. Проведенный анализ показывает, что они используют более 80% от общей, производимой в стране.

При этом, во время их эксплуатации по разным причинам происходят повреждения их составных элементов, что приводит к нарушению работоспособности и снижению срока службы. Необходимо вовремя установить неисправности, такую возможность обеспечивает онлайн-диагностика и автоматизированный контроль технического состояния оборудования.

Горнопроходческая техника, работающая в тяжелых условиях эксплуатации, тем более нуждается в таких методах автоматизированного контроля, дающих возможность получить информацию о техническом состоянии особо нагруженных узлов. Это позволяет своевременно проводить их текущий ремонт, замену той или иной детали без длительной остановки рабочего процесса.

Применяемые в подземных условиях методы диагностики и автоматизированного контроля технического состояния горнопроходческого оборудования должны отвечать ряду требований:

- применение диагностического оборудования, выполненного во взрывобезопасном исполнении;
 - технология проведения непосредственно диагностических манипуляций должна обеспечивать безопасность обслуживающего персонала;
 - удобство монтажа диагностического оборудования;
 - высокая скорость обработки полученной информации и представления результатов.
-

Проведенные исследования в области повреждений элементов электродвигателей показывают, что их распределение по характеру повреждений можно представить следующим образом: повреждения элементов статора – 38%; ротора – 10%; подшипниковых узлов – 40%; остальные повреждения – 12%.

В настоящее время, широкое применение находит метод вибродиагностики [3-5]. Однако метод является весьма дорогостоящим, трудоемким, предполагающим использование специальных контрольно-измерительной аппаратуры и компьютерных программ. Технология проведения вибродиагностики предусматривает наличие хорошего доступа к исследуемым элементам электромеханического привода, что весьма затруднительно в подземных условиях, при том, что требования к взрывобезопасности накладывают ограничения на конструкцию диагностического оборудования. Необходим непосредственный доступ к исследуемым элементам для размещения вибродатчиков в трех проекциях. Весьма затруднительно отделить вибрации, вызванные сопутствующим оборудованием.

Широкое распространение получили методы диагностики и автоматизированного контроля технического состояния силовых электрических машин, заключающиеся в мониторинге тока с последующим спектральным анализом зафиксированного сигнала [6-8]. Метод позволяет с достаточной точностью определять текущее техническое состояние элементов двигателя.

Принципы, положенные в основу данного метода, заключаются в том, «что любые возмущения в работе электрической и/или механической части электродвигателя и связанного с ним приводного устройства приводят к изменениям магнитного потока в зазоре электрической машины и, следовательно, к модуляции потребляемого электродвигателем тока.

Соответственно, наличие в спектре тока двигателя характерных (и несовпадающих) частот определенной величины свидетельствует о наличии повреждений электрической и/или механической части электродвигателя и связанного с ним механического устройства. Сопоставление гармоник тока дает возможность отличить гармоники питающего напряжения (а также оценить его «качество») и гармоники, характерные для неисправностей оборудования. Таким образом, обнаружение в спектре тока характерных гармоник позволяет однозначно идентифицировать наличие повреждений элементов трансмиссии». Мониторинг тока электродвигателя, в сопоставлении с вибродиагностикой, положительно отличается тем, что он проводится на клемной коробке электродвигателя (без изменения режима работы), или на электрошите, что можно считать главным преимуществом для подземных условий [9-10].

Основной задачей проведения частотного спектрального анализа можно считать установление значения эксцентриситета в электродвигателе, соответствующего критичному значению. Значение статического эксцентриситета соответствует частотам, определяемым зависимостями:

$$f_{es} = f_r \cdot R \pm m \cdot f_1$$

$$f_{es} = f_r \cdot R \pm m \cdot f_1,$$

где f_1 частота питающего напряжения, Гц; f_r – угловая скорость ротора, Гц; R - количество стержней ротора; $m = 1, 3, 5, 7$.

Значение динамического эксцентриситета определяется на частотах, которые появляются вокруг частот статического эксцентриситета:

$$f_{ed} = f_r \cdot R + m \cdot f_1 \pm f_r ;$$

$$f_{ed} = f_r \cdot R - m \cdot f_1 \pm f_r .$$

Для установления идентификационных частот в спектре тока при

диагностике и автоматизированном контроле технического состояния подшипников, воспользуемся следующими зависимостями:

$$f_{bng}^c = \left| f_1 \pm m \cdot \frac{1}{2} \cdot f_r \cdot \left(1 - \frac{D_B \cdot \cos \theta}{D_P} \right) \right| - \text{дефект сепаратора,}$$

$$f_{bng}^o = \left| f_1 \pm m \cdot \frac{N_B}{2} \cdot f_r \cdot \left(1 - \frac{D_B \cdot \cos \theta}{D_P} \right) \right| - \text{дефект внешней обоймы,}$$

$$f_{bng}^i = \left| f_1 \pm m \cdot \frac{N_B}{2} \cdot f_r \cdot \left(1 + \frac{D_B \cdot \cos \theta}{D_P} \right) \right| - \text{дефект внутренней обоймы,}$$

$$f_{bhg}^b = \left| f_1 \pm m \cdot \frac{D_P}{2 \cdot D_B} \cdot f_r \cdot \left(1 - \frac{D_B^2 \cdot \cos \theta}{D_P^2} \right) \right| - \text{дефект тел качения подшипника,}$$

где f_r - частота вращения ротора, Гц; D_B - диаметр тел качения, м; D_P - средний диаметр сепаратора, м; N_B - число тел качения, θ - угол, контакта тел качения с обоймой, град.

Рассматриваемый метод, основанный на оценке спектрального статорного тока двигателя, позволяет применять его при диагностировании и автоматизированном контроле дефектов зубчатых зацеплений и подшипниковых узлов. Частота, соответствующая дефекту шестерни, рассчитывается по формуле:

$$f_m^i = f_m^r \cdot l,$$

где f_m^r - частота вращения шестерни, Гц; l - количество зубьев шестерни.

В результате выполненных теоретических исследований получен вывод о том, что диагностику горнопроходческой машины целесообразно осуществлять на работающем двигателе под нагрузкой в интервале от 20% до 70% его номинального значения. Иначе, скольжение, которое становится близким к нулевой отметке, не позволяет идентифицировать изменения в частотной характеристике.

Функциональная схема разрабатываемого комплекса для сбора и обработки информации представлена на рис. 1.

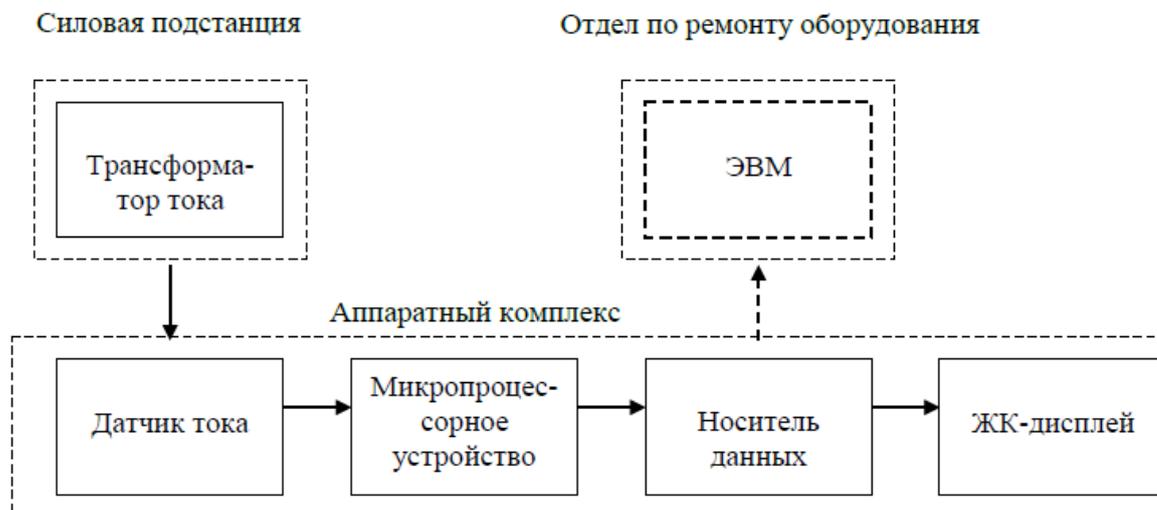


Рис. 1. Функциональная схема разрабатываемого комплекса

При запуске электродвигателя величина пускового тока в его обмотке доходит до значений в пределах 400А. В связи с этим, к одной из фаз электродвигателя (А, В, С) осуществляется подключение трансформатора тока (ТТ), где ток, на вторичной обмотке, принимает допустимое значение в пределах 0,5 - 1А, что позволяет фиксировать его значение датчиком тока. Полученный сигнал обрабатывается фильтром низких частот (ФНЧ) для отделения высокочастотных шумов от устройств, находящихся на соответствующей фазе (силовая и управляющая аппаратура) и ликвидации неинформативных частот тока. Параметры применяемого фильтра рассчитываются в соответствии с параметрами информационного сигнала. Производится оцифровка сигнала с использованием аналого-цифрового преобразователя (АЦП), и полученные данные заносятся в память устройства. С применением быстрого преобразования Фурье (БПФ), по специальному алгоритму формируется заключение о техническом состоянии электродвигателя и элементах электромеханического привода.

Технология сбора и обработки информации представлена на рис. 2.

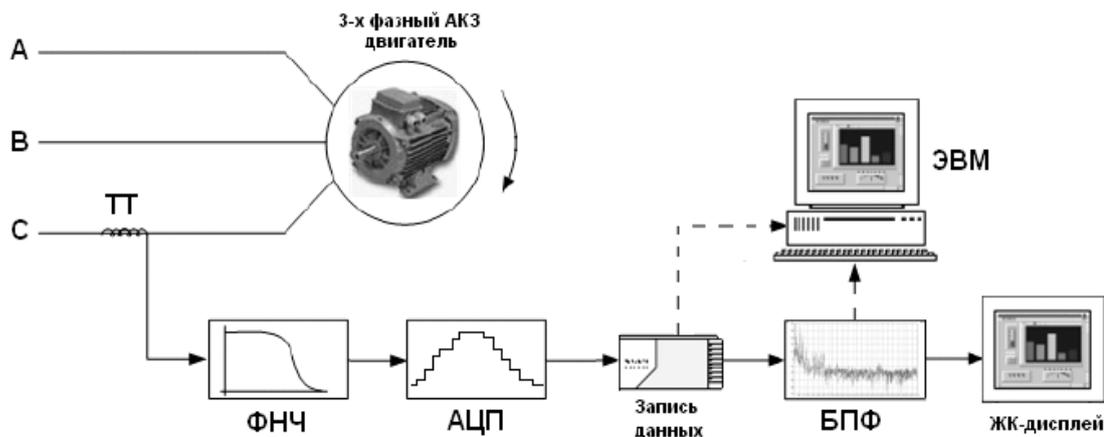


Рис. 2. Принцип сбора и обработки информации

Предусмотрена возможность подключения проектируемого диагностического устройства к ЭВМ и представить зафиксированный массив данных оцифрованного частотного сигнала во временной области, для последующей обработки с применением специальных прикладных исследовательских пакетов.

В качестве составляющих элементов диагностического комплекса принят высокопроизводительный RISC микроконтроллер семейства AVR ATmega16, который содержит в своем составе быстрый Гарвардский процессор, память программ, память данных, порты ввода/вывода и различные интерфейсные схемы. Установлено, что для исследований и анализа полиномиальной характеристики и частот, расположенных около точки среза в полосе задерживания, достаточно использовать фильтр Чебышева с частотой среза $f_c = 1200$ Гц. Контроллер выбранного модуля является аналогом компании МЭЛТ МТ-16S2Q. Для реализации поставленной цели, диагностический комплекс выполнен переносным, и рассчитан на питание от бортового напряжения постоянного тока 12В. Использован AC/DC - преобразователь (импульсный преобразователь переменного тока в постоянный) TOM12105 фирмы Traco Power.

Выводы

Предложенная методика определения технического состояния электромеханического привода горнопроходческого комбайна без прекращения технологического цикла, основанная на оперативной диагностике и автоматизированном контроле, отличается тем, что в качестве входного сигнала, принимаются параметры тока, получаемые непосредственно на электродвигателе.

Сопоставительный анализ расчетных и экспериментально полученных амплитудно - частотных характеристик по отдельным узлам приводного двигателя и элементов трансмиссии исполнительного органа горнопроходческого комбайна КП21 подтвердил их адекватность. При уровне доверительной вероятности 0,9 расхождения расчетных значений и значений, полученных в результате замеров, не превышают 7%-12%, что является допустимым для данного типа исследований.

Результаты производственных исследований с применением рассмотренной методики будут представлены в отдельной статье.

Литература

1. Носенко А.С. Домницкий А.А. Носенко И.А. Результаты производственных исследований надежности горнопроходческих комбайнов избирательного действия // Инженерный вестник Дона. 2016. №1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_14_Nosenko.pdf_2757bcb0b1.pdf
2. Носенко И.А. Информационные технологии диагностики состояния электропривода проходческого комбайна КП21 // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сб. статей 9-й международ. науч.-техн. конф, ноябрь 2008. - Пенза: РИО ПГСХА, 2008. - С.196-198.



3. Герике Б.Л. Мониторинг технического состояния горного оборудования // Горные машины и автоматика - 2002. - №9. - С. 30-34.
 4. Дрыгин С.Ю. Анализ технического состояния экскаваторного парка угольных разрезов Кузбасса // Вестник КузГТУ, Кемерово. 2004. №6. – С. 46-48.
 5. Петухов В.С., Соколов В.А. Диагностика состояния электродвигателей на основе спектрального анализа потребляемого тока // Новости Электротехники, 2005. №1(31).URL: news.elteh.ru/arh/2005/31/11.php
 6. Авилов В.Д., Беляев В.П., Исмаилов Ш.К., Харламов В.В. Диагностирование и настройка коммутации тяговых и других коллекторных электрических машин. Омск. 2002, с. 63-66.
 7. Thomson W. T. A Review of On-Line Condition Monitoring Techniques for Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors -Past Present and Future // Keynote address at IEEE Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives, Gijon, Spain, Sept. 1999. Pp. 3-18.
 8. Thomson W. T., Fenger M. Current Signature Analysis to Detect Induction Motor Faults // IEEE Industry Application Magazine July/August 2001.
 9. Синютин С.А., Горбунов А.А., Киснер А.Ю. Разработка динамической модели электропривода механизма сканирования прибора ориентации по Земле // Инженерный вестник Дона, 2020, №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6639.
 10. Гладких С.А., Ланкин А.М., Ланкин М.В. Метод обработки рабочей характеристики электромагнита для прогнозирования его надежности // Инженерный вестник Дона, 2021, №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7057.
-



References

1. Nosenko A.S. Domniczkij A.A. Nosenko I.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_14_Nosenko.pdf_2757bcb0b1.pdf.
2. Nosenko I.A. Informacionno-vy`chislitel`ny`e texnologii i ix prilozheniya: sb. statej 9 mezhdunarod. nauch.-texn. konf., noyabr` 2008g. Penza: RIO PGSXA, 2008. p.196.
3. Gerike B.L. Gorny`e mashiny` i avtomatika, 2002, №9. p. 30.
4. Dry`gin S.Yu. Vestnik KuzGTU, Kemerovo, 2004. №6. p. 46.
5. Petuxov V.S., Zhukov S.V. Novosti E`lektrotexniki, 2005. №1 (31). URL: news.elteh.ru/arh/2005/31/11.php.
6. Avilov V.D., Belyaev V.P., Ismailov Sh.K., Xarlamov V.V. Omsk. 2002, p. 63.
7. Thomson W.T. Keynote address at IEEE Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives, Gijon, Spain, Sept. 1999. p. 3.
8. Thomson W. T., Fenger M. IEEE Industry Application Magazine July 2001.
9. Sinyutin S.A., Gorbunov A.A., Kisner A.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, № 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6639.
10. Gladkix S.A., Lankin A.M., Lankin M.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/705.