УДК 621.31

А.Е.КОЗЯРУК, *д-р техн. наук, профессор, (812)328-82-70*
Ю.Л.ЖУКОВСКИЙ, *канд. техн. наук, доцент, gukovskiy@bk.ru*
С.В.БАБУРИН, *канд. техн. наук, доцент, 8-921-883-63-19*
А.А.КОРЖЕВ, *канд. техн. наук, доцент, app@bk.ru*
А.В.КРИВЕНКО, *канд. техн. наук, доцент, krivenkoav@rambler.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

A.E.KOZYARUK, *Dr. in eng. sc., professor, (812)328-82-70*
Y.L.SHZUKOVSKY, *PhD in eng. sc., associate professor, gukovskiy@bk.ru*
S.V.BABURIN, *PhD in eng. sc., associate professor, 8-921-883-63-19*
A.A.KORSHZEV, *PhD in eng. sc., associate professor, app@bk.ru*
A.V.KRIVENKO, *PhD in eng. sc., associate professor, krivenkoav@rambler.ru*
Saint Petersburg State Mining University

ДИАГНОСТИКА И ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО В ТЯЖЕЛЫХ УСЛОВИЯХ, ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Предложен метод диагностики и оценки остаточного ресурса электромеханического оборудования, основанный на анализе электрических параметров. Представлены структурные схемы диагностического комплекса и программы обработки данных. Рассмотрен способ применения искусственных нейронных сетей для обработки данных диагностики и оценки остаточного ресурса, а также приведены уровни влияния повреждений на работоспособность оборудования.

***Ключевые слова*:** диагностика, оценка ресурса, электромеханическое оборудование.

DIAGNOSTICS AND ESTIMATION OF THE RESIDUAL RESOURCE OF THE ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT WORKING, UNDER TRYING CONDITIONS ON ELECTRIC, PARAMETERS

The method of diagnostics and estimation of a residual resource of the electromechanical equipment, based on the analysis of electric parameters is offered. Block diagram's of a diagnostic complex and the data processing program are presented. The way of application of artificial neural networks for data processing of diagnostics and an estimation of a residual resource is considered, and also levels of influence of damages on working capacity of the equipment are resulted.

***Key words*:** diagnostics, resource estimation, the electromechanical equipment.

Прогресс в решении задач эксплуатации электромеханического оборудования во многом определяется качественным уровнем систем оценки его технического состояния. В современных условиях в эксплуатации сочетается состарившееся оборудование и оборудование с новыми материалами и свойствами, для которых традиционные методы выявления дефектов неприемлемы [2]. Кроме того, использование значительного парка оборудования, у которого истек паспортный срок эксплуатации, неизбежно приводит к увеличению затрат на ремонт и техническое обслуживание. В связи с этим весьма важной является проблема поиска новых технических решений диагно-



Рис.1. Подключение мобильного аппаратно-программного комплекса диагностики и оценки остаточного ресурса

стики и оценки остаточного ресурса, обеспечивающих более совершенную организацию технического обслуживания. Перспективным считается переход от технического обслуживания по регламенту или по выходу из строя оборудования к обслуживанию по фактическому состоянию. Для организации такого обслуживания необходимы средства, позволяющие оценить состояние оборудования на данный момент времени, проследить изменение его за последнее время и осуществить прогноз на ближайшее будущее. Качественного улучшения системы оценки состояния можно достигнуть, исследуя ее как многофакторную задачу. Многие дефекты и анормальные режимы можно обнаружить только в результате измерения и последующей обработки комплекса первичных признаков. Такие задачи требуют обработки большого объема информации, широкого использования информационных технологий [4].

В настоящее время получили развитие методы диагностики технического состояния электромеханического оборудования, основанные на анализе вибраций отдельных элементов агрегата и акустических колебаний [5]. Существенным недостатком данных методов является необходимость непосредственного доступа к электромеханическому оборудованию, что в условиях предприятий добычи, переработки и транспортировки полезных ископаемых не всегда возможно. Этого недостатка лишен метод, основанный на анализе электрических параметров электромеханического оборудования, так как датчики, снимающие показания, подключаются прямо к шкафу управления или распределительному щиту (рис.1). Это позволяет диагностировать оборудование, находящееся в труднодоступных местах, без непосредственного доступа к нему и остановки технологического процесса.

Рассматриваемый метод диагностики основан на возникновении электромагнитной несимметрии поля в зазоре поврежденного электродвигателя, в результате чего происходит изменение спектрального состава токов и напряжений [1].

Также в качестве критерия для оценки энергетических процессов в реальной машине используют показатели потерь мощности на характерных для определенных повреждений частот. Таким образом, анализируя график сигнала тока и мощности за определенный период времени можно обнаружить повреждение электромеханического оборудования и распознать его вид.

Реализация данного способа возможна с помощью программно-аппаратного комплекса (рис.2), состоящего из ЭВМ и устройства преобразования сигнала [3]. Программа, выполняемая на ЭВМ, должна определенным образом обработать входную информацию и определить наиболее вероятный вид повреждения работающего электропривода или сделать заключение о его исправности. Данный способ позволяет формировать базы данных с информацией об отслеживаемой динамике повреждений электропривода с последующим прогнозированием отказов, а также использовать искусственные нейронные сети, нечеткую логику и экспертные системы для обработки результатов и оценки величины остаточного ресурса.

С целью реализации рассмотренного способа диагностики и оценки остаточного ресурса электромеханического оборудования на базе кафедры электротехники и электромеханики Санкт-Петербургского горного

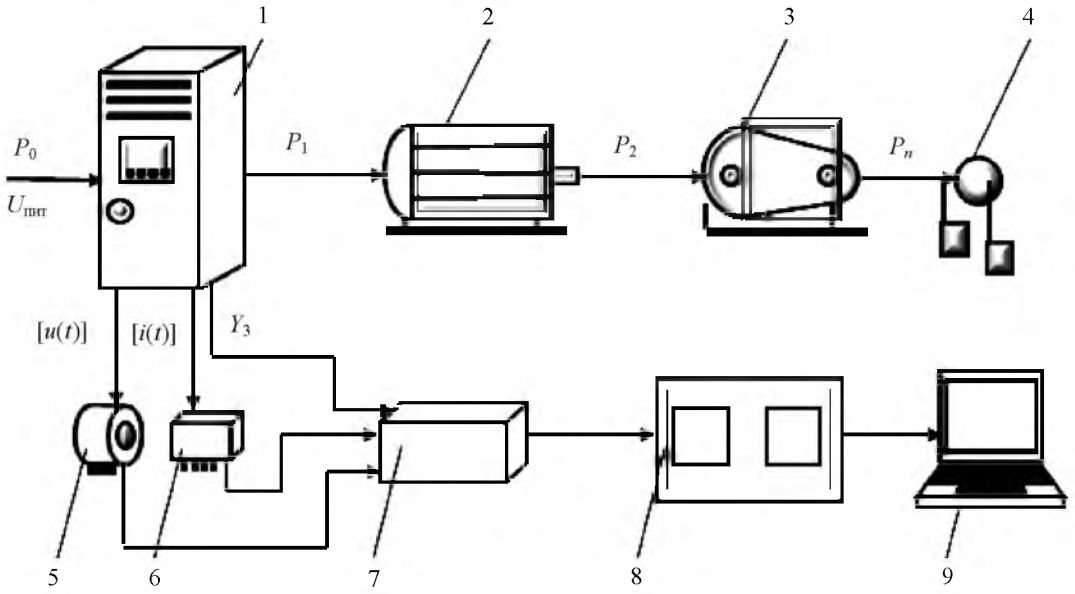


Рис.2. Структурная схема диагностического комплекса

1 – статический силовой преобразователь; 2 – электрический двигатель; 3 – механический преобразователь; 4 – рабочий орган; 5 – датчик тока; 6 – датчик напряжения; 7 – фильтр низких частот; 8 – устройство сбора данных АЦП; 9 – электронно-вычислительная машина

университета созданы лабораторные стенды диагностики электропривода переменного тока.

Использование комплексного подхода к диагностике и оценке остаточного ресурса ограничивается отсутствием методических разработок, которые позволили бы применять измеренные сигналы разной физической природы и размерности. Весьма важно, что состав признаков технического состояния или их весомость может меняться в зависимости от стадии развития дефекта и срока службы оборудования.

Поэтому для расширения возможностей диагностического комплекса и применения многофакторного анализа повреждений и оценки остаточного ресурса планируется создание лабораторного научно-исследовательского измерительного комплекса с применением оборудования компании «National Instruments», а также графического языка программирования LabView. Применение оборудования «National Instruments» позволяет организовать также и стационарную сеть диагностики и оценки остаточного ресурса, которая может осуществлять непрерывный контроль диагностируемых параметров и автоматически сохранять измерения в базе данных. Данный подход удобен на стадии сбора статистики для однотипных агрегатов или наблюдения в режиме реального времени за изменением определенных диагностируемых параметров при изменении режима работы привода или возникновении неисправности. Сохранение измерений при этом может происходить как с заданным интервалом времени, так при определенном условии, например превышение значения коэффициента потерь мощности на заданную величину. При этом должно осуществляться сохранение измеряемых параметров в определенном интервале времени как до наступления условия превышения, так и после. Емкость современных жестких носителей информации позволит сохранять результаты замеров в течение продолжительного времени, что, безусловно, является положительным фактором в вопросе набора статистики и в дальнейшем позволит давать более точные расчеты остаточного ресурса электрооборудования.

При проектировании программного обеспечения в среде LabView используется структурная схема (рис.3). Модуль сбора

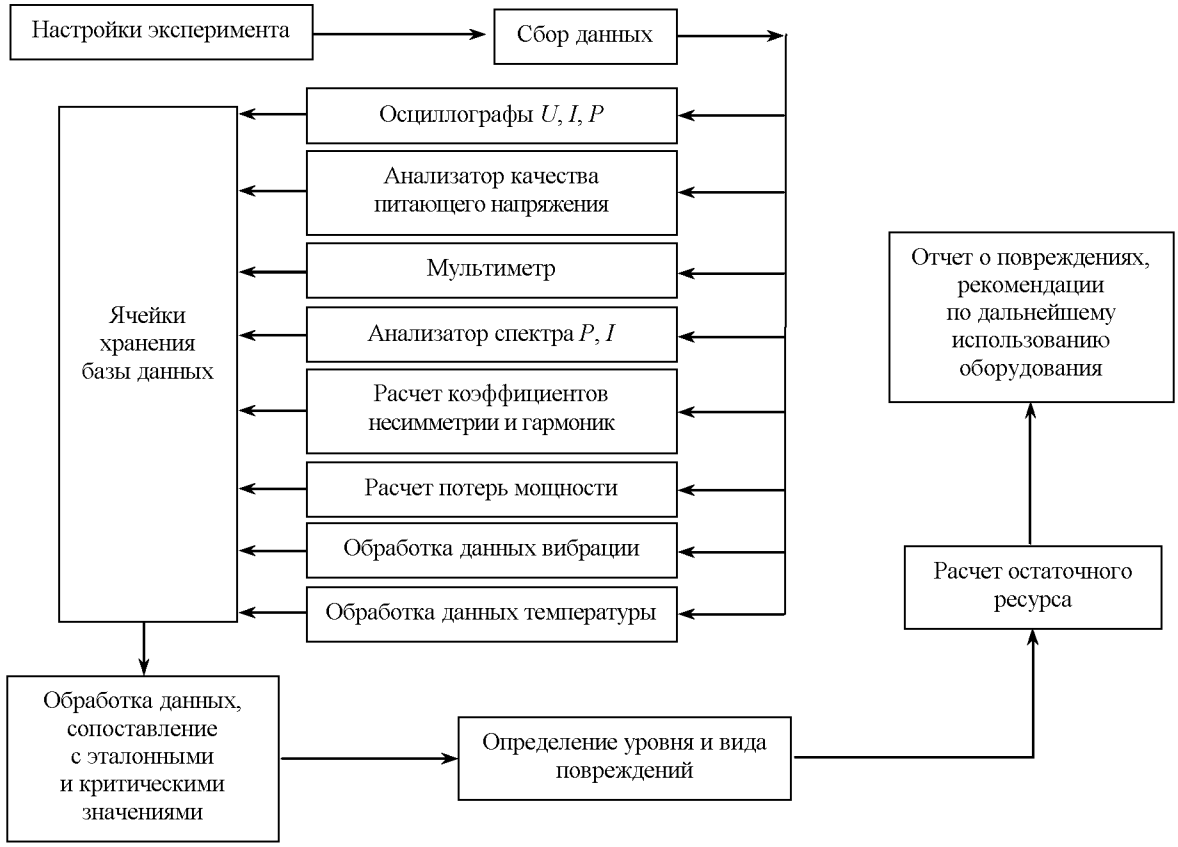


Рис.3. Структурная схема программного обеспечения

данных предназначен для чтения сигналов с измерительных датчиков, а остальные модули являются аппаратно-независимыми и выполняют функции обработки, визуализации и регистрации данных.

В блоке настройки эксперимента производится выбор максимального уровня измеряемых сигналов тока и напряжения, ввод номинальных параметров электрооборудования, выбор времени замера и частоты дискретизации. Блок сбора данных осуществляет сбор измеренных сигналов с указанных датчиков и передачу на соответствующие блоки обработки и отображения сигналов.

Показатели с блока обработки и отображения поступают в ячейки хранения базы данных, в которых находится информация о предыдущих измерениях, а также эталонные и критические значения сигналов. В следующем блоке происходит обработка данных и сопоставление измеренных значений с эталонными и критическими. Сопоставленные сигналы поступают на блок расчета остаточного ресурса, после чего конечный блок выдает информацию о наличии повреждения в электрооборудовании и рекомендации по его дальнейшему использованию.

Блок-схема алгоритма программного обеспечения реализуется с помощью графического языка программирования LabView.

Это позволяет разработать многофункциональный комплекс для исследований и эксплуатационного обслуживания электрооборудования, который может быть легко адаптирован для применения в других отраслях техники, обрабатывать сигналы, полученные с плат сбора данных сторонних фирм-производителей, а также сигналы, записанные на жесткие носители. Все это значительно облегчает задачу технического персонала, так как нет необходимости в перемещении к диагностируемому оборудованию системного блока персонального компьютера, содержащего обширную базу данных. Сигналы могут быть записаны с помощью портативных мобильных устройств

Влияние уровня сигнала повреждения на работоспособность оборудования

Уровень сигнала, %	Техническое состояние	Допуск к эксплуатации
0-5	Отличное – не влияет на работоспособность	Допускается
5-15	Хорошее – влияние на работоспособность несущественно	»
15-25	Удовлетворительное – вероятность отказа существует (0,4-0,5 %), требуется оценка остаточного ресурса	Допускается при периодическом контроле
25-100	Неудовлетворительное – высокая вероятность отказа (более 0,8 %), остаточный ресурс не оценивается	Не допускается

сбора данных, а затем перенесены на сервер базы данных для последующей обработки.

Принятая структура программного обеспечения позволяет сравнительно просто компоновать программные модули для создания автономных специализированных виртуальных приборов, реализующих сокращенный набор функций, например, осциллографа или анализатора спектра и т.п., модифицировать набор реализуемых виртуальной лабораторией функций, использовать различные технические средства, заменяя только модули, ответственные за взаимодействие с аппаратурой, не изменяя при этом модули обработки и визуализации.

Также в настоящее время достаточно актуально применение адаптивных устройств защиты и диагностики, позволяющих выполнять диагностику электродвигателей независимо от их мощности и конструкции. Искусственные нейронные сети дают возможность эффективно определять причину и виды повреждения асинхронных электродвигателей, работать с зашумленными данными, избавляя от необходимости применения промежуточных электронных фильтров от помех или фильтрации математическими методами, а также адаптироваться к конкретному типу электродвигателя. Кроме этого, искусственные нейронные сети широко применяются в прогнозировании. При обучении нейронной сети на выходе используется определенное значение $Y_{эт}$, соответствующее конкретному виду неисправности электродвигателя, и эталонные экспериментальные значения сигнала опытного электродвигателя. После этого при идентификации сигнала уже обученной сетью производится проверка соответствия значения Y на выходе сети значению $Y_{эт}$, которое задавалось при обучении. Если $Y = Y_{эт}$, значит в электродвигателе неисправность на 100 %, для которой обучалась данная нейронная сеть. В противном случае производится оценка степени соответствия. В качестве обнаруженной неисправности выбирается та, степень соответствия которой наибольшая. По степени соответствия для других неисправностей электродвигателя можно судить о вероятности повреждений. В наиболее сложных случаях, возможно, придется использовать экспертную систему с набором правил нечеткой логики, которые будут определяться в ходе экспериментальных исследований.

Основным преимуществом представленного решения является его гибкость. Использование обычного многоцелевого компьютера, оснащенного рядом аппаратных и программных интерфейсов и платами сбора и согласования сигналов, даст возможность реализации эффективного и быстродействующего аппаратно-программного комплекса диагностики электропривода переменного тока. Благодаря предложенной структуре приложений, без существенного изменения текущего алгоритма измерений и обработки данных можно добавлять в алгоритм новые функциональные модули с новыми виртуальными инструментами.

Окончательное влияние повреждения на работоспособность следует оценивать по четырем уровням (см. таблицу).

Таким образом, предложенная система диагностики и оценки остаточного ресурса позволит выявлять неисправности на ранней стадии возникновения, отслеживать динамику их развития, определять остаточный ресурс и планировать рациональные сроки проведения ремонтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аврамчук В.С.* Функциональный контроль и диагностика электротехнических и электромеханических систем и устройств по цифровым отсчетам мгновенных значений тока и напряжения / В.С.Аврамчук, Н.Л.Бацева / Томский политехнический университет. Томск, 2003.

2. *Биргер И.А.* Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978.

3. Современные методы неразрушающего контроля и диагностики технического состояния электроприводов горных машин / Ю.Л.Жуковский, А.А.Коржев, А.В.Кривенко, С.В.Бабурин // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 9.

4. *Таджибаев А.И.* Автоматизированные системы распознавания состояний электроустановок. СПб: Энергоатомиздат, 2001.

5. *Pöyhönen S., Jover P., Hyötyniemi H.* Independent component analysis of vibrations for fault diagnosis of an induction motor: International Conference on Circuits, Signals, and Systems (CSS 2003). Cancun, Mexico, 19-21 may 2003. Vol.1.

REFERENCES

1. *Avramchuk V.S., Batseva N.L.* The functional control and diagnostics of electrotechnical and electromechanical systems and devices over digital readout of a current and voltage instant values. Tomsk, 2003.

2. *Birger I.A.* Technical diagnostics. Moscow: Mechanical engineering, 1978.

3. *Zhukovskij J.L., Korzhev A.A., Krivenko A.V., Baburin S.V.* Modern not destroying control and diagnostics methods of a mountain machines electric drives technical condition // The mountain equipment and electromechanics. 2009. N 9.

4. *Tadgibaev A.I.* Recognition automation system of electroinstallations conditions. Saint Petersburg: Energoatomisdat, 2001. Vol.5.

5. *Pöyhönen S., Jover P., Hyötyniemi H.* Independent component analysis of vibrations for fault diagnosis of an induction motor: International Conference on Circuits, Signals, and Systems (CSS 2003). Cancun, Mexico, 19-21 may 2003. Vol.1.