

## РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

**Введение.** Электромеханическая система (ЭМС) является сложной динамической системой, характеристики которой с достаточной для практики точностью могут быть описаны конечным набором параметров. Функционирование ЭМС можно рассматривать как отражение внешних и внутренних возмущений. Качество функционирования зависит от конструктивных параметров и возмущений, которые изменяются во времени и могут вызывать параметрический отказ. Изменение текущего состояния можно контролировать, например, по внешним признакам: изменениям параметров вибраций, шуму, нагреву, динамическим ударам и пр.; все эти изменения порождены внутренними процессами. Знание этих процессов крайне важно для эффективной эксплуатации.

**Анализ предыдущих исследований.** Неотъемлемой частью эксплуатации электрических машин (ЭМ) является оценка их состояния и ремонт [1, 2]. Существующие методы оценки состояния и диагностики в большинстве своем требуют остановки ЭМ и вывода ее из технологического процесса во время технических осмотров, планово-предупредительных или капитальных ремонтов [3-6]. В последние годы появляются теоретические работы по созданию систем мониторинга ЭМ, в том числе в процессе их работы по измеренным сигналам тока и напряжения [7], однако такие системы требуют наличия системы измерения электрических параметров и, как правило, преобразователя энергии для создания специальных режимов питания, необходимых для оценки состояния ЭМ. Задача оценки состояния ЭМ как сложной электромеханической системы с нелинейными характеристиками во многих случаях имеет неоднозначное и не единственное решение. Это, с одной стороны, не позволяет в полной мере автоматизировать процесс диагностики, а с другой – требует принятия решения от человека-оператора. При этом человек-оператор должен обладать необходимыми теоретическими знаниями и опытом.

С развитием и совершенствованием вычислительных комплексов и информационных технологий развивается новое направление - компьютерная диагностика, которая тесно связана с разработкой экспертных систем (ЭС), способных обрабатывать не только количественные данные, но и различного рода знания, проводя анализ поведения технических систем и принимая экспертные решения. Учитывая это, построение экспертной системы определения неисправностей электрических машин на основе анализа внешних признаков, характеризующих режим работы, является актуальной задачей.

**Цель работы.** Построение экспертной системы определения неисправностей электрических машин на основе анализа внешних признаков, характеризующих режим работы.

**Материал и результаты исследований.** Методологически структуры ЭС разработаны достаточно подробно и, в том числе, применительно к вопросам диагностики ЭМ [8, 9]. Например, архитектура ЭС может быть представлена следующим образом: {(экспертная система), (динамическая подсистема)} → динамические свойства → логические отношения → свойства (идентификация состояния) → (динамическая подсистема) → логические отношения → свойства (модули экспертной системы) → (экспертная система)}.

Математическое описание архитектуры экспертной системы имеет вид:

$$ES = \{D(P(t)(x_0(t), x_1(t), x_2(t), z(t), k(t), y(t), d(t))), R(t), (P_i(t)(x_i(t), z_i(t), k_i(t), y_i(t)))\}, \quad (1)$$

где  $ES$  – экспертная система;  $D$  – динамическая подсистема;  $P$  – свойства элементов экспертной системы;  $R$  – логические отношения;  $x$  – воздействия;  $z$  – диагностируемые параметры;  $k$  – коэффициенты;  $y$  – выходные параметры;  $d$  – динамические параметры;  $t$  – время; индексы:  $0, 1, 2$  – исходный стационарный режим, внешний, внутренний характер воздействий;  $i$  – число элементов экспертной системы.

Описанная архитектура экспертной системы реализована в системе определения неисправностей ЭМ по внешним признакам, характеризующим режим работы. Она объединяет два модуля (рис.1). На рис. 1 показаны основные элементы системы и взаимосвязи между ними. Необходимость накопления, хранения и обработки больших объемов информации требует отдельных структур, которые могут являться частью данной системы или быть внешними подключаемыми модулями. Необходимость применения указанных структур значительно расширяет функциональные свойства ЕС.

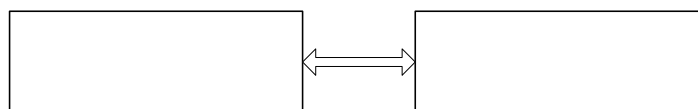


Рис. 1 – Общая структура ЕС с расширенными функциональными свойствами

Каждый из показанных модулей выполняет ряд функций:

- Функции модуля «Диагностика по внешним признакам»: на основе информации о внешних признаках, характеризующих режим работы, определяет неисправность электрической машины, запрашивает дополнительные данные в виде измерений ряда характеристик при невозможности однозначной идентификации неисправности, предлагает рекомендации по ее устранению, получает новые данные о неисправностях и инструкции по их устранению от модуля «Информационная система» и добавляет их в свою базу.
- Функции модуля «Информационная система» (рис. 2): ведет учет всех двигателей предприятия; по каждому двигателю заносит в индивидуальный паспорт историю неисправностей, получает информацию от модуля «Диагностика по внешним признакам» о причине неисправности и ее внешних признаках, отображает статистические данные о качестве изготовления двигателей на заводах-производителях, качестве ремонта ремонтными предприятиями, количестве определенных видов неисправностей по типам производителей, передает в модуль «Диагностика по внешним признакам» информацию о данной неисправности если выявленная неисправность неизвестна.

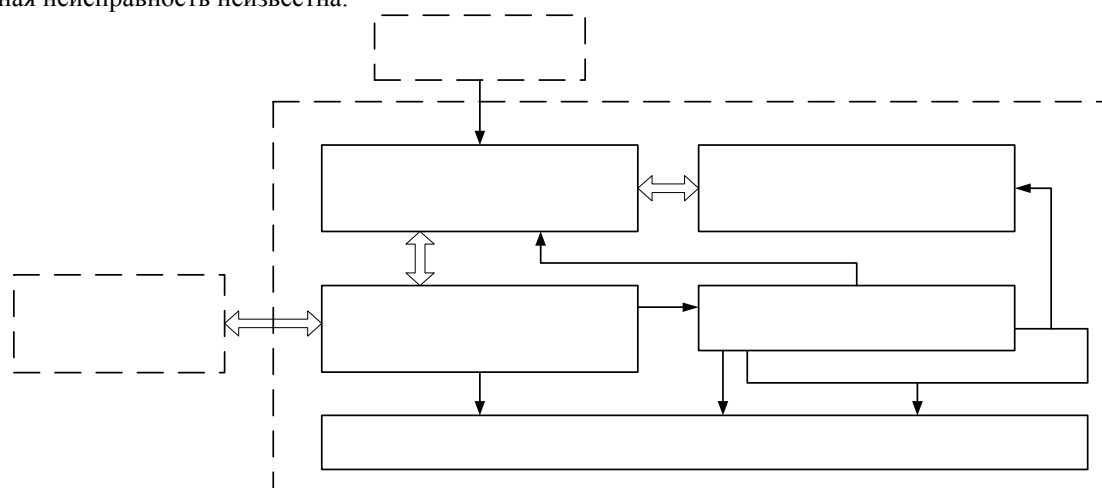


Рисунок 2 – Структура модуля «Информационная система»

На основе выполненного анализа, с учетом предложенной архитектуры, разработано алгоритмическое и программное обеспечение ЭС определения неисправностей ЭМ по внешним признакам. При этом оператор осуществляет выбор диагностируемых электрических машин асинхронных, синхронных двигателей, трансформаторов, машин постоянного тока.

В настоящее время БД неисправностей электрических машин содержит 170 записей. Их них неисправностей асинхронных двигателей – 26, синхронных двигателей – 29, трансформаторов – 25, машин постоянного тока – 49, общих – 41. В процессе диагностирования по информации из ведомостей дефектации или на основании опыта персонала эксплуатирующего оборудование в БД могут быть добавлены неисправности, их признаки и рекомендации по возможному устранению.

В качестве программной платформы для создания интерфейса пользователя, по нашему мнению, удобно использовать среду разработки Delphi.

Преимущества Delphi по сравнению с аналогичными программными продуктами:

- быстрота разработки приложения;
- высокая производительность разработанного приложения;
- низкие требования разработанного приложения к ресурсам компьютера;
- наращиваемость за счет встраивания новых компонент и инструментов в среду Delphi.

Delphi содержит встроенные средства, использующие небольшой объем ресурсов и обеспечивающие высокопроизводительный доступ ко всем популярным системам управления базами данных, включая Microsoft SQL Server, Access, MySQL, SQL Anywhere и другие. Благодаря мощной и надежной инфраструктуре доступа к базам данных, разработчики могут обращаться к данным, а также считывать, изменять и удалять их как из кода, так и из визуальных элементов управления. Кроме того существует возможность поддерживать различные версии настольных систем Windows, не заботясь об особенностях реализации Windows API каждой версии. Delphi предоставляет разработчикам новые возможности для подключения к данным, веб-службам и архитектурам приложений и позволяет подключаться к различным серверам, используя стандартные протоколы, включая COM, XML, SOAP, REST, JSON и веб-службы, для взаимодействия с архитектурой ориентированной на службы (SOA).

Для разработки базы данных принята СУБД Microsoft Access. Безусловно, в настоящее время существует множество других систем, позволяющих работать с БД. Например, SQL, Delphi, FoxPro и другие.

Все они имеют свои достоинства и недостатки. Однако предпочтение Microsoft Access (MSA) определяется рядом показателей:

- предоставляет максимальную свободу в задании типа данных (текст, числовые данные, даты, время, денеж-

- ные значения, рисунки, звук, электронные таблицы);
- предоставляет возможность использования в работе DDE (динамический обмен данными) и OLE (связь и внедрение объектов), что, в свою очередь, делает возможным осуществлять обмен данными между MSA и любым другим, поддерживающим DDE приложением Windows, а также использование OLE для связи с объектами другого приложения или внедрения других объектов в базу данных MSA. Такими объектами могут быть картинки, диаграммы, электронные таблицы или документы из других, поддерживающих OLE, приложений Windows;
  - использование в качестве самостоятельной СУБД как на отдельной рабочей станции, так и в сети – в режиме «клиент-сервер». Это позволяет иметь доступ к данным одновременно нескольким пользователям, с автоматической защитой данных от одновременной их корректировки.
- Рабочая форма ЭС имеет четыре выпадающих списка, позволяющих выбрать элемент и характеристику электромашин, которые имеют отклонения от нормы. Возможные причины неисправностей отображаются в виде списка в правой части окна. При помощи мыши нужно выбрать соответствующий пункт. В результате на экране появится окно, скомпилированное программой WinHelp, содержащее информацию о возможных путях устранения неисправности.

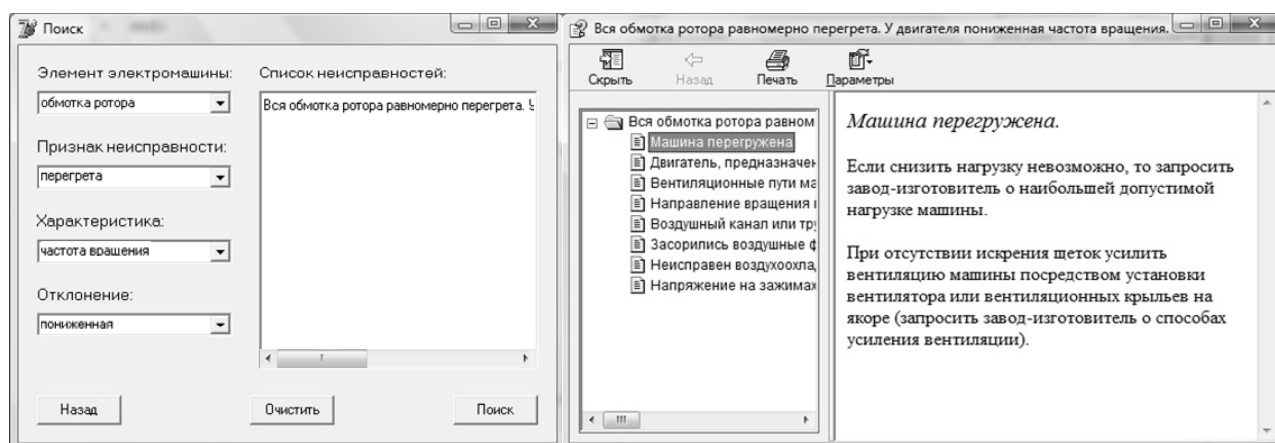


Рис. 3 – Окно поиска записей о причинах неисправности и их устранению

**Выводы.** Предложенная структура экспертной системы, основанная на принципе анализа внешних признаков, характеризующих режим работы ЭМ, способна обеспечить высокую целенаправленность анализа и оперативность принятия экспертных решений по оценке состояния и определению неисправностей электрических машин. Методологически функциональные свойства ЕС могут быть расширены и кроме диагностики по внешним признакам осуществлять хранение и преобразование информации об электрических двигателях предприятия, а также анализ состояния парка электромеханического оборудования: контроль, диагностику и мониторинг.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мандельштам И. Б. Болезни электрических машин / И. Б. Мандельштам. – М.-Л.: Государственное издательство, 1929. – 122 с. – Режим доступа: <http://scilib.narod.ru/Technics/ElectroMash/index.html>
2. Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин / Р. Г. Гемке. Под ред. Р. Б. Уманцева. 9-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1989. – 336 с.
3. Коварский Е. М. Испытание электрических машин / Е. М. Коварский, Ю. И. Янко. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 317 с.
4. Жерве Г. К. Промышленное испытание электрических машин / Г. К. Жерве. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 324 с.
5. Гольдберг О. Д. Автоматизация контроля параметров и диагностика асинхронных двигателей / О. Д. Гольдберг, И. М. Абдуллаев, А. Н. Абиев; [под ред. О. Д. Гольдберга]. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 160 с.
6. Родькин Д. И. Системы динамического нагружения и диагностики электродвигателей при послеремонтных испытаниях / Д. И. Родькин. – М.: Недра, 1992. – 240 с.
7. Мониторинг параметров электрических двигателей электромеханических систем / [А. П. Черный, Д. И. Родькин, А. П. Калинов, О. С. Воробейчик]: Монография. – Кременчуг: ЧП Щербатых А. В., 2008. – 244 с.
8. Черный А. П. Структура системы функциональной диагностики электрических машин электроприводов / А. П. Черный // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: „Електротехніка і енергетика”. – Донецьк: ДонНТУ, 2003. – Вип. 67. – С. 109-112.
9. Дурницкая О. А. Экспертная система определения неисправностей электрических машин / О. А. Дурницкая, В. Ю. Ракитин, А. В. Гладкий. – Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КДУ, 2009. – Вип. 4/2009 (8). – С. 39-42.