

**В.М. Кравченко д-р техн. наук**

*(Украина, Мариуполь, Приазовский государственный технический университет)*

**В.А. Сидоров канд. техн. наук, В.С. Кикалов**

*(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)*

## **ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ**

В настоящее время остро стоит вопрос о контроле технического состояния подшипников качения. Задача оценки технического состояния подшипников имеет исключительно важное практическое значение благодаря возможности определения рациональных сроков ремонта. Внедряемая стратегия ремонтов по техническому состоянию предполагает с помощью средств технической диагностики оценивать текущее техническое состояние подшипников качения и использовать эти данные для прогноза срока отказа. Такой подход значительно увеличивает точность прогноза времени отказа. Это позволяет назначить сроки ремонта наиболее близкие к времени исчерпания ресурса, что позволяет значительно снизить затраты на ремонт и исключить внеплановые простои. В настоящее время существует проблема идентификации причин разрушения подшипников качения, что затрудняет локализацию неполадок машины и ведет к затратам, связанным с повторными ремонтами.

Контроль технического состояния подшипников качения подразумевает наличие высококвалифицированных специалистов в области технической диагностики, способных правильно трактовать данные, полученные в результате измерений, а также наличие определенного уровня культуры труда. Это во многом определяет необходимость автоматизации процесса анализа диагностической информации на основе экспертных знаний.

Экспертная система – это компьютерные программы, использующие знания и технику рассуждений человека. Такая система проектируется и создается для использования широким кругом инженеров, не имеющим необходимого уровня практического опыта и теоретической подготовки. Наличие экспертной системы в роли инструмента помощи, позволит повысить эффективность производства и проводимых ремонтных воздействий.

Переход к экспертным системам позволяет значительно усилить интеллектуальный потенциал человека и помогает делать необходимые заключения при наличии неформализуемых параметров и ограничений, характерных для мышления человека. Экспертные системы решают реальные проблемы, которые обычно встают перед специалистом – экспертом. Экспертная система должна содержать такие подсистемы, как база знаний и подсистема логического вывода. Знания – это набор конкретных фактов, связанных в единую структуру. Базой знаний называется совокупность фактов, охватывающих информацию относительно конкретной предметной области. Поэтому для формирования экспертной системы нужно сначала получить необходимые знания от специалиста.

Извлечение этого знания из эксперта в таком виде, в котором оно может использоваться компьютером – трудная задача. Это происходит частично потому, что эксперту трудно выразить точно, какое знание и правила, он использует для решения проблемы. Многие выполняются почти подсознательно или кажутся настолько очевидным, что он даже не упоминает об этом. При проектировании важно разработать первоначальный прототип, основанный на информации, извлеченной благодаря интервью с экспертом, а затем последовательно совершенствовать прототип, основываясь на обратной связи, как с экспертом, так и с конечными пользователями экспертной системы.

Экспертная система должна иметь две подсистемы – набор знаний и механизм логического вывода. Механизм логического вывода применяется, чтобы вывести рассуждения на основе опытных знаний (извлеченных из эксперта) и данных, уникальных и специфических для решаемой проблемы. Опытное знание обычно представляется в виде набора правил. Специфические данные включают в себя как данные, полученные от пользователя, так и данные, полученные благодаря частичным заключениям, основанном на этих данных.

В процессе создания экспертной системы важную роль играет не только предметная область исследуемой проблемы, но и мышление разработчика. Далее приведены и описаны этапы разработки, при формировании экспертной системы распознавания повреждений подшипников качения.

Любая программа начинается с постановки задачи. На первом этапе формирования электронной версии экспертной системы, точно определяется необходимость функционирования такой системы и ее актуальность.

Вторым этапом создания экспертной системы является формирование исходных данных и представление их в удобном для формальной обработки виде. Рассмотрены множество вариантов построение логической структуры программы. Например, хранение и обработка информации на низком уровне в виде двоичного доступа к файлам. Однако этот способ несет за собой значительное увеличение трудозатрат на написание простых участков кода. В то же самое время такой подход позволяет несколько увеличить быстродействие экспертной системы, что в условиях бурного развития вычислительных мощностей является весьма скромным достижением. Следовательно, для обработки большого объема информации необходимо обращаться к сущности – базе данных. Следующим этапом создания экспертной системы стало формирование ядра программы – базы данных. База данных – это формальное представление базы знаний.

База данных экспертной системы состоит из 6 таблиц.

Definition – таблица связей между двумя ветвями системы.

Kriterii – критерии связи между двумя ветвями системы.

Polomki – список поломок, проявляющихся в процессе эксплуатации машины.

Razrusheniya – характер разрушения подшипников

Resheniya – рекомендации к ликвидации поломок, во время работы машины.

Vidirazrusheniya – группы разрушений.

Следующим этапом построения электронной экспертной системы является построение удобной оболочки взаимодействия с пользователем. Основная нагрузка приложения в любом случае ложится на интерфейс – оболочку общения с пользователем. На рисунке 1 изображено главное окно экспертной системы, которое состоит из трех вкладок: «Разрушение подшипника», «Работа подшипника», «Пример диагностики подшипника».

Рассмотрим каждую из них. Вкладка «Разрушение подшипника» состоит из списка повреждений, представленного в виде древовидной структуры, области описания повреждений, области рекомендаций, а также изображения выбранного повреждения и области поиска. Для активации системы поиска экспертной системы необходимо в поле указать критерий. Алгоритм экспертной системы разработан таким образом, что бы распознавать как четкие критерии так и не четкие критерии поиска. Например: набрав «Усталостное выкрашивание материала» в области результатов поиска будет подсвечена строка, соответствующая повреждению, изображенному на рисунке 1. Набрав «выкрашивание» в области результатов поиска будет выведен список всех повреждений подхо-

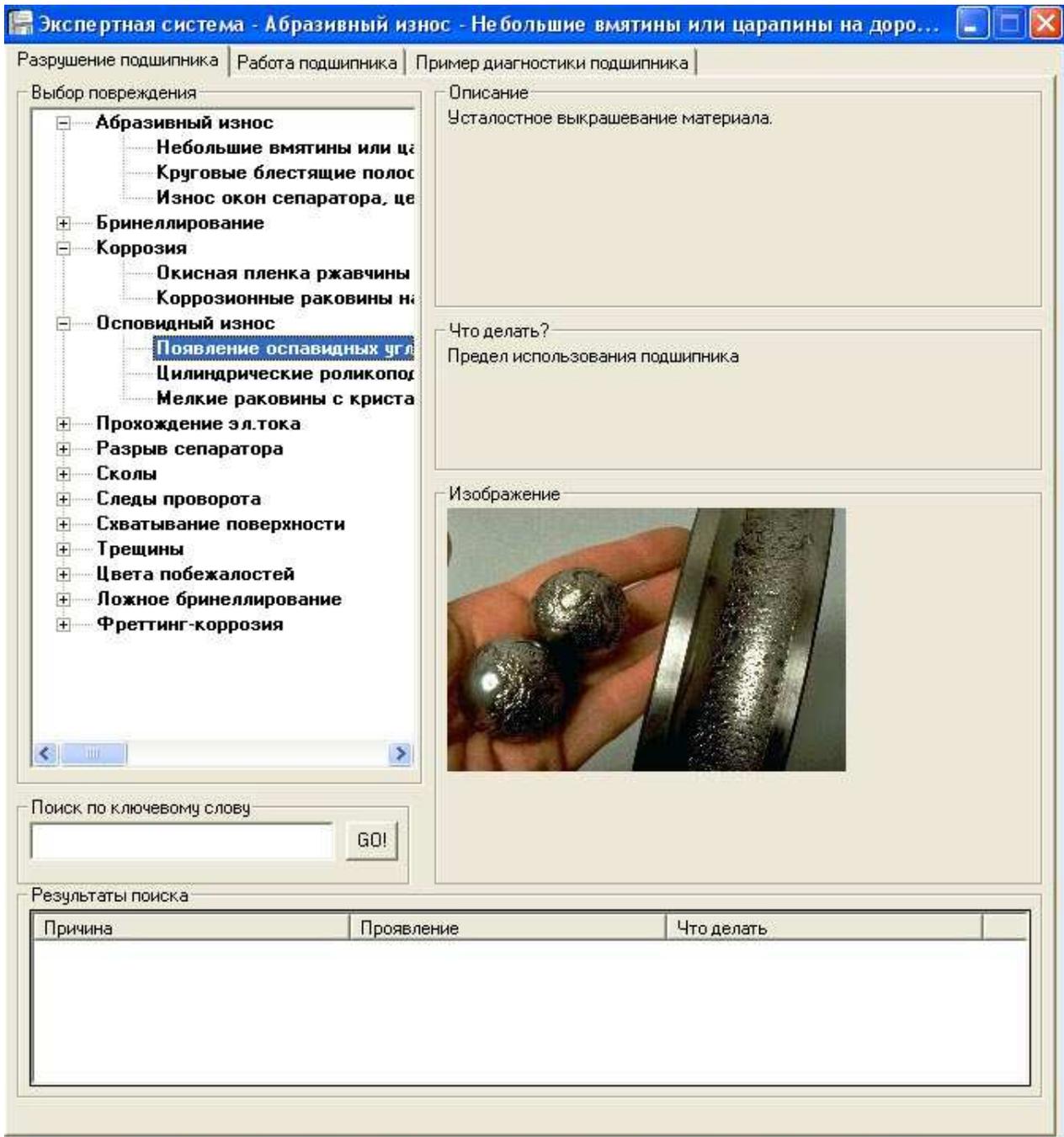


Рис. 1. Экспертная система, модуль по распознаванию разрушений подшипников.

дующих под этот критерий.

Вкладка системы «Работа подшипника» приведена на рисунке 2.

Данный раздел экспертной системы отвечает за распознавание неполадок подшипников, находящихся в работе. Алгоритм распознавания повреждений основан на оценке симптомов поведения подшипника и в соответствии с их конфигурацией происходит анализ возможных повреждений. В области «Диагноз» находится список, где указывается возможные повреждения, соответствующие заданной конфигурации симптомов. Чтобы получить список возможных повреждений необходимо отметить симптомы и нажать на кнопку «Запрос». Результатом будет список повреждений. Выбрав, одно из повреждений,

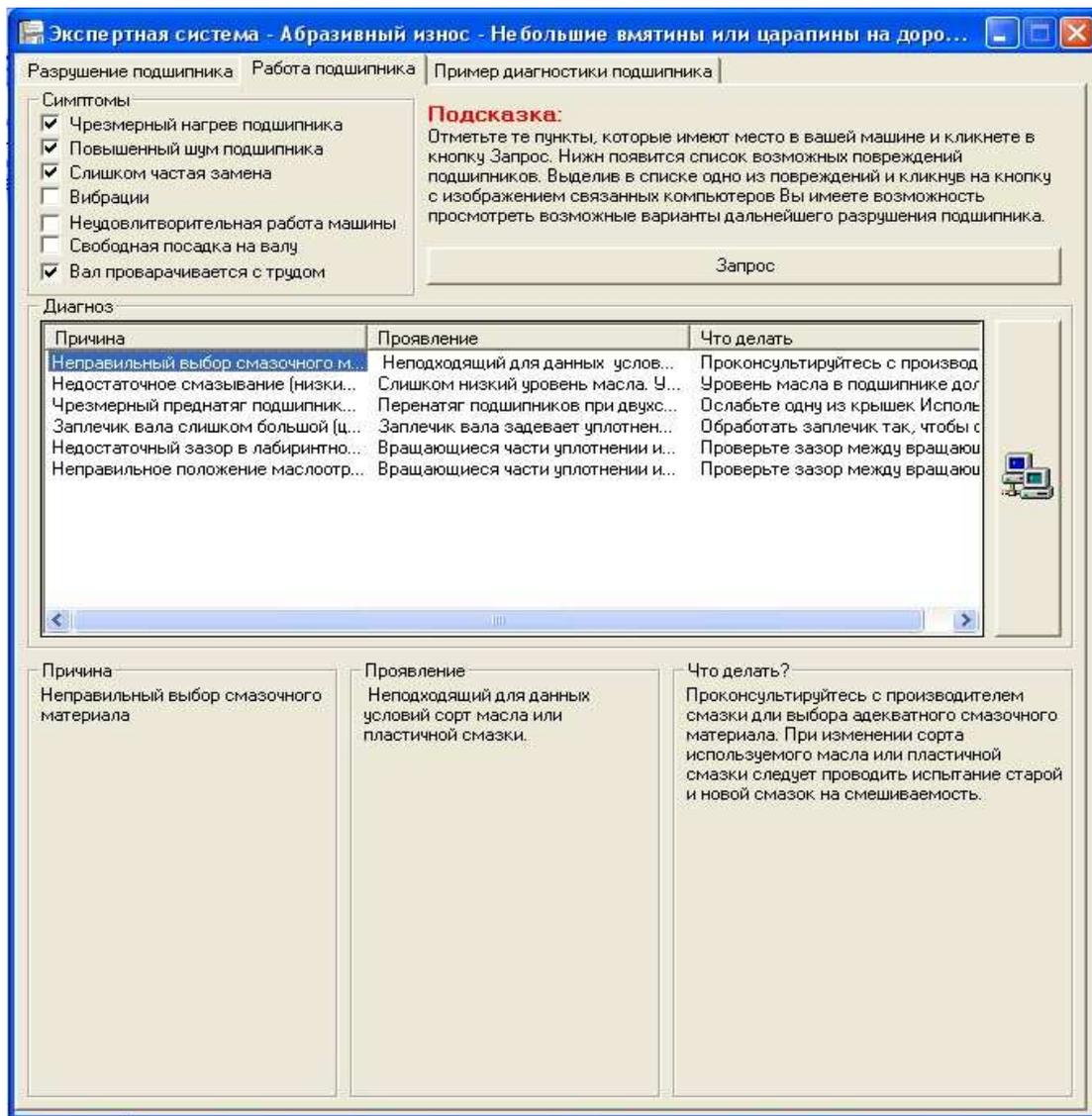


Рис.2. Экспертная система, модуль по распознаванию неполадок в работе подшипника.

можно, нажав на кнопку с изображением связи, перейти к вкладке «Разрушение подшипника» где будут показаны возможные дальнейшие разрушения подшипника. Алгоритм перехода основан на логической связи повреждений подшипника, через заданный критерий, с видом дальнейшего разрушения.

Вкладка «Пример диагностики подшипника» изображена на рисунке 3.

Этот модуль экспертной системы, приведен, для того чтобы на примере показать процесс диагностирования подшипника качения при помощи электронной системы распознавания повреждений, и облегчить процесс обучения рабочего персонала пользованию экспертной системой.

В работе рассмотрены вопросы проектирования автоматизированной системы определения причин повреждений подшипников качения на основе экспертных знаний. Исследована предметная область и проблемы распознавания повреждений, рассмотрены общие вопросы диагностирования подшипниковых узлов, рассмотрены основные этапы разработки экспертной системы оценки технического состояния подшипников.

Экспертная система - Абразивный износ - Небольшие вмятины или царапины на дорожках качения

Разрушение подшипника | Работа подшипника | **Пример диагностики подшипника**

Пример диагностики подшипника

Пример решения задачи по распознаванию повреждений подшипников.



Рисунок 1 - Следы ложного бринеллирования на внутреннем кольце и телах качения



Рисунок 2 - Следы неравномерного износа наружного кольца подшипника

Осмотр поврежденного подшипника вентилятора позволил определить следующие признаки износа деталей подшипника. Внутреннее кольцо и тела качения подшипника имеют следы ложного бринеллирования. Об этом свидетельствуют вмятины на дорожках качения регулярного характера, с шагом равным расстоянию между телами качения, а также продольные полосы на телах качения. Причина - воздействие вибрации на не вращающийся подшипник, что приводит к оттоку смазки от мест контакта тел качения с беговой дорожкой (очевидно при транспортировании механизма). На внутреннем кольце просматриваются следы ослабления посадки внутреннего кольца подшипника на вал в виде светло-коричневых пятен фреттинг-коррозии (рисунок 1). Внешнее кольцо имеет зазвученную область износа в одной из частей подшипника, по одной из беговых дорожек. Отмечены следы небольшого осповидного выкрашивания. Вторая половина наружного кольца не имеет следов значительного износа (рисунок 2). Причина такого вида повреждения - воздействие постоянной местной нагрузки одновременно с осевой силой либо деформация корпуса подшипника. Состояние подшипника - удовлетворительное. Повреждения на беговых дорожках и телах качения вызвали повышенный уровень шума. Неравномерное распределение нагрузки по наружному кольцу явились причиной повышения температуры подшипника и его замены. В данном случае возможна промывка подшипника и полная замена смазки.

Рис. 3. Экспертная система, пример распознавания причины выхода подшипника из эксплуатации.