

УДК 004.8:629.3

С. А. Рынкевич, канд. техн. наук, доц.**НОВЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ**

Представлены основные проблемы автоматизации, возникающие при управлении и анализе технического состояния механизмов мобильных машин. Отмечены недостатки традиционных методов диагностирования. Рассмотрены новые методы диагностирования сложных технических объектов, основанные на применении теории искусственного интеллекта, нечеткой логики и нейронных сетей. Эти методы адаптированы к задачам диагностирования гидромеханических передач мобильных машин и нашли применение на предприятиях автомобилестроения Республики Беларусь.

Введение

В процессе управления мобильными машинами (ММ) непрерывно решаются задачи определения технического состояния их механизмов, т. е. задачи диагностирования, контроля, прогнозирования. С появлением средств бортовой микроэлектроники, обладающих колоссальными возможностями, вопросы обеспечения автоматизации процессов диагностирования приобретают особую актуальность. И здесь первоочередной задачей является совершенствование соответствующего научного направления и его теоретического аппарата [1, 2].

Наука под названием «техническая диагностика» направлена на исследование текущего состояния объектов диагностирования и форм его проявления во времени, на разработку методов его определения и принципов построения систем диагностирования. Поэтому диагностирование должно учитывать различие в формах проявления технического состояния объектов, целесообразность использования тех или иных методов определения работоспособности и поиска неисправности и особенности технической реализации средств диагностирования.

Так как в состав объектов диагностирования (ОД) входят системы автоматического управления (САУ) механизма ММ, то задачи технического диагностирования имеют непосредственную связь с задачами теории управления и с методами, используемыми для их описа-

ния и анализа, что и определяет специфику исследований САУ как объекта технического диагностирования.

Принятые принципы представления математических моделей не противоречат методам получения рациональных программ определения работоспособности и поиска дефекта, широко представленным в различных публикациях. В основе этих методов лежит представление оператора перехода в виде таблицы состояний, характеризуемых символами 0 и 1. Определение условий работоспособности САУ и выбор параметров, изменение которых приводит к отказу САУ, традиционно осуществляются несколькими методами: графоаналитическим, с помощью ЭВМ, комбинированным.

В зависимости от необходимой точности анализа, способа контроля и применяемых средств вычисления при исследовании ОД используют метод корневых траекторий, методы частотного анализа, метод, основанный на использовании квадратурных формул приближения, метод чувствительности.

Частотные методы анализа моделей базируются на положениях теории автоматического управления (ТАУ) и предполагают использование частотных характеристик для определения предельных значений (границ устойчивости) работоспособности САУ, а также определение весовых соотношений контролируемых параметров. При исполь-

зовании метода чувствительности численное исследование параметрической модели ОД во всем диапазоне возможных значений его параметров заменяется анализом функций чувствительности, являющихся решением специальных уравнений в частных производных. Определение относительных весов контролируемых параметров, показывающих глубину поиска дефекта, а при алгоритмизации поиска дефектов – рациональную его последовательность для простейших одноконтурных и одномерных САУ, не требует особых методических приемов и выполняется в соответствии с принятыми в теории и практике анализа автоматических систем методами.

Основные трудности при диагностировании сложных объектов

Исследованием проблем диагностирования механизмов ММ, разработкой теоретических вопросов технического диагностирования занимались многие ученые. Однако методы, используемые большинством авторов, имеют ряд ограничений, так как предназначены для решения частных вопросов и не позволяют учитывать многообразие параметров, условий и ситуаций, которые имеют место при эксплуатации ММ. Неопределенность и нечеткость условий функционирования объектов автоматизации вносят огромные трудности в процесс обработки и анализа огромной информации и не позволяют осуществлять управление этими объектами, контроль их механизмов, защиту и другие функции по однозначным характеристикам, получаемым традиционно известными методами. Поскольку при автоматизации нужно учитывать такое огромное количество факторов, то полностью решить проблему детерминированными методами ТАУ невозможно. Во-первых, весьма затруднено диагностирование объекта в режиме реального времени. Во-вторых, и это главное, надо отметить сложность самой проблемы технического диагностирования, поскольку на сего-

дняшний день создать некий эффективный универсальный метод, учитывающий отмеченное многообразие всевозможных обстоятельств, просто невозможно.

Опубликованные работы по диагностированию мобильных машин носят узколокальный характер. Они посвящены использованию методов оценки технического состояния отдельных механизмов преимущественно стационарными или переносными техническими средствами. При этом отсутствует системный теоретический подход к проблеме диагностирования мобильных машин, не разработаны методологические вопросы технического диагностирования на основе современных средств и новых технологий. Кроме того, большинство работ посвящены косвенным методам исследования. Применение прямых методов в инженерной практике при решении задач диагностирования сдерживается сложностью математического описания и анализа внутренних динамических процессов в объекте, что ставит проблему дальнейшего развития и совершенствования методов технического диагностирования. Совершенно очевидно, что для решения отмеченных проблем необходимы новые подходы, пути и методы, отличные от классических. Эти пути и методы должны быть, во-первых, концептуально обоснованы, во-вторых, должны основываться на фундаментальных теоретических разработках и соответствующем математическом аппарате.

Современный этап развития техники характеризуется широким внедрением в системы управления микроэлектроники, позволяющей обеспечить комплексную автоматизацию машин и технических комплексов. Автоматические устройства в этом случае способны выполнять одновременно множество функций. Анализ состояния проблемы автоматизации ММ показывает, что классическая теория автоматического управления не дает возможности учета всего

разнообразия условий функционирования объекта, а эффективность автоматизации управления и диагностирования на ее научных принципах оказывается гораздо ниже ожидаемой.

Характерной особенностью диагностируемых объектов является неопределенность происходящих при их эксплуатации процессов, непредсказуемое поведение диагностических параметров, множество ситуаций и режимов, неполнота и ограниченность информации.

В этой связи возникает важная задача: собрать побольше диагностической информации и затем быстро и качественно ее обработать. С появлением современных средств сбора и представления информации, а также благодаря колоссальным возможностям бортовой микроэлектроники появились хорошие предпосылки для осуществления диагностирования на качественно новом уровне.

Современные методы диагностирования тесно «работают» с такой формой информации, как *научное знание*, поскольку она дает реальные предпосылки и является *основой* для постановки правильного и точного технического диагноза.

Существует два основных метода приобретения научных знаний: *теоретический и экспериментальный*. Они широко используются в диагностировании.

Теоретический метод основан на проведении комплекса аналитических процедур, теоретических экспериментах на имитационных моделях, использовании математического аппарата, анализе теоретических данных и т. д.

В экспериментальном методе знания для установки технического диагноза представляют испытания объекта (полунатурные, стендовые, эксплуатационные, ходовые). Естественно, далее эти сведения, полученные в виде осциллограмм, графиков, таблиц, фотографий и т. д., обрабатываются на основе математического аппарата или с помощью визуальных оценок и сравнительного анализа.

Теоретический и экспериментальный методы в равной мере используются в ме-

тодах диагностирования. Эти методы разделяются на два больших класса, которые рассмотрены ниже.

Традиционные методы диагностирования и их ограничения

Традиционные методы подробно описаны в [2].

Несмотря на большое разнообразие и широкие возможности традиционно используемых методов диагностирования, им присущ ряд недостатков. Основные недостатки и ограничения этих методов следующие:

- сложность при оценке технического состояния по измеренным параметрам;
- значительная трудоемкость проводимых в процессе диагностирования работ;
- несовершенство методов и средств диагностирования;
- ограниченные функциональные возможности традиционных средств диагностирования;
- низкая оперативность традиционных методов диагностирования;
- невысокая точность при постановке технического диагноза;
- низкая достоверность диагностирования [2].

Новые методы диагностирования

С использованием ТИИ автором впервые разработаны новые методы диагностирования, отличающиеся большим быстродействием и высокой точностью постановки диагноза.

Метод диагностирования, основанный на нечеткой логике. Эксплуатация объектов и механизмов ММ происходит в среде нечеткости, ограниченности, размытости, неполноте информации об изменении параметров. Значит, для решения задач диагностирования нужно использовать соответствующий математический аппарат. Этим аппаратом является раздел ТИИ, именуемый *нечеткой логикой* [1].

Автором разработан уникальный метод диагностирования, основанный на нечеткой логике. Он сводится к следующему.

Для получения информации, необходимой для формирования продукционных правил нечеткой логики, строят функциональные зависимости одних диагностических параметров от других вида

$$d_k = f(d_l); \quad k, l = \overline{1, m}; \quad k \neq l, \quad (1)$$

где d_k, d_l – диагностические параметры; m – их количество.

Эти зависимости позволяют выявить влияние одних диагностических параметров на другие.

Ряд подобных зависимостей получен автором в [3]. Данные графики наиболее эффективны с точки зрения экспертной базы знаний. Например, графики на рис. 1 показывают, что с увеличением давления жидкости (p_{y2} и p_{y4}) утечки в гидроцилиндрах Q_1^* и Q_2^* возрастают примерно по экспоненциальному закону. Такие графики средствами нечеткой логики воспроизводятся (путем составления функций принадлежности и продукционных правил) довольно легко.

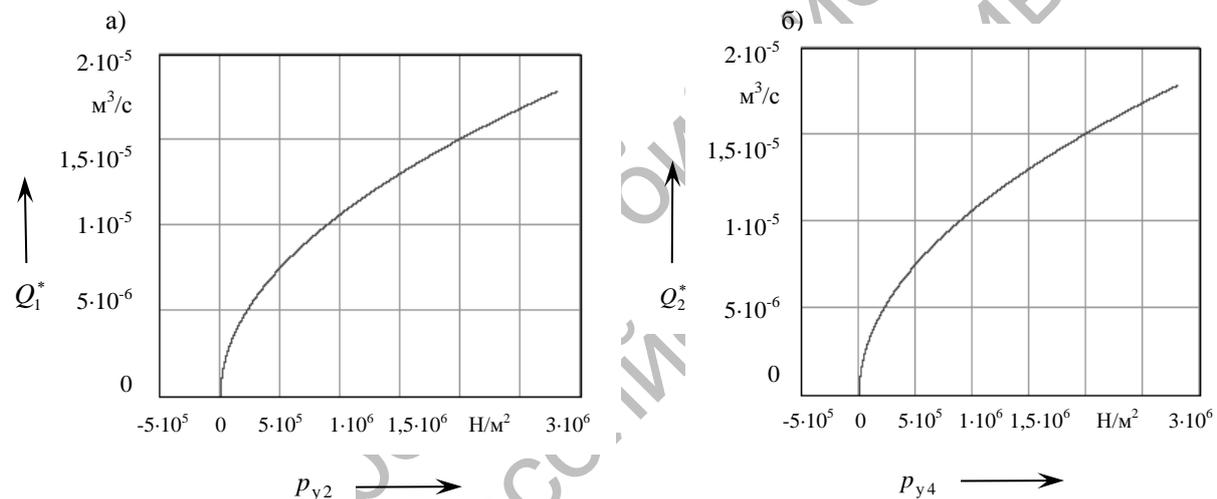


Рис. 1. Функциональные зависимости между диагностическими параметрами

С целью оценки влияния диагностических параметров на характеристики механизмов и элементов объекта диагностирования получают зависимости вида

$$y_j = f(d_k); \quad j = \overline{1, n}; \quad k = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где y_j – характеристики объекта; n – количество характеристик.

Далее строится экспертная система, предназначенная для определения характера и степени неисправностей гидропривода ГМП [3].

Этапы проведения технической

идентификации ГМП, включающие комплекс научно-технических и исследовательских работ на стендах и лабораториях автомобильных заводов, показаны на рис. 2.

Метод диагностирования, основанный на нейронечеткой идентификации. Сущность метода в следующем. Анализ причин возникновения переходных режимов работы механизмов АТС основан на оценке соотношений между изменениями параметров векторов входа \vec{X} и выхода \vec{Y} некоторой системы.



Рис. 2. Этапы идентификации технического состояния ГМП: а, б – оснащение датчиками и измерительной аппаратурой ГМП; в, г – проведение экспериментальных исследований на заводских стендах и получение характеристик; д, ж – подключение экспертной интеллектуальной системы к ГМП и получение технического диагноза экспертом на мониторе (е)

Нейронечеткая сеть идентифицирует конкретные неисправности объекта при условии, что она была предварительно обучена распознавать тот или иной отказ либо неисправность. Для обучения используются классические математические принципы обучения нейронных или нейронечетких сетей. Метод содержит несколько этапов.

Этап 1. Сбор экспертной информации по отказам и неисправностям и формирование базы знаний. На данном этапе на основе экспериментальных данных, заключений экспертов и посредством других достоверных источников информации формируется база знаний. Она представляет собой совокупность обучающих выборок, характеризующих признаки и проявления неисправностей; эти выборки в дальнейшем подаются на вход нейронечеткой сети.

Итак, ставится задача определения технического состояния элементов гидромеханической передачи (ГМП) грузового автомобиля, который эксплуатируется в условиях автомобильного хозяйства. Исходная информация о функционировании ГМП, поведении ее параметров, возможных неисправностях и причинах их возникновения формируется в виде экспертной базы знаний на основе достоверных данных, полученных от различных источников. В качестве дополнительных источников формирования базы знаний могут служить результаты экспериментальных

исследований в стендовых условиях и в процессе ходовых испытаний, а также статистические данные по отказам, полученные из автохозяйств, где эксплуатируются данные машины.

Сформированная база знаний используется при обучении нейронечетких сетей для распознавания неисправностей. Количество продукционных правил подобной базы знаний составляет несколько десятков для описания технического состояния отдельного механизма или несколько сотен для машины в целом.

Этап 2. Создание нейронечеткой модели. Нейронечеткая модель образуется на математической основе теории нейронных сетей и средств нечеткой логики (рис. 3). Входами сети служат информационные переменные \tilde{X} (диагностические параметры), описанные функциями принадлежности \tilde{a}_{ij} , $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$ (N – число информационных переменных, M – лингвистических переменных по каждому параметру). В качестве выхода сети – вектора \tilde{Y}_i – выступают различные критерии, определяющие показатели эффективности, качества и безопасности функционирования механизмов гидромеханической передачи автомобиля (КПД, вибрации, пульсации давления, утечки и т. д.).

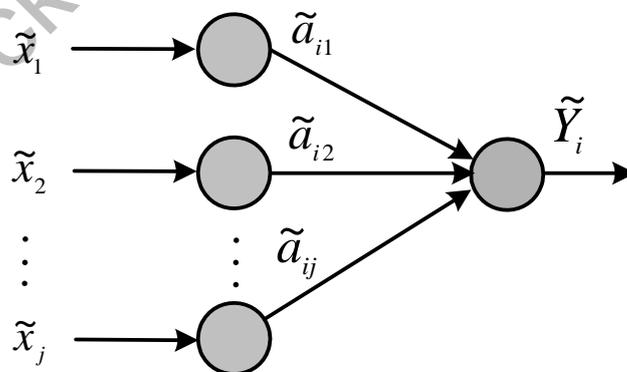


Рис. 3. Нейронечеткая сеть

Для преобразования четких сигналов в нечеткий вид диагностические параметры фаззифицируются. Каждый из диагностических параметров \tilde{a}_{ij} описывается несколькими (тремя–пятью) термами лингвистической переменной. Как правило, для этих целей используются треугольные или гауссовские функции принадлежности [2].

Для нейронечеткого моделирования используют специализированное программное обеспечение (например, программу Fuzzy Logic Toolbox программного обеспечения MATLAB 7.0). Аппроксимирующая модель включает в себя программу с расширением *.fis, основанную на представлении входных параметров базы нечетких правил нечеткими переменными, и программы формирования тестирующих и обучающих данных *.m на основании реальных процессов функ-

ционирования ГМП. При использовании модели в режиме реального времени исходные данные об изменении параметров ГМП поступают от регистратора – микропроцессора или бортового компьютера.

Структура адаптивной нейронечеткой сети ANFIS, аппроксимирующей выход диагностической системы, показана на рис. 4. При этом число входов сети равно количеству используемых диагностических параметров.

Этап 3. Обучение нейронечеткой сети. При обучении сети на ее вход подаются совокупность пар обучающих выборок, характеризующих сочетание диагностических параметров для разных видов технического состояния механизмов ГМП. Значение, получаемое на выходе сети, соответствующим образом интерпретируется.

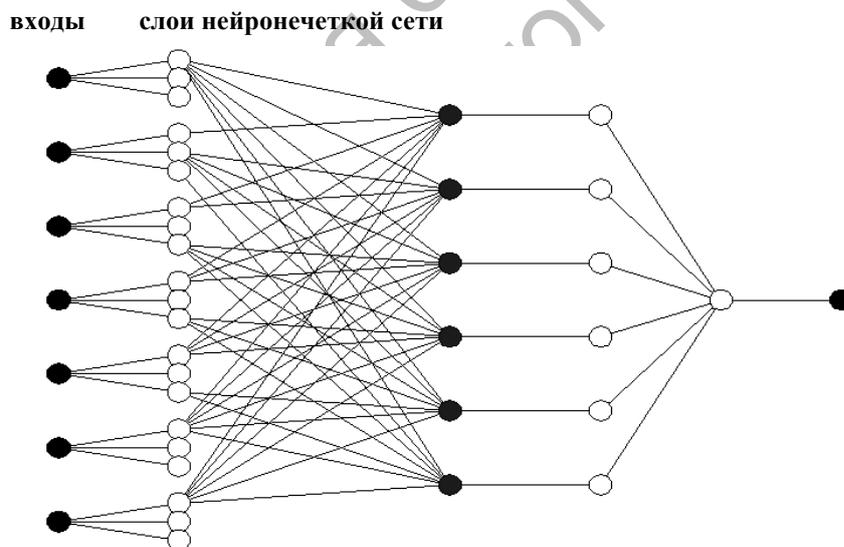


Рис. 4. Адаптивная нейронечеткая сеть ANFIS

Время обучения модели, приведенной на рис. 4, с использованием компьютера Athlon 1133 с операционной системой Windows XP Professional и установленной вычислительной системой MATLAB 7.0 составляет всего 10 с. Результат обучения сети был достигнут в

течение 10 эпох (итераций).

Этап 4. Нейронечеткая идентификация и вывод заключения. Этот этап является заключительным в процессе определения технического состояния элементов ГМП.

При этом для получения техниче-

ского диагноза используют обученную нейронечеткую сеть, а на вход сети поставляется информация о параметрах, характеризующих реальные процессы в ГМП. Для удобства пользователя диагностической системы числовая информация, получаемая на выходе сети, подвергается дополнительной интерпретации и выдается, к примеру, в вербальном виде (лингвистической форме).

При этом используются специальные окна интерпретатора, в котором информация экспертной системы о техническом состоянии механизмов ГМП для выбранного режима функционирования выводится в визуально-вербальном виде [2, 4]. В окне просмотра экспертной системы просматривают графическую информацию о поведении параметров на режиме управления или режиме диагностирования. В специальных строках выводятся разные сообщения: виды и наименования диагностических параметров, их текущие значения, предупреждения о возникновении нештатных ситуаций либо достижения параметров критических значений и др.

Элементы интерфейса экспертной системы могут быть достаточно легко изменены в соответствии с пожеланиями пользователя. Экспертная система для диагностирования ГМП, реализующая созданный метод, сопровождается программным обеспечением, разработанным на современных языках программирования с привлечением средств визуальной разработки приложений [4].

Предложенный метод обеспечивает получение расширенной достоверной базы знаний, быстроту обработки информации, точность получаемого технического диагноза и возможность оперативного определения технического состояния механизмов АТС в режиме реального времени.

Преимущества предложенного метода заключаются в следующем:

- возможность использования расширенной достоверной базы знаний;
- высокая скорость обработки информации;
- большая точность технического

диагноза;

- возможность оперативного диагностирования в режиме реального времени;

- удобство нормативного диагностирования на специализированных постах, станциях техобслуживания, в условиях автохозяйств, на горно-обогатительных предприятиях (ГОП), карьерах и т. д.

Практическая реализация новых методов диагностирования. Разработанные автором новые методы диагностирования апробированы и реализованы при выполнении государственных программ, госбюджетных и хоздоговорных работ с предприятиями автомобилестроения Республики Беларусь [5].

Выводы

Методы интеллектуального диагностирования намного эффективнее традиционных классических методов. Рассмотренные новые методы диагностирования сложных технических объектов, основанные на применении теории искусственного интеллекта, нечеткой логики и нейронных сетей, адаптированы к задачам диагностирования гидромеханических передач мобильных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тарасик, В. П.** Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Минск : Технопринт, 2004. – 512 с. : ил.
2. **Тарасик, В. П.** Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 280 с. : ил.
3. **Рынкевич, С. А.** Метод диагностирования гидроприводов, основанный на нечеткой логике / С. А. Рынкевич // Автомобильная промышленность. – 2007. – № 6. – С. 32–35.
4. **Рынкевич, С. А.** Метод нейронечеткой идентификации неисправностей гидромеханических передач автомобилей / С. А. Рынкевич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 3. – С. 15–22.

5. **Рынкевич, С. А.** Создание электронных систем управления и диагностирования для мобильных машин / С. А. Рынкевич // Сб. тр. науч.-

метод. конф., посвященной 45-летию Белорус.-Рос. ун-та. – Могилев, 2007. – С. 3–7.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 14.10.2008

S. A. Rynkevich
New methods of diagnosis of
hydromechanical transmissions

The main problems of automation while control and analysis of technical state of mobile machine mechanisms have been settled in the article. Drawbacks of traditional diagnosis methods are shown in the paper. New diagnosis methods of compound technical objects based on the use of artificial intelligence theory, fuzzy logic and neuron networks have been considered. The given methods are adapted to the tasks of diagnosis of hydromechanical transmissions of mobile machines and are used at motor industry enterprises in the Republic of Belarus.