

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ БУКСОВЫХ УЗЛОВ

Статья посвящена нечеткой экспертной системе для диагностики буксовых узлов. Застосування методології нечітких систем при побудові нечіткої експертної системи для діагностування несправностей буксових вузлів дозволило підвищити адекватність моделі діагностики букс за рахунок використання досвідних та інтуїтивних знань експертів. Нечітка експертна система здатна моделювати хід міркувань експерта і пояснювати свої дії, а також знімати психологічний бар'єр непорозуміння при взаємодії кінцевого користувача із системою.

Статья посвящена нечеткой экспертной системе для диагностики буксовых узлов. Применение методологии нечетких систем к построению нечеткой экспертной системы для диагностирования неисправностей буксовых узлов позволило повысить адекватность модели диагностики букс за счет использования опытных и интуитивных знаний экспертов. Нечеткая экспертная система способна моделировать ход рассуждений эксперта и объяснять свои действия, а также снимать психологический барьер непонимания при взаимодействии конечного пользователя с системой.

The article is devoted to indistinct expert system for diagnostics of axle-box assemblies. The application of fuzzy systems methodology to the construction of fuzzy expert system for diagnostics of faults of axle boxes has allowed increasing adequacy of the diagnostics model of axle-boxes owing to the use of experience and intuitive knowledge of experts. The fuzzy expert system is able to simulate a course of reasoning of the expert and to explain its actions; also it removes a psychological barrier of misunderstanding in a process of interaction between the user and the system.

Безопасность движения поездов стала особенно актуальной с ростом железнодорожных перевозок. С увеличением интенсивности и скорости движения, длины и веса поездов ужесточены требования к техническому состоянию вагонов и локомотивов. Одним из ответственных узлов подвижного состава являются буксы. В данное время в мировой практике для определения неисправных буксовых узлов (БУ) подвижного состава используются тепловые и акустические детекторы.

Как известно, существуют множество моделей диагностики, однако использование их в реальных условиях зачастую бывает трудно. При этом приходится сталкиваться с неопределенностью целей, возникающих при стремлении выполнять одновременно недостижимые задания, приводящие к необходимости увеличения числа контролируемых параметров и требованием оперативности диагностики. Кроме того, в результате воздействия возмущающих факторов, а также неполноты и неточности исходной информации оказываются нечетко определенными основные информационные параметры (уровень шума, температура подшипников, температура корпуса) БУ подвижного состава. В связи с этим, специалисты технического контроля и ремонтных служб на практике склонны использовать свои собствен-

ные знания – правила решения, основанные на их опыте и интуиции [1]. Такие эвристические правила, хотя и не гарантируют математической оптимальности, но оказываются адекватными реальным условиям производства и реализуемыми на практике.

В этом направлении предложен системный подход к решению задач диагностики неисправностей БУ, базирующийся на концепции нечетких множеств Л. Заде, позволяющий учитывать такие трудно формализуемые факторы, как опыт и интуиция высококвалифицированного специалиста – эксперта.

1. Архитектура нечеткой диагностической экспертной системы БУ

Нечеткая экспертная система (НЭС) для диагностики БУ реализуется на основе системы fuzzy ЭСПЛАН, созданной специалистами кафедры «Эксплуатация железнодорожного транспорта» Азербайджанского Технического Университета, использующей аппарат теории нечетких множеств, позволяющей получить оперативные заключения о техническом диагностировании неисправностей БУ путем отказа от традиционных требований к точности описания его функционирования [2].

Архитектура нечеткой диагностической экспертной системы БУ состоит из блоков (рис. 1): П – пользователь; БВ и ОНД – блок ввода и обработки начальных данных; БД – база данных; БЗ – база знаний; БВ и ИЗ – блок ввода и интерпретации знаний; РБ – расчетный блок; ОТС и БЛВ – оценка технического состояния и блок нечеткого логического вывода; БО и ВР – блок объяснения и выдача рекомендации.

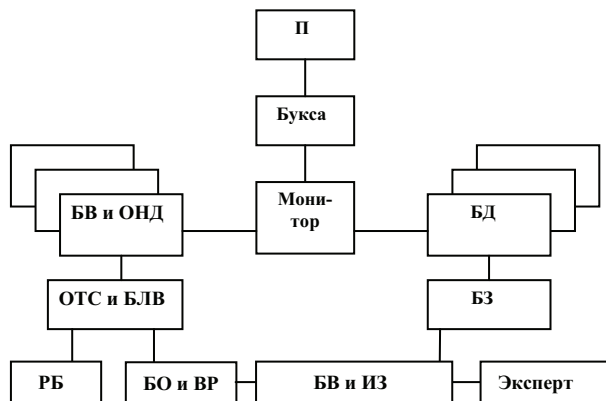


Рис. 1. Архитектура нечеткой диагностической экспертной системы БУ

2. Форма представления знаний в системе

Для ввода знаний в базу знаний (БЗ) диагностической НЭС используется язык представления знаний, учитывающий специфические особенности БУ [3]. При разработке БЗ учтено:

- БУ описывается совокупностью неисправностей и признаков неисправностей (ПН);

- ПН БУ поименованные элементы, существенные для БУ (уровень шума, температура подшипников, температура корпуса, неравномерное распределение температуры по корпусу и т. п.);

- ПН могут принимать значения, отражающие фиксированные состояния БУ, например: объект УРОВЕНЬ_ШУМА – значение 50 дБ, объект ТЕМПЕРАТУРА_ПОДШИПНИКА – значение 60 °С. Значения могут также задаваться в виде лингвистических термов: МАЛО, НОРМА, ПРЕДЕЛЬНАЯ, БОЛЬШЕ_ПРЕДЕЛЬНОГО, ДОПУСТИМАЯ и т. п.

- Значения лингвистических переменных могут быть вычислительными, например:

$$ОСДБ = ((ТЗС - ДЗС) / ДЗС) 100,$$

где ОСДБ – отклонение действующих сил на буксу; ТЗС – текущее значение сил, действующи

щих на буксу; ДЗС – допустимое значение сил, действующих на буксу;

- Значения лингвистических переменных могут быть и продукционными:

```
ЕСЛИ УРОВЕНЬ_ШУМА=МАЛО
И ТЕМПЕРАТУРА_ПОДШИПНИКОВ=МАЛО
И ТЕМПЕРАТУРА_КОРПУСА=МАЛО
ТО РАБОТА БУКСЫ НОРМАЛЬНО
```

Формальная модель знаний в системе представляется следующим образом. Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множество признаков неисправностей БУ. Описание ПН как объектов производится при помощи конструкций **ОБ** (ω, n, d, l), где ω – короткое имя ПН; n – полное наименование ПН; d – нормальный диапазон изменения значений ПН; l – единица измерения ПН, с соответствующими функциями принадлежности – $\mu(X)$.

Функция принадлежности имеет вид трапеции и определяется параметрами $(\alpha_l, \alpha_l, \alpha_r, \alpha_r)$, где α_l – левое отклонение; α_l – левый пик; α_r – правый пик; α_r – правое отклонение. Если необходимо определить собственные лингвистические значения, то это можно сделать при помощи ЛИНГВ: ЛИНГВ («короткое имя объекта», «помощи лингвистическое значение», $(\alpha_l, \alpha_l, \alpha_r, \alpha_r)$) [4].

База данных содержит объекты (лингвистические переменные) X_i со своими значениями (A_{ij}, cf_{ij}) , где A_{ij} – значения лингвистических переменных, $cf_{ij} \in]0, 100]$ – коэффициент достоверности значения A_{ij} :

- ОБ (УШ, "УРОВЕНЬ_ШУМА", 10, 84, "ДБ");
- ОБ (ТП, "ТЕМПЕРАТУРА_ПОДШИПНИКОВ", 42, 56, "ГРАД.С");
- ОБ (ТК, "ТЕМПЕРАТУРА_КОРПУСА", 40, 51, "ГРАД.С");
- ОБ (УШ_ЛО, "УШ_ЛО", 0, 1, "");
- ОБ (УШ_ЛП, "УШ_ЛП", 0, 1, "");
- ОБ (УШ_ПП, "УШ_ПП", 0, 1, "");
- ОБ (УШ_ПО, "УШ_ПО", 0, 1, "");
- ОБ (ТП_ЛО, "ТП_ЛО", 0, 1, "");
- ОБ (ТП_ЛП, "ТП_ЛП", 0, 1, "");
- ОБ (ТП_ПП, "ТП_ПП", 0, 1, "");
- ОБ (ТП_ПО, "ТП_ПО", 0, 1, "");
- ОБ (ТК_ЛО, "ТК_ЛО", 0, 1, "");
- ОБ (ТК_ЛП, "ТК_ЛП", 0, 1, "");
- ОБ (ТК_ПП, "ТК_ПП", 0, 1, "");
- ОБ (ТК_ПО, "ТК_ПО", 0, 1, "");
-
- ОБ (ННБ, "НАГРУЗКА_НА_БУКСУ", 100, 140, "%");
- ОБ (ТОС, "ТЕМПЕРАТУРА_ОКРУЖАЮЩЕЙ_СРЕДЫ", -30, 40, "ГРАД.С");
- ОБ (НСМ, "НАЛИЧИЕ_СМАЗОЧНОГО_МАСЛА", 40, 150, "%");

.....
 ОБ (РТКР, " РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ
 КОРПУСА РАВНОМЕРНОЕ? (ДА/НЕТ) ");

$\mu(X)$ аналитически записывается следующим образом:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{al - x}{\alpha_l}, & \text{если } a_1 - \alpha_l \leq x \leq a_1; \\ 1, & \text{если } a_1 \leq x \leq a_2; \\ 1 - \frac{x - ar}{\alpha_r}, & \text{если } a_2 \leq x \leq a_2 + \alpha_r; \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (1)$$

Графически $\mu(x)$ представляется в виде трапеции (рис. 2.):

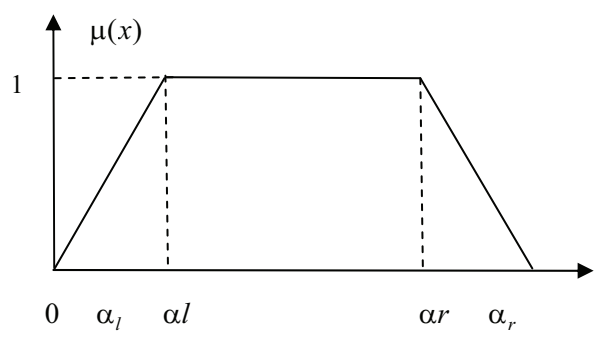


Рис. 2. LR формат функции принадлежности

3. Нечеткий логический вывод

В процессе нечеткого логического вывода взаимодействуют два компонента: База знаний и База данных. База знаний содержит правила-продукции, имеющие левые и правые части, например:

ЕСЛИ $X_1 = A_{11}$ и $X_2 = A_{12}$ и...и $X_n = A_{1n}$ ТО $Y_1 = B_{11}$
 или $Y_2 = B_{12}$ или...или $Y_n = B_{1n}$
 ЕСЛИ $X_1 = A_{n1}$ и $X_2 = A_{n2}$ и...и $X_n = A_{nn}$ ТО $Y_1 = B_{n1}$
 или $Y_2 = B_{n2}$ или...или $Y_n = B_{nn}$

Анализ применимости правил заключается в оценке степени истинности посылки на основании текущих значений ($A_{ij}; c f_{ij}$) выходных объектов X_i , взятых из базы данных и значений, записанных в правиле (насколько первые равны или неравны вторым). Если правила применимы, то выполняются действия из правой части, приводящие в большинстве случаев к занесению в базу данных новых пар «объект-значение» и процесс повторяется до тех пор,

пока не отработают все применимые правила [5, 6].

Для вычисления степени истинности правил – продукции во время логического вывода используется операция нечеткого сходства $a1 \Theta a2$, где $a1$ и $a2$ – лингвистические значения; Θ – операция «близко к», т.е. для выбранного формата функции принадлежности имеем:

$$\text{Poss}(a_1/a_2) = \max \min(\mu_{a1}(x), \mu_{a2}(x)) \in [0;1];$$

$$a_1 \Theta a_2 = \begin{cases} 1 - \frac{al_1 - ar_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, & \text{если } 0 < al_1 - ar_2 < \alpha_1 + \alpha_2; \\ 1, & \text{если } \max(al_1, al_2) \leq \min(ar_1, ar_2); \\ 1 - \frac{al_2 - ar_1}{\alpha_2 + \beta_1}, & \text{если } 0 < al_2 - ar_1 < \alpha_2 + \alpha_1; \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (2)$$

4. Решение задачи диагностики неисправности БУ с использованием fuzzy ЭСПЛАН

В качестве алгоритма решения задачи выступает совокупность эвристик, которыми пользуются высококвалифицированные специалисты. Эвристики, формулируемые экспертами, записываются на языке представления знаний ЭСПЛАН и заносятся в базу знаний системы. Приведем для ясности фрагмент диагностики неисправностей БПС:

```

УРОВЕНЬ_ШУМА (ДБ) = 11
ТЕМПЕРАТУРА_ПОДШИПНИКОВ (ГРАД .С) = 74
ТЕМПЕРАТУРА_КОРПУСА (ГРАД .С) = 62
.....
УРОВЕНЬ_ШУМА (ДБ) = "МАЛО"
ТЕМПЕРАТУРА_ПОДШИПНИКОВ (ГРАД .С) =
"ПРЕДЕЛЬНАЯ"
ТЕМПЕРАТУРА_КОРПУСА (ГРАД .С) =
"ПРЕДЕЛЬНАЯ"
.....
ЛИБО НАГРУЗКА НА БУКСУ БОЛЬШЕ НОРМЫ -
ДОСТОВЕРНОСТЬ 30 %
ИЛИ СМАЗОЧНОЕ МАСЛО МЕНЬШЕ НОРМЫ -
ДОСТОВЕРНОСТЬ 25 %
ИЛИ СМАЗОЧНОЕ МАСЛО БОЛЬШЕ НОРМЫ -
ДОСТОВЕРНОСТЬ 20 %
ИЛИ В БУКСУ ПОПАЛ ПОСТОРОННИЙ ПРЕДМЕТ -
ДОСТОВЕРНОСТЬ 15 %
ИЛИ ТЕМПЕРАТУРА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
БОЛЬШЕ 40°С – ДОСТОВЕРНОСТЬ 10 %
.....
ЕСЛИ ТОС = "БОЛЬШЕ_НОРМЫ"
ОТОБР (" *****РЕКОМЕНДАЦИЯ***** ")
ОТОБР ( " ПРОПУСТИТЬ ВАГОН ДО СТАНЦИИ
НАЗНАЧЕНИЯ ПОД КОНТРОЛЕМ" )
ТАК_КАК " ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ БУКСА НАГРЕВАЕТСЯ ДО
ПРЕДЕЛЬНОГО УРОВНЯ" ;
ЕСЛИ ТОС = "НОРМА" ТО ЗАПРОС (НСМ)
  
```

ЕСЛИ НСМ = БОЛЬШЕ НОРМЫ И (" ВЕРХНЯЯ ЧАСТЬ КОРПУСА БУКСЫ НАГРЕВАЕТСЯ РАВНОМЕРНО") И (" ПЕРВАЯ ПОЕЗДКА ВАГОНА ПОСЛЕ РЕВИЗИИ БУКСЫ") ТО
 ОТОБР (" *****РЕКОМЕНДАЦИЯ***** ")
 ОТОБР (" ПРОПУСТИТЬ ВАГОН ДО СТАНЦИИ НАЗНАЧЕНИЯ ПОД КОНТРОЛЕМ СПЕЦИАЛИСТОВ ВАГОННОЙ СЛУЖБЫ ")
 ТАК_КАК " БОЛЬШОЕ КОЛИЧЕСТВО СМАЗКИ ЗАТРУДНЯЕТ ВРАЩЕНИЕ РОЛИКОВ И ВЫЗЫВАЕТ НАГРЕВ ПО МЕРЕ ВЫДАВЛИВАНИЯ ИЗБЫТОЧНОЙ СМАЗКИ ГРЕНИЕ МОЖЕТ ПРЕКРАТИТЬСЯ" ;

ЕСЛИ НСМ = МЕНЬШЕ НОРМЫ И (" СМАЗКА НЕ ЗАГРЯЗНЕНА МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ ") ИЛИ (" ОБНАРУЖЕНО РАЗЖИЖЕНАЯ ЗАТВЕРДЕВШАЯ СМАЗКА ")
 ОТОБР (" *****РЕКОМЕНДАЦИЯ***** ")
 ОТОБР (" ОЧИСТИТЬ ОТ СТАРОЙ СМАЗКИ И ЗАПРАВИТЬ СВЕЖЕЙ 3/1 СВОБОДНОГО ПРОСТРАНСТВА ПЕРЕДНЕЙ ЧАСТИ БУКСЫ И СОХРАНИТЬ ПОД КОНТРОЛЕМ В ПУТИ СЛЕДОВАНИЯ ")
 ТАК_КАК " НЕДОСТАТОЧНОЕ СМАЗЫВАНИЕ ПОДШИПНИКОВ ВЫЗЫВАЕТ НАГРЕВ И МОЖЕТ ОКОНЧИТЬСЯ РАЗРУШЕНИЕМ БУКСЫ" ;
 ЕСЛИ НСМ = "НОРМА" ТО ЗАПРОС (ННБ);

ЕСЛИ ННБ = БОЛЬШЕ НОРМЫ И (" СБОРКА ТЕЛЕЖКИ ПРАВИЛЬНО ") И (" НЕТ ПЕРЕКОСА РАМЫ ВАГОНА ")
 ОТОБР (" *****РЕКОМЕНДАЦИЯ***** ")
 ОТОБР (" УМЕНЬШИТЬ НАГРУЗКУ ДО НОРМАЛЬНОГО УРОВНЯ ")
 ТАК_КАК " ПОД БОЛЬШОЙ НАГРУЗКОЙ ПОДШИПНИКИ НАГРЕВАЮТСЯ И ДЛИТЕЛЬНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ МОЖЕТ ДОВЕСТИ ДО РАЗРУШЕНИЯ БУКСЫ" ;
 ЕСЛИ ННБ = "НОРМА" ТО ЗАПРОС (БППП);

ЕСЛИ БППП = ДА
 ОТОБР (" *****РЕКОМЕНДАЦИЯ***** ")

ОТОБР (" ОТПРАВИТЬ ВАГОН В ДЕПО ДЛЯ РЕВИЗИИ БУКСЫ")
 ТАК_КАК " ПОСТОРОННИЙ ПРЕДМЕТ МОЖЕТ ДОВЕСТИ ДО РАЗРУШЕНИЯ БУКСЫ" ;

Диагностическая нечеткая экспертная система букс подвижного состава, созданная на основе fuzzy ЭСПЛАН, позволяет оценивать динамику изменения технического состояния БУ, характеризующегося внутренней и внешней неопределенностью функционирования. Причем можно проводить диагностику неисправностей практически в реальном масштабе времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амелина, А. А. Устройство и ремонт вагонных букс с роликовыми подшипниками [Текст] / А. А. Амелина. – М.: Транспорт, 1971. – 286 с.
2. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных значений [Текст] : пер. с англ. / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
3. Джексон, П. Введение в экспертные системы [Текст] / П. Джексон. – М.: Вильямс, 2001. – 624 с.
4. Aliyev, R. A. Soft Computing and its Application [Текст] / R. A. Aliyev, R. R. Aliyev. – World Scientific, New Jersey, London, Singapore, Hong Kong, 2001. – 444 p.
5. Круглов, В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика [Текст] / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001.
6. Прикладные нечеткие системы [Текст] / К. Асаи и др.; под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. – М.: Мир, 1993. – 368 с.

Поступила в редколлегию 25.03.2009.