

УДК 629.4.083

ВЫБОР СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЛОКОМОТИВОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Дацун Ю.Н.

THE CHOICE OF THE STRATEGY OF THE TECHNICAL SERVICE AND REPAIR OF LOCOMOTIVES BASED ON THE METHODS OF FUZZY LOGIC

Datsun Y.

В статье, с помощью аппарата нечеткой логики, разрабатывается классификатор для выбора стратегии технического обслуживания и ремонта локомотивов в рамках методологии RCM. В качестве входных переменных нечеткой системы предложены «Значимость отказа», «Частота возникновения отказа», «Возможность выявления предотказного состояния». Определены термы и функции принадлежности переменных. Получены поверхности нечеткого вывода.

Ключевые слова: локомотив, техническое обслуживание и ремонт, отказ, система, классификатор, правила, нечеткие переменные.

Постановка проблемы. Техническое состояние локомотивов напрямую влияет на безопасность, эффективность и качество работы железнодорожного транспорта. В процессе эксплуатации узлы и агрегаты локомотивов изнашиваются, их техническое состояние ухудшается, возрастает вероятность отказов. Техническое состояние локомотивов в эксплуатации во многом определяется эффективностью системы технического обслуживания и ремонта (ТОР).

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время на железных дорогах применяется планово-предупредительная система ТОР локомотивов. Проблемам совершенствования систем ТОР локомотивов посвящено много работ отечественных ученых под руководством: Босова А.А., Боднаря Б.С., Бабанина А.Б., Бутько Т.В., Голубенко А.Л., Косова Е.Е., Мямлина С.В., Стрекопытова В.В., Тартаковского Э.Д., Четвергова В.А., Фалендыша А.П. Основным направлением работ которых было управление техническим состоянием локомотивов путем оптимизации межремонтных пробегов и объемов работ с учетом их фактического технического состояния. Это не позволило уйти от основных недостатков существующей планово-предупредительной системы. В [1] для ТОР локомотивов предложено применение современных диффе-

ренцированных подходов, получивших широкое распространение в различных технических отраслях. В [2] определение индивидуальных стратегий ТОР для оборудования локомотивов осуществляется методами нечеткой логики. Реализация такого подхода подразумевает разработку нечеткого классификатора, с исполнением в специальной программной среде.

Цель статьи. Разработать нечеткий классификатор, для определения индивидуальных стратегий ТОР оборудования локомотивов.

Основной материал. Локомотив как сложная автономная многофункциональная организационно-техническая система, состоит из совокупности различных подсистем и элементов. Они характеризуются индивидуальными конструктивными особенностями, условиями эксплуатации и режимами работы. Высокую эффективность при обслуживании и ремонте таких систем показывает применение дифференцированного подхода, реализованного в рамках методологии, ориентированной на надежность (Reliability-Centered Maintenance - RCM).

Так как ключевым моментом RCM есть оценка рисков отказов оборудования, то для реализации данной методологии, целесообразно использовать подходы, заложенные в процедурах проведения анализа видов отказов, их последствий и критичности [3]. Согласно разработанных методик, при анализе учитывается значимость отказа, его частота возникновения и возможность выявления. При таком подходе риск возникновения отказа можно представить как функцию

$$h = f(S, O, D) \quad (1)$$

где: S – значимость отказа; O – частота возникновения отказа (повторяемость); D – возможность выявления отказа.

Существующие методики оценки возникающих рисков основываются на экспертных оценках [4].

Учитывая неполноту и неоднозначность такой информации, возникает вопрос поиска адекватных математических методов, позволяющих оперировать субъективными оценками экспертов, учитывать неясность и неточность данных. При трудностях четкого определения входных признаков наибольшую эффективность показывают методы нечеткой логики. Которые позволяют как формализовать входные нечеткие признаки, так и классифицировать объекты по входным признакам [5].

Закрепление за каждым видом оборудования индивидуальной стратегии ТОР можно рассматривать как задачу отнесения объектов к одному из ранее выделенных классов, то есть задачу классификации. А с учетом характера входных данных, решение этой задачи целесообразно проводить в рамках экспертной автоматической системы на основе нечетких алгоритмов.

Согласно [6] нечеткий классификатор представляет собой систему нечетких правил, которые описывают m классов в имеющемся наборе исходных данных, и нечеткую систему вывода для их переработки с целью получения результата классификации (рис. 1).

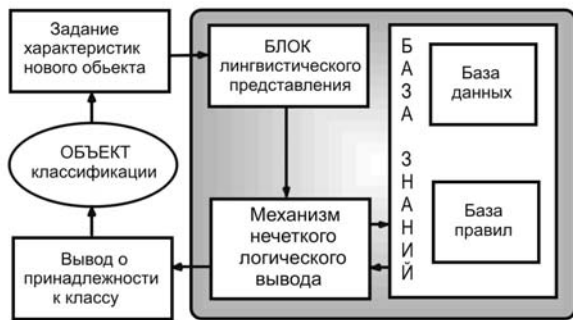


Рис. 1. Структурная схема нечеткой классификации

В качестве входных переменных классификатора принимались нечеткие характеристики узлов и агрегатов локомотивов, каждый из которых описывается конечной совокупностью признаков $A = \{a_1, \dots, a_m\}$. Каждому признаку a_j соответствует множество его четких значений и множество лингвистических термов $T = \{T_{1j}, \dots, T_{mj}\}$, ($1 \leq j \leq m$, m_j – число термов признака a_j).

Для классификатора определения стратегии ТОР агрегатов и узлов локомотивов лингвистические переменные определялись в соответствии с (1) (таблица).

Для построения функций принадлежности лингвистических переменных использовались трапециевидные функции (2), (рис. 2)

В качестве вариантов решений (выходная переменная) вводилось конечное множество назначаемых стратегий ТОР (R): планово-предупредительная (ТВМ), по техническому состоянию (СВМ), по отказу (RTF).

Таблица

Параметры лингвистических переменных нечеткого классификатора

Лингвистические переменные		Термы	
Обозначение	Название	Обозначение	Название (характеристика)
S	Значимость отказа	LW	Низкая (снижено качество функционирования).
		NS	Незначительная (задержка выполнения задачи без опасности выхода из строя).
		SG	Значительная (ущерб без травмирования людей).
		HG	Высокая (существенный ущерб с травмами или гибелью людей).
O	Частота возникновения отказа	RR	Редкий (маловероятный)
		PS	Возможный (возможно несколько случаев за срок службы).
		FQ	Частый (наблюдается постоянно).
D	Возможность выявления предотказного состояния (ПОС)	LW	Низкая (выявление ПОС проблематично).
		MD	Средняя (ПОС может выявляться косвенными методами);
		HG	Высокая (ПОС выявляется прямыми методами, несколькими способами)

$$M_A(x) = \begin{cases} 1 - \frac{a-x}{l}, & \text{если } a-l \leq x \leq a \\ 1, & \text{если } a \leq x \leq b \\ 1 - \frac{x-a}{r}, & \text{если } b \leq x \leq b+r \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

Экспертная информация о взаимодействии входных и выходных переменных, формировалась в специальную базу знаний, состоящую из логических высказываний, и имеющую вид (3)

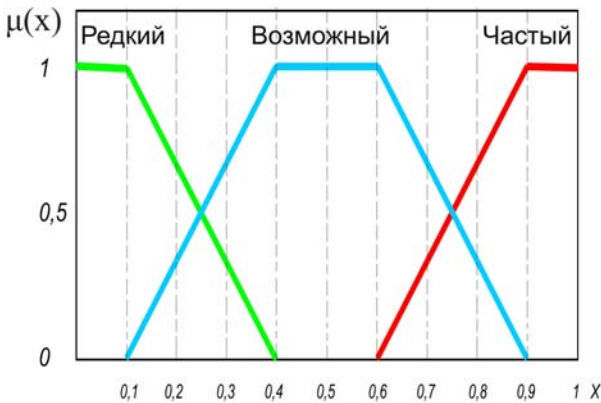


Рис. 2. Функции принадлежности лингвистической переменной «Частота возникновения отказа»

$$\left. \begin{aligned}
 & \text{If } (S \text{ is } HG) \text{ and } (O \text{ is } FQ) \text{ then } (R \text{ is } TBM) \\
 & \text{If } (S \text{ is } SG) \text{ and } (O \text{ is } FQ) \text{ then } (R \text{ is } TBM) \\
 & \dots \dots \dots \\
 & \text{If } (S \text{ is } LW) \text{ then } (R \text{ is } RTF)
 \end{aligned} \right\} (3)$$

Логическая связка «and» определяет связь между элементами предпосылок правил и реализуется оператором произведения или оператором «минимум» по Заде (4).

$$\beta_i(x) = \prod_{j=1}^n \mu_{A_j}(x_j) \quad \text{или} \quad \beta_i(x) = \min_{1 \leq j \leq n} (\mu_{A_j}(x_j)) \quad (4)$$

На вход классификатора подается нечеткие значения признаков объекта. Выходом является вектор, описывающий принадлежность объекта классам r_1, r_2, \dots, r_m . В качестве решения у выбирают класс с максимальной степенью принадлежности.

$$y = \arg \max_{\{r_1, r_2, \dots, r_m\}} (\mu_{r_1}(x), \mu_{r_2}(x), \dots, \mu_{r_m}(x)), \quad (5)$$

Визуализация работы классификатора осуществляется за счет выведения поверхностей нечеткого вывода (рис. 3, 4).

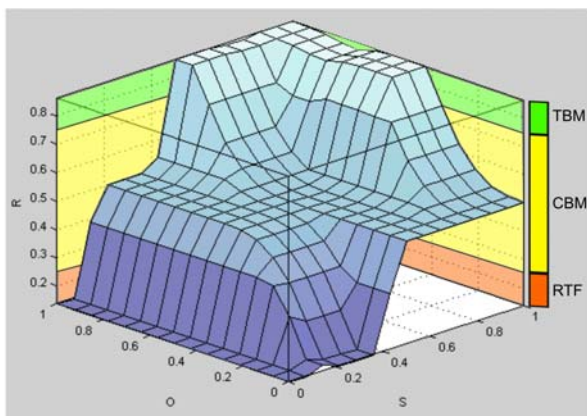


Рис. 3. Поверхность зависимости нечеткого вывода от входных переменных «O» и «S»

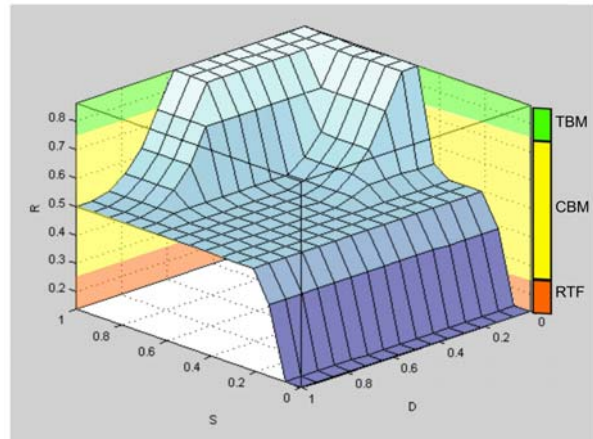


Рис. 4. Поверхность зависимости нечеткого вывода от входных переменных «S» и «D»

Полученные поверхности нечеткого вывода не имеют резких возмущений и разрывов. Это указывает на полноту и непротиворечивость разработанной базы правил.

Выводы. Предложенный подход нечеткой классификации позволит при периодической оценке технического состояния локомотивного парка и уровня оснащённости ремонтного производства определять и корректировать стратегии ТОР узлов и агрегатов локомотивов.

Дальнейшие работы в этом направлении будут направлены на проверку адекватности разработанной системы, оптимизацию базы правил, и параметров функций принадлежности переменных.

Л и т е р а т у р а

1. Пузир В.Г. Застосування сучасних стратегій при удосконаленні системи технічного обслуговування і ремонту локомотивів [Текст] / В.Г. Пузир, Ю.М. Дацун // 36. наук. пр./ Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х., 2014, Вип. 149 – С. 75-79.
2. Применение нечетких методов классификации при определении стратегии технического обслуживания и ремонта узлов локомотивов [Текст] / Э.Д. Тартаковский [и др.] // Локомотивы XXI век: сборник мат. II между. научн.-техн. конф. (18-20 нояб. 2014 г.) / Петерб. государств. универ. путей сообщ. – СПб.: ПГУПС, 2014. – С. 128-130.
3. McDermott R.E. The Basics of FMEA [Text] / R.E. McDermott et al. - Productivity Press, New York, 2009. – 168 с.
4. Дацун Ю.М. Дослідження відмов колісних пар тепловозів в експлуатації із застосуванням FMEA - методології [Текст] / Ю.М. Дацун, А.І. Філатов // 36. наук. пр./ Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х., 2015, Вип. 147 – С. 67-71.
5. Нурматова Е.В. Подход к решению задачи классификации технических состояний в нечеткой логической системе. [Текст] / Е.В. Нурматова // Известия ТулГУ. Технические науки. – Т., 2010, Вып. 1 - С 170-174.
6. Zimmermann H.J. Fuzzy Set Theory and its Applications [Text]/ H.J. Zimmermann/ - Dordrecht: Kluwer Academic Publishers., 1996. – 120 p.

References

1. Puzir V.G. Zastosuvannja suchasnih strategij pri udoskonalenni sistemi tehničnogo obslugovuvannja i remontu lokomotiviv [Text] / V.G. Puzir, Ju.M. Dacun // Zb. nauk. pr./ Ukr. derzh. akad. zaliznich. transp. – H., 2014, Vip. 149 – S. 75-79.
2. Primenenie nechetkih metodov klassifikacii pri opredelenii strategii tehničeskogo obsluzhivannja i remonta uzlov lokomotivov [Text] / Je.D. Tartakovskij [i dr.] // Lokomotivy XXI vek: sbornik mat. II mezhd. nauchn.-tehn. konf. (18-20 nojab. 2014 g.) /Peterb. gosudarstv. univers. putej soobshh. – Spb.: PGUPS, 2014. – S. 128-130.
3. McDermott R.E. The Basics of FMEA [Text] / R.E. McDermott et al. - Productivity Press, New York, 2009. – 168 s.
4. Dacun Ju.M. Doslidzhennja vidmov kolisnih par teploviziv v ekspluataciji iz zastosuvannjam FMEA - metodologii [Text] / Ju.M. Dacun, A.I. Filatov // Zb. nauk. pr./ Ukr. derzh. akad. zaliznich. transp. – H., 2015, Vip. 147 – S. 67-71.
5. Nurmatova E.V. Podhod k resheniju zadachi klassifikacii tehničeskikh sostojanij v nechetkoj logičeskoj sisteme. [Text] / E.V. Nurmatova // Izvestija TulGU. Tehničeskije nauki. – T., 2010, Vyp. 1 - S 170-174.
6. Zimmermann H.J. Fuzzy Set Theory and its Applications [Text] / H.J. Zimmermann/ - Dordrecht: Kluwer Academic Publishers., 1996. – 120 p.

Дацун Ю.М. Вибір стратегії технічного обслуговування та ремонту локомотивів на основі методів нечіткої логіки.

В статті з допомогою апарату нечіткої логіки, розробляється класифікатор для вибору стратегії технічного обслуговування та ремонту локомотивів в рамках методології RCM. В якості входних змінних нечіткої системи запропоновано «Значимість відмови», «Частота

виникнення відмови», «Можливість виявлення передвідмовного стану». Визначені терми та функції належності змінних. Отримані поверхні нечіткого виводу.

Ключеві слова: локомотив, технічне обслуговування та ремонт, відмова, система, класифікатор, правила, нечіткі змінні.

Datsun Y. The choice of the strategy of the technical service and repair of locomotives based on the methods of fuzzy logic

The article offers to improve the technical service and repair of locomotives using the approaches of methodology focused on the reliability (RCM). Fixing for each type of equipment the individual strategy of repair and technical service is considered as a classification task. Considering the nature of the input data this task should be carried out in the limits of the expert automatic system based on the fuzzy algorithms. The classifier to select the strategies of the technical service and repair of locomotives is developed. The structure of the fuzzy classifier is applied. As the input variables of the fuzzy system proposed the «importance of failure», the «frequency of occurrence of failure», the «ability of identifying of the condition before failure». The terms of variables are appointed by the expert method. The functions of affiliation are represented by a trapezoidal. The fuzzy production rules are formed. The surfaces of the fuzzy implication are obtained. The preliminary data of the adequacy of the system are obtained.

Keywords: locomotive, technical service and repair, failure, the system, the classifier, the rules, fuzzy variables.

Дацун Ю.М. – к.т.н., доцент кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» УкрДАЗТ,
e-mail: datsun.hiit@rambler.ru

Рецензент: д.т.н., проф. Марченко Д.М.

Статья подана 06.03.2015