

УДК 629.4.053

**А. О. Антонович***(аспірант кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)*

### ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОБРАЗУ ПОЇЗНОЇ СИТУАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ СААТІ

*У процесі керування поїздом машиніст переробляє велику кількість оперативної інформації. Завдання розробки теоретичних основ розпізнавання образів поїзних ситуацій є актуальним і потребує детальної розробки. В результаті аналізу діяльності машиніста отриманий орієнтовний перелік ситуацій, що виникають в процесі керування локомотивом, що налічує дванадцять найменувань. На їх основі побудована ієрархія поїзних ситуацій та отримані групи: безпечний режим руху, режим руху, що потребує підвищеної уваги, небезпечний режим руху. Всі групи критеріїв, власне критерії та варіанти порівнюються один з одним за схемою «кожен з кожним», результати порівняння представляються у вигляді матриці парних порівнянь. По кожній матриці парних порівнянь формується вектор вагових коефіцієнтів. З кожної матриці парних порівнянь отримано окремих вектор вагових коефіцієнтів – за кількістю існуючих поїзних ситуацій. Результатом перемноження всіх матриць є вектор (одностовбцева матриця), що містить вагові коефіцієнти подібних варіантів. Таким чином отримано значення вагових коефіцієнтів критеріїв відносно трьох груп та підсумкові коефіцієнти. Використовуючи наведений підхід можливо найбільш якісно визначити поточний стан системи «локомотивна бригада-поїзд» та підготувати найбільш адекватне керуюче рішення.*

*Ключові слова:* прийняття рішень, образ ситуації, локомотив, машиніст, інтелектуальна система

*В процессе управления поездом машинист перерабатывает большое количество оперативной информации. Задача разработки теоретических основ распознавания образов поездных ситуаций является актуальной и требует детальной разработки. В результате анализа деятельности машиниста получен ориентировочный перечень ситуаций, возникающих в процессе управления локомотивом, который насчитывает двенадцать наименований. На их основе построена иерархия поездных ситуаций и полученные группы: безопасный режим движения, режим движения, требующий повышенного внимания, опасный режим движения. Все группы критериев, собственно критерии и варианты сравниваются друг с другом по схеме «каждый с каждым», результаты сравнения представляются в виде матрицы парных сравнений. По каждой матрице парных сравнений формируется вектор весовых коэффициентов. С каждой матрицы парных сравнений получены отдельный вектор весовых коэффициентов – по количеству существующих поездных ситуаций. Результатом перемножения всех матриц является вектор (одностолбцовая матрица), содержащий весовые коэффициенты подобных вариантов. Таким образом получены значения весовых коэффициентов критериев*

© Антонович А. О., 2016

*в отношении трех групп и итоговые коэффициенты. Используя приведенный подход, можно наиболее качественно определить текущее состояние системы «локомотивная бригада-поезд» и подготовить наиболее адекватное управляющее решение.*

*Ключевые слова: принятие решений, образ ситуации, локомотив, машинист, интеллектуальная система*

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** В процесі керування поїздом машиніст переробляє велику кількість оперативної інформації, на підставі якої визначає поточний стан поїзду (як об'єкту керування) та середовища (як набір факторів впливу на об'єкт керування та на самого машиніста). При великій напруженості діяльності машиністу іноді складно точно класифікувати поточну ситуацію, що може вплинути на якість керуючого рішення. Тому завдання розвитку теоретичних основ розпізнавання образів поїзних ситуацій є актуальним і потребує детальної розробки.

Метою розпізнавання образів є класифікація об'єктів за декількома класами або категоріями [1]. В випадку керування поїздом всі об'єкти класифікації (поїзні ситуації) розбиті на кінцеве число класів. Для кожного класу відомо і вивчено кінцеве число об'єктів – прецедентів. Завдання розпізнавання образів полягає в тому, щоб віднести нову розпізнавану ситуацію до якого-небудь класу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В теперішній час актуальним стає напрям досліджень систем підтримки прийняття рішень (СППР) для локомотивних бригад [2, 3]. Підґрунтям для розробки таких систем є розвиток теорії штучного інтелекту, яка дозволяє моделювати дії людини при керуванні технічними об'єктами та формалізувати якісні показники, зокрема отримана модель оцінки поточного стану безпеки руху [4].

При керуванні поїздом локомотивна бригада постійно контролює поїзну обстановку, показання приладів, стан оточуючого середовища, та на підставі цих даних формує керуючі рішення. Цей процес можливо описати за допомогою методів розпізнавання образів. В рамках задачі розпізнавання вважається, що кожному образу ставиться у відповідність єдине значення вектору ознак і навпаки: кожному значенню вектору ознак відповідає єдиний образ [5]. Класифікатором або вирішальним правилом є правило віднесення образу поїзної ситуації до одного з класів на підставі його вектору ознак.

**Формулювання мети дослідження.** При розробці інтелектуальних локомотивних СППР постає завдання розпізнавання умов ведення поїзду та класифікації ситуацій за окремими ознаками для прийняття адекватних керуючих рішень. Теоретичні основи розпізнавання образів розроблені достатньо широко. Але в умовах залізничного транспорту є свої особливості, пов'язані зі швидкістю змінення обстановки, інерційністю зупинки рухомого складу, ризиком травмування людини та ін. Таким чином, постає завдання на основі існуючих теорій, розробити підходи до класифікації та розпізнавання ситуацій в умовах роботи локомотивних бригад.

### **Викладення основного матеріалу.**

В результаті аналізу діяльності машиніста отриманий орієнтовний перелік ситуацій, що виникають в процесі керування локомотивом:

$c_1$  – відправлення зі станції на перегін;

$c_2$  – рух під зелений на підйом;

$c_3$  – рух під зелений на спуск;

$c_4$  – рух під жовтий на підйом;

$c_5$  – рух під жовтий на спуск;

$c_6$  – рух під червоний на підйом;

$c_7$  – рух під червоний на спуск;

$c_8$  – рух по станційним коліям;  
 $c_9$  – рух резервом;  
 $c_{10}$  – рух у несприятливих погодних умовах;  
 $c_{11}$  – перешкода попереду;  
 $c_{12}$  – прибуття на станцію.

Вектор характеристик поточної поїзної ситуації представимо у вигляді

$$C_{nom} = \begin{pmatrix} f_{1пот} \\ f_{2пот} \\ \dots \\ f_{iпот} \\ \dots \\ f_{nпот} \end{pmatrix} \quad (1)$$

де  $f_{iпот}$  – значення  $i$ -го фактору, що характеризує поїзну ситуацію.  
 Нормалізація отриманих величин факторів згідно виразу

$$f'_{iпот} = \frac{f_{iпот} - f_{imin}}{f_{imax} - f_{imin}} \quad (2)$$

де  $f_{imax}$  ( $f_{imin}$ ) – максимально (мінімально) можливе значення  $i$ -го фактора в експлуатації.

Визначимо евклідову відстань між першою ситуацією та поточною  $C_{nom}$

$$D(c_i) = \sqrt{\sum_{h=1}^n (f(c_i)_h - f_{iпот})^2} \quad (3)$$

де  $f(c_i)_h$  – значення  $h$ -го фактору, що характеризує ситуацію  $c_i$ .

Визначимо всі відстані між  $C_{nom}$  та  $D(c_i)$ , при  $i \in [1;12]$  (за кількістю визначених ситуацій) згідно (3).

Далі необхідно перерахувати значення відстаней  $D(c_i)$  у відповідності до вагових коефіцієнтів

$$D'(c_i) = D(c_i) \cdot \gamma_i \quad (4)$$

де  $D'(c_i)$  – приведені значення відстані між поточною ситуацією та  $i$ -м кластером (елементарною поїзною ситуацією);

$\gamma_i$  – ваговий коефіцієнт, що визначає відносну важливість кожної  $i$ -ої ситуації.

Таким чином отримана множина  $D$ , що складається з відстаней від поточних факторів, що формують поточну ситуацію керування локомотивом, від базових поїзних ситуацій (в нашому випадку їх 12, тому і членів множини  $D$  також 12).

Елементи  $D$  ранжуються від мінімального до максимального значення  $D = \{D_{min}, \dots, D_i, \dots, D_{max}\}$ .

Перший елемент визначає основну ситуацію, другий і декілька наступних елементів визначають додаткові впливи на основну поїзну ситуацію. Знання основної та впливаючих поїзних ситуацій необхідно для вироблення керуючого рішення, що врахує всі наслідки для тієї або іншої ситуації.

Для характеристики поточних ситуацій використовуються часткові критерії. Сукупність назв часткових критеріїв – це звичайна множина вербальних значень, тому вагові коефіцієнти критеріїв можна встановити за допомогою процедури визначення ваг, заснованої на використанні таблиці парних порівнянь, заповненої балами переваг.

При великій кількості часткових критеріїв можна використовувати процедуру, засновану на парному порівнянні всіх варіантів з єдиним – базовим критерієм. Базовим критерієм може бути будь-який з часткових критеріїв, наприклад, перший по номеру. Але все ж, доцільніше використовувати в якості базового найбільш «важливий» критерій.

За базовий критерій потрібно прийняти ситуацію  $c_{11}$  «перешкода попереду», тому що це одна з найнебезпечніших ситуацій і решту поїзних обставин доцільно порівнювати з нею.

Порівнювати варіанти будемо в рамках дев'ятибальної шкали Сааті [6]. В результаті порівняння формується вектор результатів  $V = (V_{11}, V_{21}, \dots, V_{n1})$ , де  $V_{j1}$  – результат порівняння  $j$ -го і першого часткових критеріїв. Семантично  $V_{j1}$  представляє собою ставлення, що інтуїтивно оцінюється ступенем важливості (значущості, корисності)  $j$ -го часткового критерію до ступеня важливості базового критерію, тобто це інтуїтивна

оцінка величини  $v_{j1} = \frac{\mu_j}{\mu_1}$ , де  $\mu_j$  – явно не оцінювані ступені важливості для ОПР  $j$ -го і першого часткових критеріїв.

Формула вагових коефіцієнтів при цьому має вигляд

$$w_j = \frac{V_{j1}}{\sum_{k=1}^n V_{k1}} \quad j = \overline{1; n} \quad (5)$$

Якщо кількість часткових критеріїв, що враховуються, велика, то доцільно організувати критерії за ієрархію, на верхніх рівнях якої розміщуються групи критеріїв, а на останньому рівні – власне критерії. Така організація дозволяє більш ретельно оцінити вагові коефіцієнти критеріїв.

Основні ідеї оригінального методу Сааті такі.

1. Будується ієрархія поїзних ситуацій як часткових критеріїв:

1) на нульовому рівні розміщується назва всієї ієрархічної системи, «Поїзні ситуації»;

2) на наступних рівнях – з першого по  $(L-1)$ -й рівні розміщуються групи критеріїв – «Небезпечний режим руху», «Режим руху, що потребує підвищеної уваги», «Безпечний режим руху»;

3) на  $L$ -му рівні розміщуються власне критерії – всі ситуації;

4) на маргінальному –  $(L+1)$ -му рівні розміщуються варіанти можливих керуючих рішень, що зіставляються. При цьому всі критерії не мають значення – це просто лінгвістичні мітки, які мають певну семантику якісної ознаки без поділу цієї ознаки на які-небудь рівні.

Результат наведено у вигляді рис. 1.

2. На кожному рівні ієрархії відбувається порівняння елементів цього рівня один з одним. Причому порівняння виконується кілька разів: стільки, скільки елементів міститься на попередньому рівні. Кожне порівняння здійснюється «з позиції» одного з елементів попереднього рівня, який виступає в ролі критерію, за яким попарно порівнюються елементи поточного рівня.

3. Всі групи критеріїв, власне критерії та варіанти порівнюються один з одним за шкалою 1..9 за схемою «кожен з кожним», результати порівняння представляються у вигляді матриці парних порівнянь. По кожній матриці парних порівнянь формується вектор вагових коефіцієнтів. Для більшої науковості методу Сааті рекомендує обчислювати вагові коефіцієнти як власний вектор матриці парних порівнянь, що відповідає найбільшому власному числу цієї матриці. Проблеми обчислення цього власного вектора немає, але і особливої потреби в його обчисленні теж немає: якщо нормалізувати елементи стовпців матриці парних порівнянь їх сумами, а потім усереднити результати, одержувані в кожному рядку, то результат буде дуже близький до власного вектору Сааті.



Рис. 1. Ієрархія поїзних ситуацій

Таблиця 1. Вектор парних порівнянь для груп поїзних ситуацій (базова група – «Небезпечний режим руху»)

Найменування групи ситуацій	Рахунок	Вага
Небезпечний режим руху	1	0,571
Режим руху, що потребує підвищеної уваги	1/2	0,286
Безпечний режим руху	1/4	0,143
	1 3/4	1,0

4. Отже, з кожної матриці парних порівнянь отримано окремий вектор вагових коефіцієнтів – за кількістю існуючих поїзних ситуацій. Їх можна розмістити у вигляді стовпців послідовно один за одним і отримати цілу матрицю вагових коефіцієнтів. Це являє собою сукупність матриць, складених з векторів вагових коефіцієнтів. Для отримання єдиного вектору вагових коефіцієнтів потрібно обчислити добуток матриць, синтезованих з векторів вагових коефіцієнтів, отриманих на кожному рівні ієрархії:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{w} &= \mathbf{W}^{L+1} \times \mathbf{W}^L \times \dots \times \mathbf{W}^2 \times \mathbf{W}^1 = \\
 &= [w_{ij}^{[L+1]}]_{n_L}^m \times [w_{ij}^{[L]}]_{n_{L-1}}^{n_L} \times \dots \times [w_{ij}^{[2]}]_{n_1}^{n_2} \times [w_i^{[1]}]_1^{n_1} = [w]_1^m \quad (6)
 \end{aligned}$$

де  $\mathbf{W}^k = [w_{ij}^{[k]}]_{n_{k-1}}^{n_k}$  – матриця  $k$ -го рівня, складена з стовпців вагових коефіцієнтів, обчислених для  $n_k$  елементів цього рівня з позиції кожного з  $n_{k-1}$  елементів попереднього рівня;

$L$  – кількість рівнів ієрархії, на яких розміщуються групи критеріїв (ці рівні мають номери 0.. L-1);

$n_L$  – кількість враховуються приватних критеріїв – число елементів критеріального рівня ієрархії з номером L;

$m$  – кількість подібних варіантів – число елементів варіантного рівня ієрархії з номером L+1.

Оскільки в (6)  $n_k$  позначає кількість елементів  $k$ -го рівня ієрархії, то має місце рівність  $n_{L+1}=m$ .

Таблиця 2. Вектор парних порівнянь для поїзних ситуацій (базова ситуація – «с<sub>11</sub> – перешкода попереду»)

Найменування ситуацій	Небезпечний режим руху	Режим руху, що потребує підвищеної уваги	Безпечний режим руху
c <sub>1</sub> – відправлення зі станції на перегін	1/6	6	1/4
c <sub>2</sub> – рух під зелений на підйом	1/9	1	1/2
c <sub>3</sub> – рух під зелений на спуск	1/8	2	1/2
c <sub>4</sub> – рух під жовтий на підйом	1/6	2	1/5
c <sub>5</sub> – рух під жовтий на спуск	1/4	3	1/5
c <sub>6</sub> – рух під червоний на підйом	1/3	4	1/8
c <sub>7</sub> – рух під червоний на спуск	1/2	5	1/9
c <sub>8</sub> – рух по станційним коліям	1/3	4	1/6
c <sub>9</sub> – рух резервом	1/8	5	1/5
c <sub>10</sub> – рух у несприятливих погодних умовах	1	9	1/9
c <sub>11</sub> – перешкода попереду	1	9	1/9
c <sub>12</sub> – прибуття на станцію	1/3	5	1/8
Сума	4 7/36	55	2 97/420

Таблиця 3. Вагові коефіцієнти критеріїв відносно трьох груп

Найменування ситуацій	Небезпечний режим руху	Режим руху, що потребує підвищеної уваги	Безпечний режим руху
1	2	3	4
c <sub>1</sub> – відправлення зі станції на перегін	0,038	0,109	0,096
c <sub>2</sub> – рух під зелений на підйом	0,025	0,018	0,192
c <sub>3</sub> – рух під зелений на спуск	0,028	0,036	0,192
c <sub>4</sub> – рух під жовтий на підйом	0,038	0,036	0,077

Закінчення табл. 3

1	2	3	4
c <sub>5</sub> – рух під жовтий на спуск	0,056	0,055	0,077
c <sub>6</sub> – рух під червоний на підйом	0,075	0,073	0,048
c <sub>7</sub> – рух під червоний на спуск	0,113	0,091	0,043
c <sub>8</sub> – рух по станційним коліям	0,075	0,073	0,064
c <sub>9</sub> – рух резервом	0,028	0,091	0,077
c <sub>10</sub> – рух у несприятливих погодних умовах	0,225	0,164	0,043
c <sub>11</sub> – перешкода попереду	0,225	0,164	0,043
c <sub>12</sub> – прибуття на станцію	0,075	0,091	0,048
Сума	1	1	1

Матриця  $k$ -го рівня ( $k = \overline{1; L+1}$ ) має стільки рядків, скільки елементів міститься на цьому  $k$ -му рівні і стільки стовпців, скільки елементів знаходиться на попередньому  $(k-1)$ -му рівні; внаслідок цього добуток будь-якої пари матриць формули (6) можливо обчислити, і результатом обчислення є нова матриця, число рядків якої дорівнює числу рядків з лівої пари матриць, а число стовпців – числу стовпців з правої пари матриць. Результатом перемноження всіх матриць (6) є вектор (одностовбцева матриця), що містить вагові коефіцієнти подібних варіантів (таблиця 4).

Таблиця 4. Підсумкові вагові коефіцієнти поїзних ситуацій

Найменування ситуацій	Ваговий коефіцієнт
c <sub>1</sub> – відправлення зі станції на перегін	0,066
c <sub>2</sub> – рух під зелений на підйом	0,047
c <sub>3</sub> – рух під зелений на спуск	0,054
c <sub>4</sub> – рух під жовтий на підйом	0,043
c <sub>5</sub> – рух під жовтий на спуск	0,059
c <sub>6</sub> – рух під червоний на підйом	0,071
c <sub>7</sub> – рух під червоний на спуск	0,097
c <sub>8</sub> – рух по станційним коліям	0,073
c <sub>9</sub> – рух резервом	0,053
c <sub>10</sub> – рух у несприятливих погодних умовах	0,182
c <sub>11</sub> – перешкода попереду	0,182
c <sub>12</sub> – прибуття на станцію	0,076
Сума	1

У цілому, метод Сааті застосовується і у випадку критеріїв зі значеннями, відмінність яких буде полягати тільки в способі формування матриці  $(L+1)$ -го – варіантного – рівня ієрархії  $\mathbf{W}^{L+1} = [w_{ij}^{L+1}]_{n_L}^n$ . У випадку критеріїв зі значеннями, що розглядається в роботі, елементи матриці не оцінюються з допомогою матриці парних порівнянь, а просто обчислюються за формулою:

$$w_{ij}^{[L+1]} = \frac{\tilde{c}_{ij}}{\sum_{k=1}^{n_L} \tilde{c}_{kj}}, \quad i = \overline{1; m}, \quad j = \overline{1; n_L}, \quad (7)$$

де  $\tilde{c}_{ij}$  – нормалізоване значення  $j$ -го критерію для  $i$ -го варіанту. Формула (7) може використовуватися тільки у разі, якщо всі часткові критерії мають числові значення, тобто попередньо необхідно здійснити зважування значень всіх вербальних критеріїв.

**Висновки.** В результаті дослідження визначено перелік поїзних ситуацій, з якими стикається локомотивна бригада. На підставі цих даних визначені групи ситуацій за складністю умов ведення поїзду. Використовуючи наведений підхід можливо найбільш якісно визначити поточний стан системи «локомотивна бригада-поїзд» та підготувати найбільш адекватне керуюче рішення.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Фомин Я. А. Распознавание образов: теория и применения. — 2-е изд. [Текст] / Я. А. Фомин. — М.: ФАЗИС, 2012. — 429 с.
2. Tartakovsky E., Gorobchenko O., Antonovych A. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems[Text] / E. Tartakovsky, O. Gorobchenko, A. Antonovych //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2016. — Т. 5. — №. 3 (83). — С. 4-11.
3. Abril M. A Decision Support System for railway timetabling (MOM): the Spanish case [Text]/ M. Abril, F. Barber, P. Tormos, A. Lova, L. Ingolotti, M. A. Salido. //Computers in Railways X: Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems. — 2006. — Т. 10. — С. 235.
4. Горобченко О. М. Методологія визначення величини параметра складності нештатної ситуації під час ведення поїзда [Текст]/ О. М. Горобченко. //Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. — 2014. — №. 6. — С. 50–58.
5. Местецкий Л. М. Математические методы распознавания образов [Текст] / Л. М. Местецкий. — М.: Ф-т ВМиК МГУ, 2008. — 186 с.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. [Текст] / Т. Саати. — М.: Радио и Связь, 1993. — 278 с.

*Artem Antonovich*

*(Postgraduate Student of Department of Exploitation and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport)*

### IMPROVING THE DEFINITION OF THE IMAGE OF THE TRAIN SITUATION USING THE METHOD OF SAATY.

*In the process of train control driver processes a large amount of operational information. The task of developing the theoretical foundations of pattern recognition train situations is important and requires detailed development. As a result of the analysis of the activities of the driver obtained an indicative list of situations that arise in the management of a locomotive that has twelve items. It build on the hierarchy of train situations and the resultant groups: safe driving mode, driving mode, requiring high attention, dangerous driving mode. All groups of criteria, the actual criteria and options are compared with each other according to the scheme «with each other», the results of the comparison are presented in the form of a matrix of paired comparisons. For each matrix of pairwise comparisons is formed vector of weighting coefficients. With each pairwise comparison matrix obtained separate weight vector – the number of available train situations. The*

*result of multiplying all matrices is a vector (single column matrix) containing the weights of such options. Thus obtained values of weight coefficients of criteria for the three groups and the closing odds. Using this approach, you can most accurately determine the current state of the system «locomotive crews-train» and to prepare the most appropriate control decision.*

*Keywords: decision making, image of the situation, the locomotive, the engineer, intelligent system*

### REFERENCES

1. Fomin Ya. A. (2012) *Raspoznavanie obrazov: teoriya i primeneniya* [Pattern recognition: theory and application]. — 2-nd ed. Moscow, FAZIS publ., 2012. 429 p.
2. Tartakovskiy, E., Gorobchenko, O., & Antonovych, A. (2016). Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3 (83)). 4-11 p.
3. Abril, M., Barber, F., Tormos, P., Lova, A., Ingolotti, L., & Salido, M. A. (2006). A Decision Support System for railway timetabling (MOM): the Spanish case. *Computers in Railways X: Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems*, 10, 235 p.
4. Gorobchenko, O. M. (2014). *Metodologiya viznachennya velichini parametra skladnosti neshtatnoy situatsii pid chas vedennya poyizda* [The methodology for determining the value of the parameter of the complexity of emergency situations during the conduct of the train]. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu im. akad. V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], (6), 50-58.
5. Mestetskiy L. M. (2008) *Matematicheskie metodyi raspoznavaniya obrazov* [Mathematical methods of pattern recognition]. Moscow, F-t VMiK MGU Publ., 186 p.
6. Saaty T. (1993) *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarhiy*. [Decision-making. Method of analysis of hierarchies]. Moscow, Radio i Svyaz Publ., 278 p.