

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.4.053:656.2.071.2

О. М. ГОРОБЧЕНКО^{1*}, А. О. АНТОНОВИЧ²

^{1*}Каф. «Експлуатація і ремонт рухомого складу», Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (050) 972 04 71, ел. пошта superteacher@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9868-3852

²Каф. «Експлуатація і ремонт рухомого складу», Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (093) 025 64 00, ел. пошта artem_antonovich@mail.ru, ORCID 0000-0002-4920-6849

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРА НАПРУЖЕНОСТІ ДІЯЛЬНОСТІ МАШИНІСТА ЛОКОМОТИВА НА ОСНОВІ ЕРГОНОМІЧНОЇ МОДЕЛІ

Мета. Ключовим фактором, що впливає на безпеку руху та якість роботи ергатичної системи «поїзд-машиніст», є напруженість роботи локомотивної бригади. Мета наукової роботи – формалізація показника напруженості діяльності машиніста локомотива. **Методика.** Однією з характеристик напруженості роботи машиніста є різниця між часом, відведеним на виконання завдання, і необхідним часом (зовнішній резерв або дефіцит часу). Визначені множини суттєвих та несуттєвих операцій при керуванні локомотивом у різних поїзних ситуаціях. Використовуючи методи нечіткої логіки, поняття «суттєвість операції керування локомотивом» представлено у вигляді набору лінгвістичних змінних. Для визначення функції приналежності елементів множини «суттєвість операції керування локомотивом» використано метод експертних оцінок. Коефіцієнт часової напруженості представлений у вигляді нечіткого числа L-R-типу. **Результати.** Встановлена величина відносної кількості операцій керування локомотивом згідно розподілу за параметром «суттєвість операції». Для визначення найбільш напруженого режиму роботи машиніста проведено ранжування режимів руху за параметром відносної кількості суттєвих операцій керування. Найбільш важкими режимами є: «перешкода попереду», «рух у несприятливих погодних умовах» та «відправлення зі станції на перегін». **Наукова новизна.** Введення величини «умовна суттєвість виконання операції» дозволило більш якісно описати умови ведення поїзда. В роботі вперше представлено визначення напруженості роботи машиніста локомотива у вигляді унімодального нечіткого числа, що дозволить в подальшому використати методи теорії штучного інтелекту для моделювання діяльності машиніста локомотива та розробки інтелектуальних систем керування. **Практична значимість.** Авторами отримана можливість безпосередньо врахувати такий важливий якісний показник, як «напруженість роботи машиніста» в системах автоведення та контролю безпеки руху. Ранжування поїзних ситуацій та керуючих операцій дозволяє обґрунтувати порядок виконання керуючих дій при удосконаленні алгоритмів роботи систем ведення поїздів.

Ключові слова: ергатична система; напруженість роботи оператора; машиніст локомотива; безпека руху

Вступ

Забезпечення безпеки руху є одним з головних завдань залізничників. В цьому напрямку постійно реалізується велика кількість заходів та виконується багато наукових праць. Резуль-

татом цього стало значне зниження кількості аварій та інцидентів як на вітчизняних, так і на закордонних залізницях. Однак повністю виключити небезпечні та аварійні ситуації поки що не вдалося. Джерелами небезпеки, крім рухомого складу, обладнання та їх технічного

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

стану залишається також людський фактор. Так за даними [12] на залізницях Євросоюзу тільки за 2014–2015 рік загинуло або серйозно травмовано більше двох тисяч людей. Значна доля транспортних подій пов'язана з неналежним виконанням працівниками своїх обов'язків. Зокрема за даними Укрзалізниці [10] із загальної кількості транспортних подій, 471 випадок (або 70 %) пов'язані з впливом «людського» чинника. За порушення вимог нормативних документів з питань безпеки руху за 2014 рік було притягнуто до відповідальності 2 709 працівників, із них звільнено з займаних посад – 49. Ефективним шляхом покращення безпеки та якості перевезень, з одного боку, є розробка рухомого складу з покращеними характеристиками [1], а з іншого – впровадження автоматизованих систем керування рухом, що реалізовано зокрема фірмами Bombardier [9] та Alstom [8]. Але частина з цих випадків пов'язана із значним психофізіологічним навантаженням, яке відчувають в процесі роботи працівники залізничного транспорту, що керують та організують рух поїздів [2, 4]. Оцінка та пошук шляхів зниження цього навантаження є пріоритетним завданням, що дозволить значно скоротити вплив людського фактора на безпеку руху.

Мета

Одним з ключових факторів, що впливає на безпеку руху та на якість роботи ергатичної системи «поїзд-машиніст», є напруженість роботи локомотивної бригади [3]. Мета цієї роботи: мета формалізувати показник напруженості діяльності машиніста локомотива. Для досягнення її мети існує кілька методів аналізу діяльності людини: узагальнено-структурний, операційно-психологічний, метод статистичного еталона, логіко-інформаційний і т. д. [5, 13]. Використовуються також три типи моделей поведінки людини: когнітивні моделі, моделі теорії управління, мережеві моделі задач. Використаємо один з можливих аналітичних методів – метод математичного моделювання діяльності [7]. В основу такого моделювання в цій роботі покладена ідея використання методу експертних оцінок [11] та елементів методу Монте-Карло для імітації імовірно-часових характеристик діяльності операторів.

Методика

У загальному випадку час виконання окремої операції складається з двох складових:

$$T_i = T_{io.d.} + T_{ip},$$

де $T_{io.d.}$ – час основної діяльності оператора всередині i -ої операції; T_{ip} – час резерву всередині i -ої операції.

Час резерву T_{ip} не є показником індивідуальних якостей машиніста і характеризує конкретну технічну реалізацію системи «людина – машина», виробничу обстановку в зоні виконання роботи і т. д. Тому можна вважати, що $T_{ip} = \text{const}$ для кожної i -ої операції. Час основної діяльності $T_{io.d.}$, навпаки, характеризує індивідуальні якості операторів, ступінь їх обізнаності і т. д. і розподілений за скороченим нормальним законом. Весь вибір операцій ранжується на операції суттєві і несуттєві. Суттєва операція – операція, недодержання якої призводить до зриву всього завдання. Операція, невиконання або пропуск якої не призводить до зриву завдання, а лише погіршує кінцевий ефект, наприклад точність, називається несуттєвою. Різниця між часом, відведеним на виконання завдання, і необхідним – зовнішній резерв або дефіцит часу. Сумарний час всіх несуттєвих операцій є внутрішнім резервом. При дефіциті часу машиніст може жертвувати найближчими, у порядку слідування, несуттєвими операціями. Якщо згаяний час надолужується, машиніст приступає до виконання всіх наступних операцій без винятку.

Необхідно визначити множини суттєвих та несуттєвих операцій при керуванні локомотивом. Позначимо X <операція керування> як множину всіх операцій керування локомотивом. З досвіду експлуатації локомотивів машиніст виконує під час керування поїздом такі основні операції (для керування тепловозом): x_1 – переведення штурвалу контролера на вищу позицію; x_2 – переведення штурвалу контролера на нижчу позицію; x_3 – переведення штурвалу контролера на нульову позицію; x_4 – переведення крана машиніста в положення «Службове гальмування»; x_5 – переведення крана машиніста в по-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ложення «Екстрене гальмування»; x_6 – переведення крана машиніста в положення «Перекрывання гальмівної магістралі з живленням»; x_7 – переведення крана машиніста в поїзне положення; x_8 – переведення крана машиніста в положення «Відпуск гальм»; x_9 – подавання піску під колісні пари локомотива; x_{10} – подавання сигналу; x_{11} – не виконання ніяких дій.

З розглянутого переліку операцій видно, що неможливо однозначно визначити деякі операції як «суттєві» або «несуттєві». Наприклад «переведення штурвалу контролера на вищу позицію» в умовах, коли локомотив іде з поїздом зі швидкістю значно більшою, ніж розрахункову (на 20 км/год і більше), попереду легкий профіль колії без великих спусків та підйомів, машиніст знає, що наступні дві блокділянки вільні – в цій ситуації переведення контролера на вищу позицію є операцією, що можна виконати негайно, або відкласти її виконання на деякий час (на розсуд машиніста). І яке б рішення не прийняв машиніст, це не вплине суттєво на безпеку руху та на витрату пального за поїздку.

Але розглянемо іншу поїзну ситуацію. Локомотив веде поїзд максимальної маси зі швидкістю, близькій до розрахункової, попереду розташований так званий «кінетичний підйом» (що проходиться поїздом за рахунок запасу кінетичної енергії, що забезпечується підвищеною швидкістю). В цьому випадку операція «переведення штурвалу контролера на вищу позицію» є критично важливою, тому що при невиконанні її (можливо декілька разів підряд) поїзд не набере потрібної швидкості для подолання підйому, що попереду, і може виникнути транспортна подія: зупинка поїзда на перегоні. Крім того можливий вихід з ладу або пошкодження тягових електродвигунів в результаті перегрівання.

Отже, робимо висновок, що ступінь суттєвості операцій з керування локомотивом залежить від деяких умов ведення поїзда. Це викликає необхідність розробки теоретичного обґрунтування поняття суттєвості операцій з керування локомотивом.

Використовуючи методи нечіткої логіки, подамо поняття «суттєвість операції керування локомотивом» як набір лінгвістичних змінних (табл. 1).

Таблиця 1

Значення множини Z <суттєвість операції керування локомотивом>

Table 1

The value of the set Z <importance of locomotive management operation>

Позначення елемента множини	Значення елемента множини
z_1	«Суттєва»
z_2	«Умовно суттєва»
z_3	«Несуттєва»

Таблиця 2

Значення множини C <поїзна ситуація>

Table 2

The value of set C <a train situation>

Позначення елемента множини	Значення елемента множини
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»

Значення z_2 = «умовно суттєва» трактується як така операція керування, що в даний момент часу не є суттєвою, але при зміні поїзної обстановки вона стає достовірно суттєвою. Проміжне значення z_2 введено для більшої гнучкості використання множини Z . Також потрібно ввести нову множину C <поїзна ситуація>, що ха-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

рактизує поточну ситуацію, в якій машиніст приймає рішення на виконання тієї або іншої операції керування. В результаті аналізу умов роботи локомотивних бригад повна множина C представлена в табл. 2.

Для визначення функції приналежності елементів множини Z використано метод експертних оцінок. Опитування виконане серед 56 машиністів локомотива. Для опитування підгото-

влені таблиці. Завданням машиністів, що виступали як експерти, було оцінити кожен елемент множини X за ступенем її впливу на результат керування в заданій поїзній ситуації з множини C . Потрібно було позначити тільки один елемент множини Z для кожного елемента множини X . Зведені результати дослідження для перших чотирьох ситуацій наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Зведена таблиця результатів експертного оцінювання

Table 3

Summary of expert evaluation results

Операції керування локомотивом для C_1 = «Відправлення зі станції на перегон»											
Z	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
z_1	55	54	54	42	56	56	56	56	50	45	50
z_2	1	2	2	13					6	11	4
z_3				1							2
Операції керування локомотивом для C_2 = «Рух під зелений на підйом»											
Z	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
z_1	42	40	55	55	56	56	55	55	1		
z_2	12	15	1	1			1	1	14	21	2
z_3	2	1							41	35	54
Операції керування локомотивом для C_3 = «Рух під зелений на спуск»											
Z	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
z_1	2	1	4	56	56	56	56	50			2
z_2	1	1	48					6	13	10	5
z_3	53	54	4						43	46	49
Операції керування локомотивом для C_4 = «Рух під жовтий на підйом»											
Z	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
z_1	51	52	55	56	56	56	55	55			52
z_2	5	4	1				1	1	3	47	4
z_3									53	9	

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Повертаючись до моделювання діяльності машиніста для кожної операції, визначається коефіцієнт часової напруженості. В [5] цей коефіцієнт виражається як

$$S_{ij} = \frac{\sum_{l=i+1}^n T_{ij} |B_l = 1}{T_u - T_{i\text{затр}}}, \quad (1)$$

де S_{ij} – коефіцієнт часової напруженості i -ї операції j -ї реалізації; $\sum_{l=i+1}^n T_{ij} |B_l = 1$ – час, необхідний на виконання решти (після i -ої) суттєвих операцій; B_l – індекс суттєвості ($B = 1$ – операція суттєва; $B = 0$ – несуттєва); T_u – час, відведений на виконання всього завдання (час циклу); $T_{i\text{затр}}$ – реально витрачений час на виконання операцій до $(i+1)$ -ої в j -й реалізації; n – загальна кількість операцій у даній задачі; i – змінна номера операції, що моделюється; j – номер реалізації алгоритму.

Для діяльності машиніста локомотива вище обґрунтовано введення в індекс суттєвості B_l ($B_l = 1$ операція суттєва; $B_l = 0$ – несуттєва) проміжної величини $B = 0,5$ – операція умовно суттєва. Використовуючи позначення, прийняті в описі керування поїздом, на підставі виразу (1) запишемо вираз

$$S_{x_i c_j} = \frac{\sum_{l=x_i+1}^n T_{x_i c_j} |B_l = 1}{T_u - T_{x_i \text{затр}}} + \frac{\sum_{l=x_i+1}^n T_{x_i c_j} |B_l = 0,5}{T_u - T_{x_i \text{затр}}}, \quad (2)$$

де $S_{x_i c_j}$ – коефіцієнт часової напруженості x_i -ї операції в c_j -у режимі руху; $\sum_{l=x_i+1}^n T_{x_i c_j} |B_l = 1$ – час, необхідний на виконання решти (після x_i -ої) суттєвих операцій; $\sum_{l=x_i+1}^n T_{x_i c_j} |B_l = 0,5$ – час, необхідний на виконання решти (після x_i -ої) умовно суттєвих операцій; B_l – індекс суттєвості ($B_l = 1$ операція суттєва; $B_l = 0,5$ – операція умовно суттєва; $B_l = 0$ – несуттєва); T_u – час, відведений на виконання всього завдання

(час циклу); $T_{x_i \text{затр}}$ – реально витрачений час на виконання операцій до x_{i+1} -ої в режимі руху c_j ; j – змінна номера режиму руху поїзда.

Розглядаючи процес виконання операцій машиністом локомотива, можна зробити висновок, що час $T_{x_i c_j}$ виконання операції x_i в режимі руху c_j є величиною індивідуальною для кожної людини. Залежить від таких факторів, як психофізіологічний стан людини, стан оточуючого середовища, якість навчання, умови ведення поїзда та ін. Це робить визначення точної величини $T_{x_i c_j}$ дуже складним завданням. Тому пропонується розглядати $T_{x_i c_j}$ як нечітку величину, що дозволить врахувати низку наведених невизначеностей.

Виходячи з сутності величини часу виконання операції x_i в режимі руху c_j $T_{x_i c_j}$, подано її у вигляді унімодального нечіткого числа L - R -типу: $T_{x_i c_j} (t_{x_i c_j}, \alpha_t, \beta_t)$, де $t_{x_i c_j}$ – мода нечіткого числа «час виконання операції», $\alpha_t > 0$, $\beta_t > 0$ – лівий та правий коефіцієнти нечіткості величини $T_{x_i c_j}$. Тоді вираз (2) матиме такий вигляд

$$S_{x_i c_j} = \frac{\sum_{l=x_i+1}^n (t_{x_i c_j}, \alpha_t, \beta_t) |B_l = 1}{T_u - T_{x_i \text{затр}}} + \frac{\sum_{l=x_i+1}^n (t_{x_i c_j}, \alpha_t, \beta_t) |B_l = 0,5}{T_u - T_{x_i \text{затр}}}.$$

Таким чином, коефіцієнт часової напруженості також перетворюється в нечітке число L - R -типу. Опускаючи відомі перетворення [6], запишемо остаточний результат визначення $S_{x_i c_j}$ у нечіткій формі

$$(S_{x_i c_j}, \alpha_s, \beta_s) = \frac{\sum_{l=x_i+1}^n (t_{x_i c_j}, \alpha_t, \beta_t) |B_l = 1}{T_u - T_{x_i \text{затр}}} + \frac{\sum_{l=x_i+1}^n (t_{x_i c_j}, \alpha_t, \beta_t) |B_l = 0,5}{T_u - T_{x_i \text{затр}}},$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

$$\alpha_s = \sum_{l=x_{i+1}}^n \alpha_{li} |B_1 = 1 + \sum_{l=x_{i+1}}^n \alpha_{li} |B_1 = 0,5,$$

$$\beta_s = \sum_{l=x_{i+1}}^n \beta_{li} |B_1 = 1 + \sum_{l=x_{i+1}}^n \beta_{li} |B_1 = 0,5.$$

де α, β – лівий та правий коефіцієнти нечіткості відповідних нечітких величин; T_u – час, відведений на виконання всього завдання (час циклу); B_1 – індекс суттєвості операції.

Результати

Використання методу експертних оцінок дозволило встановити, що відносна кількість операцій керування локомотивом згідно з розподілом за параметром Z складає – $z_1=76\%$, $z_2=11\%$, $z_3=13\%$.

Для визначення найбільш напруженого режиму роботи машиніста проведемо ранжування режимів руху C за параметром відносної кількості суттєвих операцій керування (рис. 1). Найбільш важкими режимами є c_{11} = «Перешкода попереду», c_{10} = «Рух у несприятливих погодних умовах» та c_1 = «Відправлення зі станції на перегін».

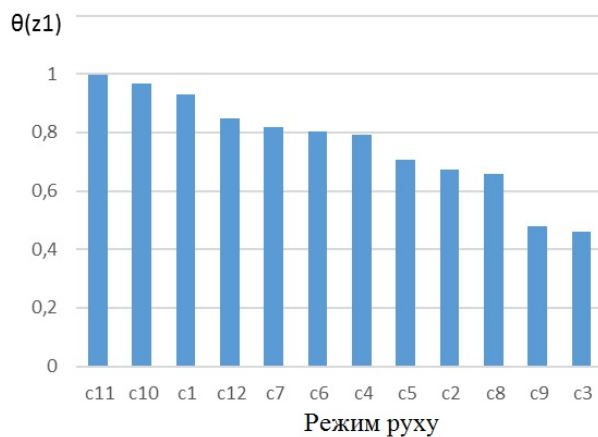


Рис. 1. Ранжування режимів руху за показником $z_1 \in Z$

Fig. 1. Ranking of movement modes according to index $z_1 \in Z$

Для визначення найбільш суттєвих керуючих операцій проведемо ранжування їх за показником відносної кількості z_1 «суттєва» (рис. 2).

Таким чином можна сказати, що всі операції з керування гальмами є найбільш суттєвими у порівнянні з іншими для всіх режимів ведення поїзда.

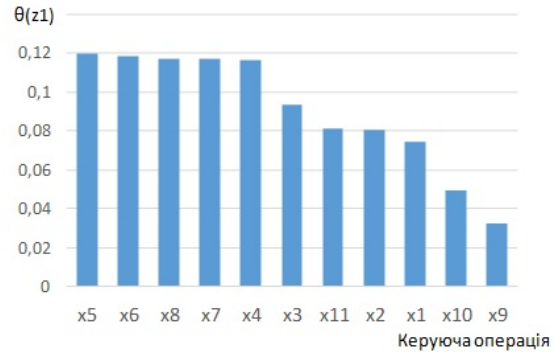


Рис. 2. Ранжування керуючих операцій за показником $z_1 \in Z$

Fig. 2. Ranking of control operations according to index $z_1 \in Z$

Також до результатів дослідження належить розроблена форма представлення параметра напруженості роботи машиніста локомотива, що залежить від нечітких параметрів часу на виконання суттєвих та умовно суттєвих операцій керування поїздом.

Наукова новизна та практична значимість

Введення величини «умовна суттєвість виконання операції» дозволило більш якісно описати умови ведення поїзда. В роботі вперше наведено визначення напруженості роботи машиніста локомотива у вигляді унімодального нечіткого числа, що дозволить в подальшому використати методи теорії штучного інтелекту для моделювання діяльності машиніста локомотива та розробки інтелектуальних систем керування. Практична значущість отриманих результатів полягає у можливості безпосередньо врахувати такий важливий якісний показник, як «напруженість роботи машиніста» в системах автоведення та контролю безпеки руху. Ранжування поїзних ситуацій та керуючих операцій дозволяє обґрунтувати порядок виконання керуючих дій при удосконаленні алгоритмів роботи систем ведення поїздів.

Висновки

1. На основі методу експертних оцінок розроблено порядок визначення напруженості роботи машиніста в тій чи іншій ситуації. Визначено форму здобуття знань у вигляді таблиці з даними про поїзні ситуації та суттєвість керуючих рішень.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

2. Аналіз роботи машиністів локомотива дозволив визначити перелік основних ситуацій при керуванні локомотивом. Ранжування їх за показником суттєвості керуючих операцій дозволило обґрунтувати та визначити найбільш небезпечні ситуації, в яких переважна більшість керуючих рішень є суттєвими. До таких ситуацій віднесено «Перешкода попереду», «Рух у несприятливих погодних умовах», «Відправлення зі станції на перегон».

3. Введення величини «умовна суттєвість виконання операції» дозволило більш якісно описати умови та врахувати відмінності процесу керування поїздом від керуючих процесів в інших галузях. В подальшому можливо величину «умовна суттєвість виконання операції»

деталізувати та розбити на декілька градацій, що дозволить більш якісно спрогнозувати наслідки рішень з керування поїздом (рішення, що прийняті людиною, або інтелектуальною системою). Але це потребує виконання додаткових досліджень роботи локомотивних бригад.

4. Інтелектуалізація керуючих процесів в різних галузях потребує розробляти нові підходи до інтерпретації вхідних параметрів. В роботі вперше наведено визначення напруженості роботи машиніста локомотива у вигляді унімодального нечіткого числа, що дозволить в подальшому використати методи теорії штучного інтелекту для моделювання діяльності машиніста локомотива та розробки інтелектуальних систем керування поїздом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства та аварійності на транспорті в Україні за 2014 рік / М. Горбаха, В. Коськовецький, Д. Міков [та ін.]. – Київ : М-во інфраструктури України, 2015. – 124 с.
2. Горобченко, А. Н. Методология определения величины параметра сложности нештатной ситуации во время ведения поезда / А. Н. Горобченко // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 6 (54). – С. 50–58. doi: 10.15802/stp2014/33077.
3. Дружинин, Г. В. Учет свойств человека в моделях технологий / Г. В. Дружинин. – Москва : Наука/Интерпериодика, 2000. – 327 с.
4. Каменев, О. Ю. Проблематика підходів до дослідження безпеки використання ергатичних систем керування на залізничному транспорті / О. Ю. Каменев // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 2 (44). – С. 7–16. doi: 10.15802/stp2013/12249.
5. Мунипов, В. М. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды / В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. – Москва : Логос, 2001. – 356 с.
6. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы : [пер. с пол. И. Д. Рудинского] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2006. – 452 с.
7. Эргономика: принципы и рекомендации / под ред. В. М. Мунипова. – 2-е изд, перераб. – Москва : Всесоюз. науч.-исслед. ин-т техн. эстетики, 1983. – 184 с.
8. Alstom to supply automatic train control system to Santiago de Chile metro's line 1 [Електронний ресурс] // ALSTOM. – 2010. – Режим доступу: <http://www.alstom.com/press-centre/2010/1/Alstom-to-supply-automatic-train-control-system-to-Santiago-de-Chile-metros-line-1-20100120>. – Назва з екрана. – Перевірено : 20.01.2017.
9. A new generation for driverless automated transit systems [Електронний ресурс] // Bombardier Inc. – 2016. – Режим доступу: <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-control-solutions/mass-transit-solutions/cityflo-650.html>. – Назва з екрана. – Перевірено : 20.01.2017.
10. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars / O. V. Fomin / Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – No. 5. – P. 31–43.
11. Hettiarachchi, C. Risk-based test case prioritization using a fuzzy expert system / C. Hettiarachchi, H. Do, B. Choi // Information and Software Technology. – 2016. – Vol. 69. – P. 1–15. doi: 10.1016/j.infsof.2015.08.008.
12. Railway safety statistics [Електронний ресурс] // Eurostat. Statistics Explained. – 2015. – Режим доступу: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Railway_safety_statistics. – Назва з екрана. – Перевірено : 20.01.2017.
13. Vdovina, T. An a priori error analysis of operator upscaling for the acoustic wave equation / T. Vdovina, S. E. Minkoff // Intern. J. of Numerical Analysis and Modeling. Institute for Scientific Computing and Information. – 2008. – Vol. 5. – P. 543–569.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

А. Н. ГОРОБЧЕНКО^{1*}, А. О. АНТОНОВИЧ²

^{1*}Каф. «Експлуатація і ремонт подвижного складу», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (050) 972 04 71, ел. пошта superteacher@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9868-3852

²Каф. «Експлуатація і ремонт подвижного складу», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (093) 025 64 00, ел. пошта artem_antonovich@mail.ru, ORCID 0000-0002-4920-6849

ФОРМАЛИЗАЦІЯ ПАРАМЕТРА НАПРЯЖЕНОСТІ ДІЯЛЬНОСТІ МАШИНИСТА ЛОКОМОТИВА НА ОСНОВЕ ЕРГОНОМІЧЕСЬКОЇ МОДЕЛІ

Цель. Ключевым фактором, влияющим на безопасность движения и качество работы эргатической системы «поезд-машинист», является напряженность работы локомотивной бригады. Цель работы – формализация показателя напряженности деятельности машиниста локомотива. **Методика.** Одной из характеристик напряженности работы машиниста является разница между временем, отведенным на выполнение задания, и необходимым временем (внешний резерв или дефицит времени). Определены множества существенных и несущественных операций при управлении локомотивом в различных поездных ситуациях. Используя методы нечеткой логики, понятие «существенность операции управления локомотивом» представлено в виде набора лингвистических переменных. Для определения функции принадлежности элементов множества «существенность операции управления локомотивом» использован метод экспертных оценок. Коэффициент временной напряженности представлен в виде нечеткого числа L-R-типа. **Результаты.** Установлена величина относительного количества операций управления локомотивом согласно распределению по параметру «существенность операции». Для определения наиболее напряженного режима работы машиниста проведено ранжирование режимов движения по параметру относительного количества существенных операций управления. Наиболее тяжелыми режимами являются «помеха спереди», «движение в неблагоприятных погодных условиях» и «отправление со станции на перегон». **Научная новизна.** Введение величины «условная существенность выполнения операции» позволило более качественно описать условия ведения поезда. В работе впервые представлено определение напряженности работы машиниста локомотива в виде унимодального нечеткого числа, что позволит в дальнейшем использовать методы теории искусственного интеллекта для моделирования деятельности машиниста локомотива и разработки интеллектуальных систем управления. **Практическая значимость.** Получена возможность непосредственно учесть такой важный качественный показатель, как «напряженность работы машиниста» в системах автоведения и контроля безопасности движения. Ранжирование поездных ситуаций и управляющих операций позволяет обосновать порядок выполнения управляющих действий при совершенствовании алгоритмов работы систем ведения поездов.

Ключевые слова: эргатическая система; напряженность работы оператора; машинист локомотива; безопасность движения

О. М. ГОРОВЧЕНКО^{1*}, А. О. АНТОНОВИЧ²

^{1*}Dep. «Maintenance and Repair of Rolling Stock», Ukraine State University of Railway Transport, Feierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (050) 972 04 71, e-mail superteacher@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9868-3852

²Dep. «Maintenance and Repair of Rolling Stock», Ukraine State University of Railway Transport, Feierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (093) 025 64 00, e-mail artem_antonovich@mail.ru, ORCID 0000-0002-4920-6849

FORMALIZATION OF LOCOMOTIVE DRIVER ACTIVITY TENSION INDICATOR BASED ON THE ERGONOMIC MODEL

Purpose. A key factor contributing to the safety and quality of ergatic system "train-driver" is the intensity of the locomotive crew's work. The aim of this work is formalization of locomotive driver activity tension indicator. **Methodology.** One of the characteristics of driver activity tension is the difference between the time allotted to complete the task, and the necessary (external reserve or deficiency time). The sets of major and minor operations in the management of the train locomotive in different train situations were identified. Using the methods of fuzzy logic, the concept of "materiality of the operation of the locomotive control" is presented in the form of a set of linguistic vari-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ables. To determine the function membership of the elements of the set "the importance of the operation of the locomotive control" the method of expert evaluations was used. Coefficient of temporary tension is presented in the form of fuzzy number L-R-type. **Findings.** It was found the value of the relative number of operations of locomotive control according to the distribution using the parameter of operation "importance". To determine the most tensioned mode of the driver ranking the traffic condition according to the parameter of relative amounts of the important management operations was conducted. The most difficult modes are the "front hindrance", "movement in unfavorable weather conditions" and "departure from the station to the running line". **Originality.** The introduction of the value "conventional importance of the operation" allowed us to more accurately describe the terms of train driving. For the first time the work presents determination of tension of the driver's work in the form of a unimodal fuzzy number, which will make it possible to use the methods of the theory of artificial intelligence to simulate activity of the locomotive driver and develop intelligent control systems. **Practical value.** There were obtained the opportunity to consider such an important quality indicator, as "the tension of the driver's work" in systems of automatic train control and traffic safety. Ranking the onboard situations and control operations enables us to justify the order of management action for the improvement of the algorithms of system operation of train driving.

Keywords: ergatic system; intensity of the operator; locomotive engineer; traffic safety

REFERENCES

1. Horbakha, M., Koskovetskiy, V., Mikov, D., Sulytska, I., Salamatnikova, D., & Tyshchenko, O. (2015). *Analiz stanu bezpeky rukhu, polotiv, sudnoplavstva ta avariinosti na transporti v Ukraini za 2014 rik*. Kyiv, Ministry of Infrastructure of Ukraine.
2. Gorobchenko, O. M. (2014). Methodology for determining the value of complexity parameter for emergency situation during driving of the train. *Science and Transport Progress*, 6(54), 50-58, doi: 10.15802/stp2014/33077
3. Druzhinin, G. V. (2000). *Uchet svoystv cheloveka v modelyakh tekhnologiy*. Moscow: Nauka, Interperiodica.
4. Kamenyev, O. Y. (2013). Problematics of approaches to research of the use safety of ergatic control systems on railway transport. *Science and Transport Progress*, 2(44), 7-16. doi: 10.15802/stp2013/12249
5. Munipov, V. M., & Zinchenko, V. P. (2001). *Ergonomika: chelovekoorientirovannoye proyektirovaniye tekhniki, programmnykh sredstv i sredy*. Moscow: Logos.
6. Rutkovskaya, D., Pilinskiy, M., & Rutkovskiy, L. (2006). *Neyronnyye seti, geneticheskiye algoritmy i nechetkiye sistemy* (I. D. Rudinskiy, Trans.). Moscow: Hot line-Telecom.
7. Munipov, V. M. (Ed.). (1983). *Ergonomika: printsipy i rekomendatsii* (2nd ed.). Moscow: All-Union scientific research Institute of technical aesthetics.
8. *Alstom: Alstom to supply automatic train control system to Santiago de Chile metro's line 1*. (2012, January 20). Retrieved from <http://www.alstom.com/press-centre/2010/1/Alstom-to-supply-automatic-train-control-system-to-Santiago-de-Chile-metros-line-1-20100120>
9. *Bombardier: CITYFLO 650: A new generation for automated driverless transit systems*. (n.d.). Retrieved from <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-control-solutions/mass-transit-solutions/cityflo-650.html>
10. Fomin, O. (2014). Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars. *Metallurgical and Mining Industry*, 5, 31-43.
11. Hettiarachchi, C., Do, H., & Choi, B. (2016). Risk-based test case prioritization using a fuzzy expert system. *Information and Software Technology*, 69, 1-15. doi: 10.1016/j.infsof.2015.08.008
12. *Eurostat. Statistics Explained: Railway safety statistics*. (2015). Retrieved from http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Railwaysafety_statistics
13. Vdovina, T., & Minkoff, S. E. (2008). An a priori error analysis of operator upscaling for the acoustic wave equation. *International Journal of Numerical Analysis and Modeling*, 5(4), 543-569.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Г. Пузирем (Україна); д.т.н., проф. Б. С. Боднарем (Україна)

Надійшла до редколегії: 10.10.2016

Прийнята до друку: 12.01.2017