

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.4.053

О. М. ГОРОБЧЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Експлуатація і ремонт рухомого складу», Українська державна академія залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61500, тел. +38 (063) 580 27 13, ел. пошта superteacher@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9868-3852

МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПАРАМЕТРА СКЛАДНОСТІ НЕШТАТНОЇ СИТУАЦІЇ ПІД ЧАС ВЕДЕННЯ ПОЇЗДА

Мета. При розробці інтелектуальних систем керування локомотивом постає необхідність в оцінці поточної поїзної ситуації з точки зору безпеки руху. Для того, щоб оцінити ймовірність розвитку різних нештатних ситуацій в транспортні події, необхідно визначити їх складність. Метою статті є розробка методології визначення складності нештатних ситуацій при керуванні локомотивом. **Методика.** Для досягнення поставленої мети накопичено статистичний матеріал порушень безпеки руху; причини порушень розділені на групи: технічний фактор, людський фактор та зовнішні впливи. За допомогою теорії гібридних мереж отримана модель, яка на виході дає параметр складності нештатної ситуації. Тип мережі: багатoshаровий персеPTRон із гібридними нейронами першого шару та сигмоїдною функцією активації. З використанням методів теорії ймовірності проведено аналіз отриманих результатів. **Результати.** Розроблено підхід до формалізації виробничих ситуацій, які можуть бути описані тільки лінгвістично, що дозволило використати їх в якості вхідних даних моделі нештатної ситуації. Встановлено та обґрунтовано, що показник складності нештатної ситуації при веденні поїзду є величиною випадковою й підпорядковується нормальному закону розподілення. Отримано графік інтегральної функції розподілення, на якому визначені зони безпечної роботи та підвищеної небезпеки виникнення транспортної події. **Наукова новизна.** Запропоновано теоретичне підґрунтя визначення складності нештатних ситуацій в поїзній роботі, отримано максимальне значення параметру складності нештатної ситуації, що може бути допущено в умовах експлуатації. **Практична значимість.** Постійний моніторинг цієї величини дозволяє вчасно реагувати на загрозу виникнення небезпеки, а отримання її в чисельній формі – використовувати як один із вхідних параметрів для роботи інтелектуальної системи керування локомотивом, на підставі якого буде прийматися рішення про подальші керуючі дії.

Ключові слова: безпека руху; нештатна ситуація; локомотивна бригада; інтелектуальна система

Вступ

Постановка проблеми. Для впровадження інтелектуальних систем керування (ІСК) рухомих складом необхідно формалізувати процес оцінювання машиністом локомотива поточної поїзної ситуації з точки зору безпеки. Тоді система буде повною і зможе взяти на себе функцію оперативного моніторингу безпеки під час поїздки. Складність тут полягає в тому, що локомотивна бригада в своїх судженнях спирається не на цифри та формули, а на суб'єктивний досвід та знання.

Аналіз досліджень та публікацій. Безпека руху та надійність ергатичних систем на транспорті є предметом постійного вивчення і досліджень [2, 5, 9]. ІСК все більше використовуються і поширюються в технічних системах та при керуванні складними технічними об'єктами [4, 6]. На залізничному транспорті вони також мають свої перспективи впровадження [12, 13]. Теоретична база для цього постійно поглиблюється, зокрема формалізована за допомогою гібридних мереж задача визначення складності нештатних ситуацій, що виникають під час керування локомотивом [3].

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Мета

Для практичного застосування в системах інтелектуального керування локомотивами блоків оцінювання складності поточної нештатної ситуації (НС) потрібно формалізувати і визначити величину цього параметра. Важливим завданням також є обґрунтування його граничного значення, при якому складність НС потрібно вважати небезпечною і застосовувати необхідні заходи запобігання можливої небезпеки.

Методика

Методологія оцінювання складності НС при керуванні локомотивом розроблена з використанням обставин реальних випадків порушення безпеки руху. Як приклад використання запропонованої моделі оцінимо складність нештатної ситуації, що сталася 9 червня 2008 року. Під час виконання маневрової роботи по станції Тернопіль-Вантажний [1] тепловозом 2М62-0765 допущено зіткнення з краном колійного укладчика УК-25. В результаті зіткнення смертельно травмовано електрогазозварювальника, пошкоджений рухомий склад. Машиніст отримав команду ДСП: з 31-ї колії заїхати за маневровий світлофор М12 і чекати команду подальших маневрових пересувань. Локомотивна бригада за 2,5 хв змінила кабінку управління і при прямуванні по 31-ї колії за 150 м до сигналу Н31 з білим вогнем при швидкості 30 км/год машиніст застосував гальмування краном допоміжного гальма з наповненням гальмових циліндрів до 2,8 кг/см², швидкість зменшилась повільно з причини роз'єднання міжсекційних рукавів системи допоміжного гальма. При подальшому прямуванні по ухилу 0,005 за 50 м до вагонів застосовано екстрене гальмування, але зіткненню машиніст не запобіг. Машиністом допущені такі порушення: вимоги п. 12.4 ПТЕ, Інструкції № ЦТ-0056 в частині приймання тепловоза в локомотивному депо щодо перевірки його технічного стану; вимоги п. 1.37.7 Наказу № 555/Н-2007 щодо переключення червоного вогню на білий вогонь локомотивного світлофора після прослідкування світлофора Н-31 та слідування із швидкістю 30 км/год при допустимій не більше 20 км/год; вимоги розділу 4 Інструкції № ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 щодо виконання порядку зміни кабіни керування тепловозом: протягом трьох

хвилин локомотивною бригадою здійснена дворазова зміна кабіни управління, що унеможливило виконання встановленого порядку; вимоги п. 4.4 № ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015: після зміни кабіни управління та приведення в рух локомотива і слідуванні по 31-й колії локомотивна бригада не перевірила дію допоміжного гальма при швидкості руху 3–5 км/год до отримання початкового гальмівного ефекту; не застосування усіх засобів екстреної зупинки (контраструм).

Транспортною подією, що описується вище, є зіткнення. Цьому передувала нештатна ситуація, в якій опинилась локомотивна бригада – неможливість зупинити локомотив.

Моделювання виникнення НС виконано за допомогою гібридної мережі, що являє собою багатошаровий перцептрон (рис. 1) [3, 11].

Визначимо в цій ситуації сигнали, що повинні бути подані на нейрон ЛФ (людський фактор): 1 – порушення порядку перевірки технічного стану при прийманні тепловозу в депо; 2 – перевищення швидкості; 3 – порушення порядку зміни кабіни керування; 4 – незастосування усіх засобів екстреної зупинки.

Сигнал, що повинен бути поданий на нейрон ТФ (технічний фактор): 1 – роз'єднання міжсекційних рукавів системи допоміжного гальма.

Сигнал, що повинен бути поданий на нейрон ЗФ (зовнішній фактор): 1 – прямування по ухилу 0,005.

Тепер потрібно визначити вагу сигналів (w_i), що є характеристичними функціями сигналів на вході. При цьому будемо користуватися нечіткими і лінгвістичними змінними.

Формалізація описання виразу «порушення порядку приймання тепловозу в депо» може бути проведена за допомогою наступної нечіткої змінної (α , X, A) [10], де α – перевірка технічного стану при прийманні локомотива виконана в повному обсязі; X = [0, 19]. Саме такий інтервал обраний на підставі Інструкції з технічного обслуговування електровозів і тепловозів в експлуатації № ЦТ-0056. В ній передбачено перелік операцій, що повинна виконати локомотивна бригада при прийманні локомотива, в кількості 19 найменувань (п. 2.2.2); A – нечітка множина на X, що описує характеристичну функцію $\mu_A(x)$ [7].

Вигляд функції приналежності $\mu_A(x)$ наведений на рис. 2.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

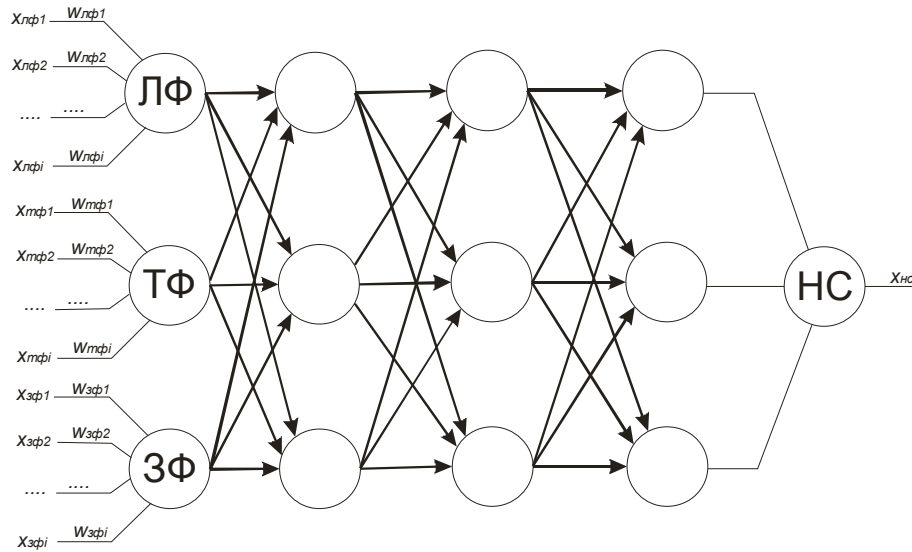
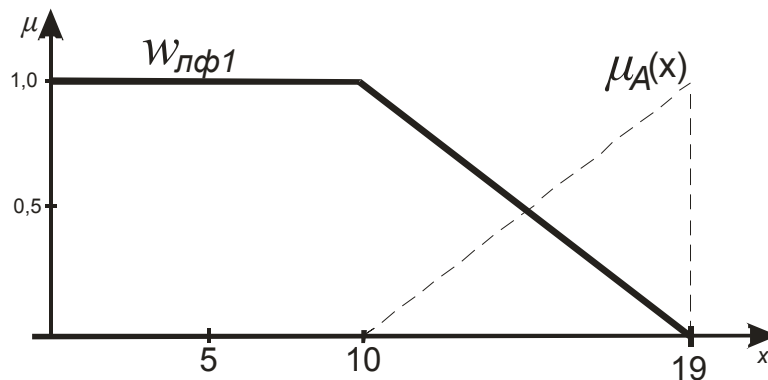


Рис. 1. Модель виникнення нештатної ситуації з багат шаровим перцептроном

Fig. 1. The model of the unforeseen situation with multilayer perceptron

Рис. 2. Залежність ваги $w_{лф1}$ сигналу $x_{лф1}$ = «порушення порядку перевірки технічного стану при прийманні тепловоза в депо» від фактичного обсягу перевіркиFig. 2. The dependence of the weight $w_{лф1}$ signal $x_{лф1}$ = «the violation of the checking procedure for the technical condition of the locomotive depot acceptance» from the actual verification volume

Для випадку, що розглядається, можна впевнено сказати, що перевірка технічного стану локомотива була виконана в значно скороченому обсязі, тобто можна припустити, що $X \ll 10$. Відповідно вага цього сигналу $w_{лф1} = 1$.

Аналогічним чином визначається вага сигналів, що наведені вище. Тоді множина ваги людського фактора:

$$W_{лф} = (w_{лф1}, w_{лф2}, w_{лф3}, w_{лф4}) = (1, 1, 0.3, 0.4);$$

множина ваги технічного фактора:

$$W_{тф} = (w_{тф1}) = (1);$$

множина ваги зовнішнього фактора:

$$W_{зф} = (w_{зф1}) = (0, 4).$$

Окремо потрібно сказати про присвоєння фактора «роз'єднання міжсекційних рукавів системи допоміжного гальма» ваги 1. Априорна інформація при її визначенні така: справність гальмівної системи поїзда (локомотива) є одним з вирішальних факторів безпеки руху. Цей фактор розглядався як складова частина термножини «Несправності гальмівного повітропроводу локомотива», до якої належать такі терми: «Відсутня витока повітря», «Незначна витока повітря» і так далі до крайнього випадку «Розрив ГМ». Навіть якщо б фактор характеризувався термом «Незначна витока повітря», то

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

і в цьому випадку вагу $w_{\text{тф1}}$ потрібно було б призначати не нижче 0,8 з огляду на значущість фактора. Тому цілком природно, що фактор «роз'єднання міжсекційних рукавів системи допоміжного гальма» отримав максимальну вагу $w_{\text{тф1}} = 1$.

Підставляючи ці вихідні дані в гібридну мережу на рис. 1, після розрахунку маємо $x_{\text{нс}} = 0,982$. Це означає, що в результаті несприятливого збігу обставин, що описується в аналізі, утворилася майже найскладніша нештатна ситуація, імовірність перетворення якої в транспортну подію дуже велика.

Також проаналізуємо за допомогою гібридної мережі наступний випадок, оскільки тут відсутній технічний фактор, але є вплив зовнішніх факторів. І все залежало від дій локомотивної бригади.

02.10.2008 року о першій годині одній хвилині при маневровому пересуванні по станції Джанкой тепловозом 2ТЕ116 № 1582 секції «Б»

сталосся зіткнення локомотива з головним вагоном поїзда № 615 за таких обставин. При виїзді з депо Джанкой машиніст отримав план роботи: від світлофора М70 за світлофор М30, потім від світлофора М30 на вільну колію 5Ю, з колії 5Ю за світлофор М34 та від світлофора М34 на зайняту колію 4Ю під состав. Перед прослідкуванням світлофора М34 заднім ходом тепловоза локомотивна бригада, порушуючи вимоги п. 3.15 ЦТ-0106, не отримала підтвердження ДСП про готовність маршруту прямування на зайняту колію 4Ю. Під час прямування на зайняту поїздом 615 колію 4Ю, порушуючи п. 15.24 ПТЕ, локомотивна бригада не слідкувала за вільністю колії та розміщенням рухомого складу, порушуючи п. 5.1 інструкції ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015, машиніст при під'їзді до состава не виконав зупинку локомотива на відстані 5–10 метрів від першого вагона. Внаслідок чого сталосся зіткнення тепловоза з головним вагоном поїзда № 615 при швидкості 18 км/год.

Таблиця 1

Несправності основного обладнання ТРС за 2007–2008 роки

Table 1

Failures of basic equipment HDS for 2007-2008

Обладнання	Залізниця													
	Дон.		Львів.		Одес.		Півден.		П-Зах.		Придн.		Укрзал.	
	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007
Дизель	7	1	8	18	6	11	12	15	1	7	2	1	36	53
Головний генератор	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	3
Силкові транс. реакт.	0	0	0	0	0	4	0	0	2	2	0	0	2	6
ТЕД	1	3	5	4	11	12	2	2	4	9	4	8	27	38
Інші	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	0
Допом. мех. обладн.	1	0	2	2	1	8	0	4	2	0	3	2	9	16
Допом. ел. обладн.	1	0	1	2	3	0	0	2	1	2	0	2	6	8
Колісні пари	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	2	1	5	3
Букси колісних пар	1	0	1	1	6	5	1	1	7	5	3	6	19	18
Колісномоторн. блок	2	0	5	4	6	1	0	6	6	4	4	4	23	19
Силкові кола	4	13	2	3	12	7	4	3	10	10	11	14	43	50
Н/вольтні кола	5	4	9	0	18	15	8	1	9	14	5	6	54	40
Ел. ап-ра силова	4	1	1	1	4	0	1	0	1	1	1	2	12	5
Ел. ап-ра кіл упр-ня	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1

Закінчення табл. 1

End of Table 1

Обладнання	Залізниця													
	Дон.		Львів.		Одес.		Півден.		П-Зах.		Придн.		Укрзал.	
	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007
Акумулят. батарея	0	0	2	1	2	4	0	0	1	0	1	1	6	6
Гальмівне обладн.	1	0	5	0	2	5	2	0	5	3	6	0	21	8
Візок	0	1	0	1	0	2	0	1	0	2	2	1	2	8
Автозчеп	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	2	1
Дахове обладнання	2	1	1	3	4	5	1	1	6	7	4	5	18	22
Невірні дії бригад	1	6	7	8	10	8	1	2	7	6	6	9	32	39
Всього	32	30	51	51	88	88	34	38	63	74	56	63	324	344

Визначимо сигнали для подачі на нейрон ЛФ (людський фактор): 1 – бригада не отримала підтвердження ДСП про готовність маршруту прямування; 2 – локомотивна бригада не слідувала за вільністю колії та розміщенням рухомого складу; 3 – машиніст при під'їзді до состава не виконав зупинку локомотива.

Сигнали, що повинні бути подані на нейрон ТФ відсутні.

Сигнали, що повинні бути подані на нейрон ЗФ: 1 – недостатня видимість в темний час доби; 2 – недостатня видимість через прямування однією секцією кабіною назад; 3 – прямування на зайняту колію.

Згідно з наведеним вище порядком визначення ваги сигналів, встановлюємо:

$$W_{\text{лф}} = (w_{\text{лф1}}, w_{\text{лф2}}, w_{\text{лф3}}) = (0,8; 1, 1);$$

множина ваг зовнішнього фактора:

$$W_{\text{зф}} = (w_{\text{зф1}}, w_{\text{зф2}}, w_{\text{зф3}}) = (0,4; 0,8; 0,8).$$

В результаті розрахунку маємо $x_{\text{нс}} = 0,262$.

Ми бачимо, що порівняно з першим описаним випадком складність нештатної ситуації була значно нижче, але вона все ж таки призвела до транспортної події.

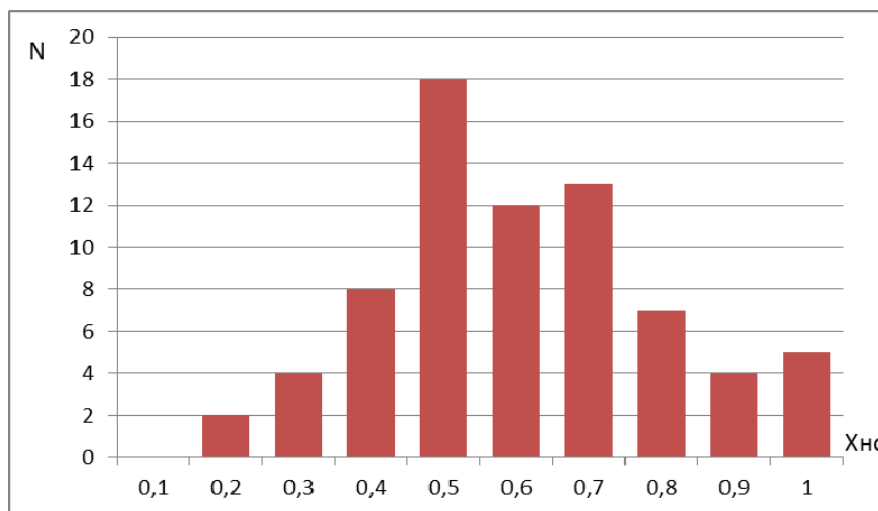


Рис. 3. Розподіл транспортних подій за складністю нештатної ситуації

Fig. 3. The distribution of accidents according to the complexity of the unforeseen situation

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Тому постає завдання визначити величину $x_{нс}$, при перевищенні якої імовірність виникнення транспортної події стає достатньо великою. Для цього потрібно використати статистичні дані. Незважаючи на такі випадки, які описані вище, де для уникнення транспортної події не потрібно було ніяких технічних засобів та додаткових заходів, а лише виконання локомотивною бригадою своїх обов'язків, все ж доля випадків з технічних причин залишається дуже великою. З даних про причини транспортних подій видно, що якість ремонту та утримання рухомого складу ще далека від ідеальної (табл. 1).

Результати

Загалом за допомогою розробленої гібридної мережі було розраховано складність нештатних ситуацій для 73 транспортних подій.

Розподілення параметра $x_{нс}$ для цієї вибірки наведено на рис. 3.

Середнє значення показника складності нештатної ситуації з наведеної вибірки буде складати

$$\bar{x}_{нс} = \frac{\sum_1^n x_{нс}}{n}, \quad (1)$$

де $x_{нс}$ – значення показника складності нештатної ситуації для цієї транспортної події; n – кількість транспортних подій, що розглядається.

$$\bar{x}_{нс} = 0,607.$$

Дисперсія показника складності

$$\sigma_{x_{нс}}^2 = \frac{\sum_1^n (x_{нсi} - \bar{x}_{нс})^2}{n} \quad (2)$$

$$\sigma_{x_{нс}}^2 = 0,0376.$$

Розподіл транспортних подій за складністю НС підпорядковується нормальному закону. Це перевірено за допомогою критерію Пірсона χ^2 [8]. Для нашої вибірки (рис. 3) критичне значення критерію χ^2 при числі ступенів свободи $df = 7$ та рівню значущості $0,05$: $\chi_{кр}^2(7; 0,05) = 14,068$. В результаті розрахунків знайдено величину критерію, що спостерігається, $\chi_{сп}^2 = 8,539$. В нашому випадку $\chi_{кр}^2 > \chi_{сп}^2$, тому робимо висновок, що гіпотеза про нормальне розподілення даних на рис. 3 підтверджується.

Наукова новизна та практична значимість

Крива $p(x_{нс})$ на рис. 4 характеризує складність нештатних ситуацій, що призводять до виникнення транспортних подій.

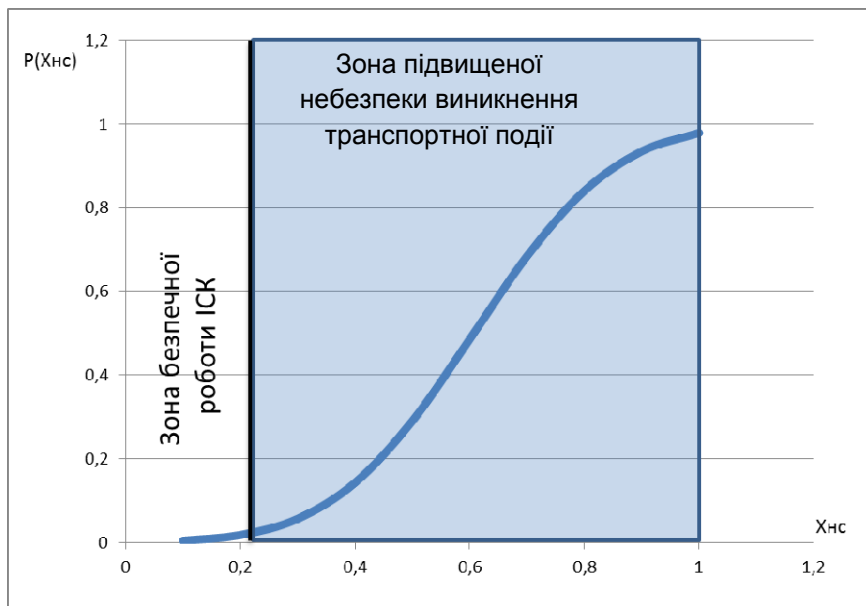


Рис. 4. Інтегральна функція розподілення $p(x_{нс})$

Fig. 4. Cumulative distribution function $p(x_{нс})$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Потрібно визначити, при якому максимальному значенні $x_{нсmax}$ нештатна ситуація стає достатньо загрозовою, щоб стати причиною виникнення транспортної події. Для визначення цього значення пропонується скористатися правилом «двох сигм», тому що правило «трьох сигм» завдає дуже жорсткі критерії до показника $x_{нс}$, коли практично всі ситуації при веденні поїзда з імовірністю 0,9973 будуть вважатися загрозовими для безпеки руху. Отже величина максимально можливого в експлуатації параметра $x_{нс}$ може бути розраховано за формулою

$$x_{нсmax} = \overline{x_{нс}} - 2\sigma_{x_{нс}}, \quad (3)$$

де $\overline{x_{нс}}$ – середнє значення складності нештатної ситуації згідно з статистичними даними; $\sigma_{x_{нс}}$ – середньоквадратичне відхилення $x_{нс}$.

$$x_{нсmax} = 0,607 - 2 \times 0,194 = 0,219.$$

При досягненні цього значення НС потрібно вважати небезпечною і вживати заходів з усунення причин, що підвищують її складність.

Висновки

В результаті розробки методології визначення складності НС отримано можливість введення цього параметра до вихідних даних роботи інтелектуальних систем керування локомотивом. Це дозволить внести до моделі керування поїздом важливі дані для поточного оцінювання стану безпеки. Отримане максимальне значення параметра $x_{нс}$ потрібно для визначення моменту, коли навколишня поїзна ситуація стає настільки загрозовою, що необхідно вжити заходів з її корегування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз стану безпеки руху поїздів у локомотивному господарстві України за 2008 рік : ЦТ-6/2. – Київ : Укрзалізниця, 2009. – 58 с.
2. Горобченко, О. М. Визначення імовірності виникнення транспортної події в локомотивному господарстві / О. М. Горобченко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 35. – С. 41–44.
3. Горобченко, О. М. Моделювання виникнення нештатної ситуації в ергатичній системі «локомотивна бригада – поїзд» / О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2014. – Вип. 38. – С. 144–147.
4. Ерофеев, А. А. Интеллектуальные системы управления / А. А. Ерофеев, А. О. Поляков. – Санкт-Петербург : СПб ГТУ, 1999. – 265 с.
5. Каменев, О. Ю. Проблематика підходів до дослідження безпеки використання ергатичних систем керування на залізничному транспорті / О. Ю. Каменев // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 44. – С. 7–16.
6. Колесников, А. В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки / А. В. Колесников. – Санкт-Петербург : СПб ГТУ, 2001. – 700 с.
7. Круглов, В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голубов. – Москва : Мир, 2004. – 224 с.
8. Леман, Э. Проверка статистических гипотез / Э. Леман. – Москва : Наука, 1979. – 408 с.
9. Макаренко, Л. М. Вплив людського чинника на безпеку руху залізничного транспорту : аналітичний огляд / Л. М. Макаренко // Залізн. трансп. України. – 2010. – № 1. – С. 46–51.
10. Хайкин, С. Нейронные сети / С. Хайкин. – Москва : Вильямс, 2006. – 1104 с.
11. Царегородцев, В. Г. Конструктивный алгоритм синтеза структуры многослойного перцептрона / В. Г. Царегородцев // Вестн. КазНУ им. Аль-Фараби. Серия : «Математика, механика, информатика». – 2008. – № 4 (59), ч. 3. – С. 308–315.
12. Li-min, JIA. The system architecture of Chinese railway intelligent transportation system / JIA Li-min, LI Ping // Proc. of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – Beijing : IEEE, 2007. – Vol. 5. – P.1424–1432.
13. Deng, P. On intelligent automatic train control of railway moving automatic block systems based on multi-agent systems. / P. Deng, Z. Yingping, Z. Chuansheng // 29th Chinese Control Conference (CCC). – Beijing : IEEE, 2010. – Vol. 1. – P. 4471–4476.

А. Н. ГОРОБЧЕНКО^{1*}

^{1*}Каф. «Експлуатація і ремонт подвижного складу», Українська державна академія залізничного транспорту, площа Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61500, тел. +38 (063) 580 27 13. ел. пошта superteacher@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9868-3852

МЕТОДОЛОГІЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПАРАМЕТРА СЛОЖНОСТИ НЕШТАТНОЙ СИТУАЦИИ ВО ВРЕМЯ ВЕДЕНИЯ Поезда

Цель. При разработке интеллектуальных систем управления локомотивом возникает необходимость в оценке текущей поездной ситуации с точки зрения безопасности движения. Для того, чтобы оценить вероятность развития различных нештатных ситуаций в транспортные происшествия, необходимо определить их сложность. Целью статьи является разработка методологии определения сложности нештатных ситуаций при управлении локомотивом. **Методика.** Для достижения поставленной цели накоплен статистический материал нарушений безопасности движения; причины нарушений разделены на группы: технический фактор, человеческий фактор и внешние воздействия. С помощью теории гибридных сетей получена модель, которая на выходе дает параметр сложности нештатной ситуации. Тип сети: многослойный перцептрон с гибридными нейронами первого слоя и сигмоидной функцией активации. С использованием методов теории вероятности проведен анализ полученных результатов. **Результаты.** Разработан подход к формализации производственных ситуаций, которые могут быть описаны только лингвистически, что позволило использовать их в качестве входных данных модели нештатной ситуации. Установлено и обосновано, что показатель сложности нештатной ситуации при ведении поезда является величиной случайной и подчиняется нормальному закону распределения. Получен график интегральной функции распределения, на котором определены зоны безопасной работы и повышенной опасности возникновения транспортного происшествия. **Научная новизна.** Предложены теоретические основы определения сложности нештатных ситуаций в поездной работе, получено максимальное значение параметра сложности нештатной ситуации, которая может быть допущена в условиях эксплуатации. **Практическая значимость.** Постоянный мониторинг этой величины позволяет своевременно реагировать на угрозу возникновения опасности, а получение ее в численной форме – использовать как один из входных параметров для работы интеллектуальной системы управления локомотивом, на основании которого будет приниматься решение о дальнейших управляющих действиях.

Ключевые слова: безопасность движения; нештатная ситуация; локомотивная бригада; интеллектуальная система

О. М. HOROVCHENKO^{1*}

^{1*}Dep. «Operation and Maintenance of Rolling Stock», Ukrainian State Academy of Railway Transport, Feiierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61500, tel. +38 (063) 580 27 13, e-mail superteacher@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9868-3852

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE VALUE OF COMPLEXITY PARAMETER FOR EMERGENCY SITUATION DURING DRIVING OF THE TRAIN

Purpose. During development of intelligent control systems for locomotive there is a need in the evaluation of the current train situation in the terms of traffic safety. In order to estimate the probability of the development of various emergency situations in to the traffic accidents, it is necessary to determine their complexity. The purpose of this paper is to develop the methodology for determining the complexity of emergency situations during the locomotive operation. **Methodology.** To achieve this purpose the statistical material of traffic safety violations was accumulated. The causes of violations are divided into groups: technical factors, human factors and external influences. Using the theory of hybrid networks it was obtained a model that gives the output complexity parameter of the emergency situation. Network type: multilayer perceptron with hybrid neurons of the first layer and the sigmoid activation function. The methods of the probability theory were used for the analysis of the results. **Findings.** The

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

approach to the formalization of manufacturing situations that can only be described linguistically was developed, that allowed to use them as input data to the model for emergency situation. It was established and proved that the exponent of complexity for emergency situation during driving the train is a random quantity and obeys to the normal distribution law. It was obtained the graph of the cumulative distribution function, which identified the areas for safe operation and an increased risk of accident. **Originality.** It was proposed theoretical basis for determining the complexity of emergency situations in the train work and received the maximum complexity value of emergency situations that can be admitted in the operating conditions. **Practical value.** Constant monitoring of this value allows not only respond to the threat of danger, but also getting it in numerical form and use it as one of the input parameters for the locomotive intelligent control system. The decision on further control actions will be based on it.

Keywords: safety; emergency situation; locomotive crew; intelligent system

REFERENCES

1. *Analiz stanu bezpeky rukhu poizdiv u lokomotyvnomu hospodarstvi Ukrainy za 2008 rik* [Analysis of traffic safety in the locomotive sector of Ukraine in 2008]. Kyiv, Ukrzaliznyzia Publ., 2009. 58 p.
2. Horobchenko O.M. Vyznachennia imovirnosti vynyknennia transportnoi podii v lokomotyvnomu hospodarstvi [The probability of traffic accident determination in the locomotive department]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 35, pp. 41-44.
3. Horobchenko O.M. Modeliuvannia vynyknennia neshtatnoi sytuatsii v erhatychnii systemi «lokomotyvna bryhada – poizd» [Simulation of emergency situation in ergatic system «locomotive crew – the train»]. *Zbirnyk naukovykh prats DonIZT* [Proc. of Donetsk Institute of Railway Transport], 2014, issue 38, pp. 144-147.
4. Yerofeyev A.A., Polyakov A.O. *Intellektualnyye sistemy upravleniya* [Intelligent Control Systems]. Saint Petersburg, SPb GTU Publ., 1999. 265 p.
5. Kameniev O.Yu. Problematyka pidkhodiv do doslidzhennia bezpeky vykorystannia erhatychnykh system keruvannia na zaliznychnomu transporti [Problems approaches to study the safety of ergodic control systems for railways]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 44, pp. 7-16.
6. Kolesnikov A.V. *Gibridnyye intellektualnyye sistemy. Teoriya i tekhnologiya razrabotki* [Hybrid intelligent systems. Theory and technology of development]. Saint Petersburg, SPb GTU Publ., 2001. 700 p.
7. Kruglov V.V., Dli M.I., Golubov R.Yu. *Nechetkaya logika i iskusstvennyye neyronnyye seti* [Fuzzy logic and artificial neural networks], Moscow, Mir Publ., 2004. 224 p.
8. Leman E. *Proverka statisticheskikh gipotez* [Testing of statistical hypotheses]. Moscow, NaukaPubl., 1979. 408 p.
9. Makarenko L.M. Vplyv liudskoho chynnyka na bezpeku rukhu zaliznychnoho transportu [Influence of human factor on the safety of railway transportation]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2010, no. 1, pp. 46-51.
10. Khaykin S. *Neuronnyye seti. Polnyy kurs* [Neural networks. Full course]. Moscow, Vilyams Publ., 2006, 1104 p.
11. Tsaregorodtsev V.G. Konstruktivnyy algoritm sinteza struktury mnogosloynogo perseptrona [A constructive algorithm for the synthesis of multilayer perceptron structure]. *Vestnik Kazakhskogo natsionalnoho universytetu imeni al-Farabi. Seriya «Matematika, mekhanika, informatsiya» – Bulletin of Kazakh National University named after al-Farabi. Series «Mathematics, Mechanics, Information»*, 2008, no. 4 (59), part. 3, pp. 308-315.
12. Li-min JIA, Ping LI. The system architecture of Chinese railway intelligent transportation system. Proc. of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Beijing, 2007, vol. 5, pp. 1424-1432.
13. Deng P., Yingping Z., Chuansheng Z.. On intelligent automatic train control of railway moving automatic block systems based on multi-agent systems. 29th Chinese Control Conference (CCC). Beijing, 2010, vol. 1, pp. 4471-4476.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. В. Паламарчуком (Україна); д.т.н., проф. Б. Є. Боднарем (Україна)

Надійшла до редколегії: 02.09.2014

Прийнята до друку: 21.10.2014