

О. М. Горобченко

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ПОТОЧНОЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РУХУ ПРИ УПРАВЛІННІ ЛОКОМОТИВОМ

Для опису ступеня загрози безпеці руху під час керування локомотивом введено поняття «нештатна ситуація», основною характеристикою якої є її складність. За допомогою теорії гібридних мереж формалізовано розрахунок цього параметра та вихідні дані до нього.

Для описания степени угрозы безопасности движения при управлении локомотивом введено понятие «нештатная ситуация», основной характеристикой которой является ее сложность. С помощью теории гибридных сетей формализован расчет этого параметра и исходные данные к нему.

To describe the degree of threat to safety when operating the locomotive introduced the concept of a contingency situation, the main characteristic of which is its difficulty. Using the theory of hybrid networks formalized calculation of this parameter and input data to it.

Ключові слова: безпека руху, нештатна ситуація, локомотивна бригада, гібридна мережа.

Постановка проблеми. Безпека руху (БР) під час ведення поїзду – це основна вимога до локомотивної бригади. На шляху до підвищення БР важливим завданням є визначення в чисельній формі параметра імовірності транспортної події залежно від того чи іншого чинника. Тоді виникне можливість постійного моніторингу умов ведення поїзду на предмет безпеки поточної ситуації для інтелектуальних систем керування. На відміну від автоматизованих систем керування, інтелектуальні мають можливість враховувати набагато ширше коло факторів, а також здатні виробляти керівні рішення в умовах невизначеності. При розробці інтелектуальних систем керування (ІСК) поїздом потрібно скласти модель керівної діяльності машиніста локомотива.

Аналіз досліджень і публікацій. Підставою для моделювання процесу ведення поїзда є потужна теорія тяги поїздів, що досконало розроблена в минулому столітті [1]. Розроблено методи та засоби підвищення якості керування локомотивом, багато роботи проведено в напрямку оптимізації ведення поїздів [2]. Це дало можливість розробити та впровадити науково обґрунтовані режимні карти, якими користуються локомотивні бригади. Разом з тим, не відбувається широкого впровадження систем автоведення поїздів без участі людини,

© *Горобченко О. М., 2014*

хоча питання щодо оптимального використання енергії та елементної бази достатньо розроблені. При випробуваннях автоматизованих систем постійно виникає проблема забезпечення безпеки руху, оскільки до функцій машиніста крім того входить постійний моніторинг і прогнозування безпеки поїзда.

Доцільним виявляється використання терміна «нештатна ситуація», що є більш містким, ніж термін «транспортна подія». За визначенням [3]: транспортні події – катастрофи, аварії, серйозні інциденти, інциденти та порушення, що виникли під час руху рухомого складу та призвели: до загибелі або травмування людей, пошкодження технічних засобів, вантажу, об'єктів залізничного транспорту, дезорганізації руху. В даній роботі нештатну ситуацію (НС) розуміють як сукупність обставин, що з визначеною імовірністю могли призвести до виникнення транспортної події.

Мета статті. Основною характеристикою НС пропонується вважати її складність ($x_{нс}$). Оцінка складності визначається загрозою виникнення транспортної події в результаті розвитку даної НС, не враховуючи реакцію локомотивної бригади на неї. Смысл введення поняття НС полягає в тому, що є можливість розмежування причин виникнення транспортної події і дій або бездіяльності локомотивної бригади по недопущенню браку в роботі. Це є підставою для оцінки професійної підготовки та психо-фізіологічного стану машиністів локомотивів, а також визначення його впливу на розвиток транспортної події.

Викладення основного матеріалу. Як приклад розглянемо такий випадок. При виконанні маневрової роботи на станції з ручним переведенням стрілок машиніст отримав вказівку переїхати з однієї колії на іншу. Стрілка на виїзді була переведена не з тієї колії, на якій знаходився локомотив. Черговий стрілочного посту, не переконавшись в готовності маршруту, помилково подав сигнал машиністу про дозвіл на рух. Всі перелічені обставини створили «нештатну ситуацію». Але транспортна подія (розріз стрілки) виникне тільки в тому випадку, якщо машиніст приведе локомотив до руху, не переконавшись в правильності маршруту.

Нештатних ситуацій в процесі роботи може виникати багато. Але тільки за певних несприятливих обставин вони можуть перетворитися на транспортні події. Таким чином можна записати $P \in C$, де P – множина транспортних подій на залізничному транспорті; C – множина НС, що виникають.

Аналізуючи спектр чинників, що впливають на імовірність виникнення браку в роботі залізничного транспорту, можна розділити їх на дві групи: такі, що впливають на виникнення НС, та ті, що впливають на поведінку виконавця при НС.

При визначенні імовірності транспортної події пропонується використання параметра $x_{нс}$ – складність НС.

Фізичний зміст показника $x_{нс}$ полягає в тому, що величина його визначається ступенем впливу різних факторів на виникнення НС. Ці ступені розраховуються за допомогою методів нечіткої логіки, що дозволяє виявити вплив значно більшого кола факторів, формалізувати навіть такі, що описуються виключно лінгвістично. Узагальнено перелік всіх впливів доцільно розділити на три великі групи: людського, технічного та зовнішніх факторів.

Вплив зовні виражається, наприклад, у зміні кліматичних умов, обледенінні-поверхні контактного проводу або рейок, погіршенні видимості внаслідок туманів, снігопаду або дощу, спеки тощо.

Технічні фактори обумовлюються особливостями матеріалів, що використовуються при будівництві рухомого складу, взаємодією рухомих частин, умовами змащення, наявністю високих напруг і струмів. До найпоширеніших технічних факторів належать: пробій ізоляції електричних машин, погіршення умов передачі струму в контактних з'єднаннях, зношення механічних частин, злам шийок колісних пар, обрив автозчіпок, злам боковин і надресорних брусів, псування контактної мережі, злам рейок, горіння букс тощо.

До людського фактора належать дії або бездіяльність людини під час виконання службових обов'язків, що призвели до виникнення НС. Цей комплекс факторів є таким, що значно впливає на безпеку руху. До нього належать: проїзд заборонних сигналів і граничних стовпчиків, відправлення з перекритими кінцевими кранами гальмівної магістралі, низький професійний рівень, знаходження людини на робочому місці у нетверезому стані, сон на робочому місці, неувважність, втома, відволікання й інше.

Через те, що процес виникнення НС є досить складним для опису за допомогою імовірнісних виразів, пропонується його моделювання з використанням методів гібридних мереж. Для цього було побудовано багат шаровий перцептрон [4] та запропоновано спосіб визначення сигналів першого шару нейронів, що є вихідними даними до розрахунку [5]. Множина $X = \{X_{лф}, X_{тф}, X_{зф}\}$, що складається з множин людського, технічного і зовнішніх факторів, визначається згідно з статистичними даними. Множина $W = \{W_{лф}, W_{тф}, W_{зф}\}$, що складається з вагових коефіцієнтів до кожного фактора, визначається шляхом формалізації описання ступеня впливу того чи іншого фактора за допомогою лінгвістичних змінних.

Після визначення структури прихованих шарів потрібно визначити кількісні показники цієї структури, тобто кількість шарів перцептронів та кількість нейронів в шарі.

Існує два підходи до побудови і навчання нейронних мереж. *Перший*: структура мережі визначена, потрібно визначити адекватну навчальну вибірку до існуючої структури. *Другий*: навчальна вибірка відома, потрібно під неї побудувати структуру мережі.

Щодо вирішення завдання моделювання нештатної ситуації при веденні поїзда є більш прийнятним другий варіант. Це обумовлюється обмеженістю статистичних даних (незначною кількістю транспортних подій), що накладає обмеження на обсяг навчальної вибірки.

Починаючи складання вибірки спочатку визначимо умови виникнення граничних параметрів величини $x_{нс}$ (складності НС) (рис. 1). Очевидно, що при

$(x_{лф}=1; x_{тф}=1; x_{зф}=1) \rightarrow x_{нс}=1$ (нештатна ситуація найскладніша);

$(x_{лф}=0; x_{тф}=0; x_{зф}=0) \rightarrow x_{нс}=0$ (нештатна ситуація відсутня).

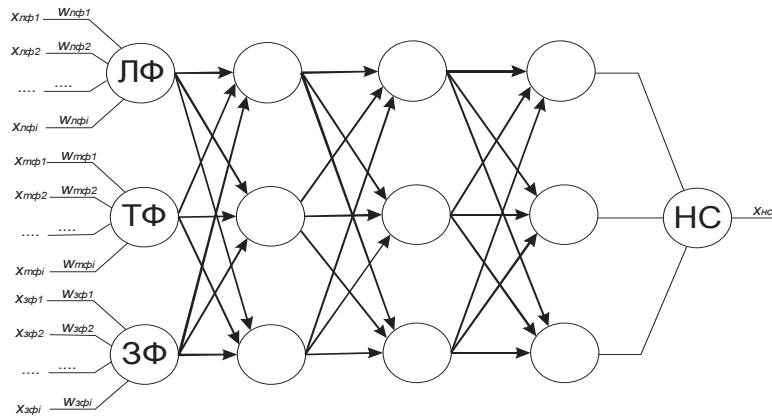


Рис. 1. Модель виникнення нештатної ситуації з багатошаровим персептроном

Для визначення проміжних величин $x_{нс}$ звернемося до статистичних даних [6], на підставі яких побудована табл. 1.

Розглядаючи п. 6 табл. 1 «Причини транспортних подій» об’єднаємо такі підпункти, як «Технічна причина», «Заводський ремонт», «Деповський ремонт» в раніше введений термін «Технічний фактор». Це виправдано, тому що ми розглядаємо нештатну ситуацію, в якій може опинитися локомотивна бригада, а з боку машиніста при веденні поїзда немає різниці, хто є винним виходу з ладу рухомого складу – ремонтний завод або депо. Також перефразуємо підпункт «Локомотивні бригади» в «Людський фактор», «Інші» в «Зовнішні фактори».

Зауважимо, що ми перейшли від категорії «нештатна ситуація» до розгляду категорії «транспортна подія». Цей перехід є вимушеним, оскільки немає статистичних даних про виникнення нештатних ситуацій під час руху поїзда. Тому співвідношення причин транспортних подій вважається нами таким, що характеризує співвідношення причин виникнення нештатних ситуацій, оскільки транспортна подія у всіх випадках є наслідком створеної нештатної ситуації.

Статистичні дані свідчать, що питома вага різних факторів у причинах транспортних подій розподіляється таким чином (разом за 2009 та 2008 рр): ТФ=73%; ЛФ=23,8%; ЗФ=3,2% (рис. 2).

Зважаючи на це, додамо до навчальної вибірки такі вирази:

$$(x_{лф}=1; x_{тф}=0; x_{зф}=0) \rightarrow x_{нс}=0,238,$$

$$(x_{лф}=0; x_{тф}=1; x_{зф}=0) \rightarrow x_{нс}=0,73,$$

$$(x_{лф}=0; x_{тф}=0; x_{зф}=1) \rightarrow x_{нс}=0,032.$$

Таким чином ми врахували реальні дані про причини транспортних подій в розрахунку складності нештатної ситуації. Крім того можна визначити випадки одночасного впливу двох з трьох факторів:

$$(x_{лф}=1; x_{тф}=1; x_{зф}=0) \rightarrow x_{нс}=0,968,$$

$$(x_{лф}=0; x_{тф}=1; x_{зф}=1) \rightarrow x_{нс}=0,762,$$

$$(x_{лф}=1; x_{тф}=0; x_{зф}=1) \rightarrow x_{нс}=0,27.$$

Таблиця 1. Аналіз-довідка про допущені транспортні події по локомотивному господарству України за 12 місяців 2009 р.

Транспортні події	Донец.		Львів		Одес.		Півд.		П-Зах.		Прид.		Всього	
	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008
<i>1</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Транспортні події всього	32	30	51	51	88	88	34	38	63	74	56	63	324	344
1. Катастрофи, аварії	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
2. Серйозні інциденти	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	1	2	3	3
3. Інциденти	22	26	36	37	66	75	29	30	40	53	46	45	239	266
3.1. Несправність ТРС	22	25	33	32	62	74	29	29	39	51	43	42	228	253
4. Порушення	10	4	15	14	20	13	5	7	23	21	9	15	82	74
4.1. Відчеплення ТРС	0	0	2	0	4	0	0	1	9	7	1	3	16	11
4.2. Неспр. ТРС.	5	2	10	11	10	13	5	6	14	12	6	10	50	54
4.3. Неправильні дії працівників	5	2	3	3	6	0	0	0	0	2	2	2	16	9
5. Транспортні події по типах ТРС і видах тяги	32	30	51	51	88	88	34	36	58	74	56	63	319	342
5.1. Електровози пасажирські	3	2	13	2	16	16	1	1	31	29	10	20	74	70
5.2. Електровози вантажні	17	20	5	12	45	32	8	3	3	17	34	28	112	112
5.3. Тепловози пас.	4	3	5	5	15	12	14	7	7	7	0	0	45	34
5.4. Тепловози вантажні	3	4	7	20	12	24	11	19	7	7	12	11	52	85
5.5. Електропоїзд	2	1	4	2	0	3	0	4	6	14	0	4	12	28
5.6. Дизель-поїзд	3	0	17	10	0	1	0	2	4	0	0	0	24	13
Всього з пас. поїздами	7	6	38	19	31	32	15	14	42	55	12	24	145	150
6. Причини транспортних подій	32	30	51	51	88	88	34	38	63	74	56	63	324	344
Технічна причина	1	1	4	6	18	27	7	8	15	15	2	5	47	62
Заводський ремонт	2	0	7	2	7	8	6	3	11	7	4	2	37	22
Деповський ремонт	22	17	31	30	28	32	13	24	20	34	27	42	141	179
Локомотивні бригади	6	9	7	13	35	21	8	3	16	17	15	9	87	72
Інші	1	3	2	0				0	1	1	8	5	12	9

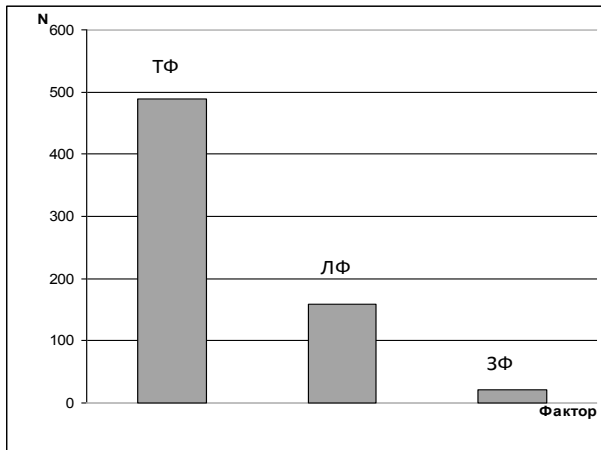


Рис. 2. Розподілення причин транспортних подій за факторами, що вплинули на них

Складена навчальна вибірка є недостатньою як за кількістю елементів, так і за діапазоном значень. Розглянемо вплив окремого фактора, наприклад $x_{тф}$, на складність нештатної ситуації. Встановлено, що при $x_{тф}=1$ і відсутності інших факторів, $x_{нс}=0,73$ (точка А на рис. 3). Також відомо, що при $x_{тф}=0 \rightarrow x_{нс}=0$. Отже на ми знаємо тільки дві крайні точки О та А на відрізку $x_{тф}[0,1]$. Абсолютно не відомо, яким чином розташована крива залежності $x_{нс}=f(x_{тф})$ всередині цього відрізка. Вона може бути лінійною, експоненціальною і будь-якою іншою (криві *a, b, c*).

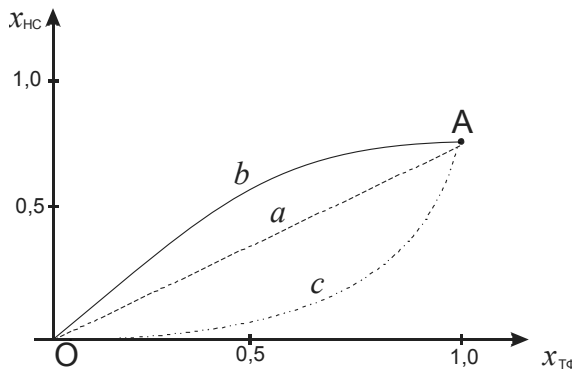


Рис. 3. Варіанти залежностей впливу $x_{тф}$ на $x_{нс}$

Для визначення цього питання потрібно проведення додаткових поглиблених досліджень. Те саме стосується і впливу людського і зовнішніх факторів. Поки що для розрахунків приймемо лінійні залежності $x_{нс}=f(x_{лф})$, $x_{нс}=f(x_{тф})$, $x_{нс}=f(x_{зф})$. Тоді можливе визначення ще декількох елементів навчальної вибірки, наприклад, для відміток $x_{лф}=0,5$, $x_{тф}=0,5$, $x_{зф}=0,5$:

- $(x_{лф}=0,5; x_{тф}=0; x_{зф}=0) \rightarrow x_{нс}=0,119$
- $(x_{лф}=0; x_{тф}=0,5; x_{зф}=0) \rightarrow x_{нс}=0,365$
- $(x_{лф}=0; x_{тф}=0; x_{зф}=0,5) \rightarrow x_{нс}=0,016$
- $(x_{лф}=0,5; x_{тф}=0,5; x_{зф}=0) \rightarrow x_{нс}=0,484$
- $(x_{лф}=0; x_{тф}=0,5; x_{зф}=0,5) \rightarrow x_{нс}=0,381$
- $(x_{лф}=0,5; x_{тф}=0; x_{зф}=0,5) \rightarrow x_{нс}=0,135$

Таким чином ми отримали 14 елементів навчальної вибірки, що зведені до табл. 2.

Таблиця 2. Навчальна вибірка для нейронної мережі моделювання нештатної ситуації

№ з/п	Сигнал $x_{1ф}$	Сигнал $x_{2ф}$	Сигнал $x_{3ф}$	Вихід мережі $x_{ис}$
1	1	1	1	1
2	0	0	0	0
3	1	0	0	0,238
4	0	1	0	0,73
5	0	0	1	0,032
6	1	1	0	0,968
7	0	1	1	0,762
8	1	0	1	0,27
9	0,5	0	0	0,119
10	0	0,5	0	0,365
11	0	0	0,5	0,016
12	0,5	0,5	0	0,484
13	0	0,5	0,5	0,381
14	0,5	0	0,5	0,135

Для оцінювання числа нейронів в прихованих шарах нейронних мереж можна скористатися формулою для оцінювання необхідного числа синаптичних ваг L_w (в багат шаровій мережі з сигмоїдальними передатними функціями) [7]:

$$\frac{mN}{1 + \log_2 N} \leq L_w \leq m \left(\frac{N}{m} + 1 \right) (n + m + 1) + m \quad (1)$$

де n – розмірність вхідного сигналу;

m – розмірність вихідного сигналу;

N – число елементів навчальної вибірки.

Оцінивши необхідне число ваг, можна розрахувати число нейронів в прихованих шарах.

Використавши вираз (1) визначимо, що необхідне число ваг для нашої вибірки складатиме $4.22 \leq L_w \leq 76$.

Тепер можна переходити безпосередньо до побудови структури мережі.

У зв'язку з тим, що входів три, приймемо кількість нейронів в шарі теж три. В першому наближенні можна також прийняти кількість прихованих шарів – три (рис. 1). Ці параметри, а саме: кількість нейронів в шарі та кількість шарів, відповідають умові (1), але є поки що орієнтовними і підлягають корегуванню після розробки алгоритму навчання мережі.

Одним з вирішальних факторів, що визначає успіх використання нейронних мереж є якість навчання мережі. Навчання відбувається шляхом інтерактивного процесу корегування синаптичних ваг і порогів. Алгоритм зворотного розповсюдження є одним з основних при навчанні багат шарових перцептронів. Він достатньо описаний, наприклад, в [8]. Тут приведемо лише результат.

Формула зворотного розповсюдження для локального градієнта $\delta_j(n)$ схованого нейрона j :

$$\delta_j(n) = \varphi_j(v_j(n)) \sum_k \delta_k(n) w_{kj}(n) \quad (2)$$

Обчислення локального градієнта для кожного нейрона багат шарового перцептрону вимагає знання похідної функції активації $\varphi(\cdot)$, пов'язаної із цим нейроном. Для існування такої похідної функція активації повинна бути безперервною. Інакше кажучи, диференційованість є єдиною вимогою, якій повинна задовольняти функ-

ція активації. Прикладом безупинно диференційованої нелінійної функції активації, що часто використовується в багатошарових перцептронах, є сигмоїдальна нелінійна функція.

Для нашого завдання найприйнятнішою є логістична функція. Ця форма сигмоїдальної нелінійності в загальному вигляді визначається таким чином:

$$\varphi_j(v_j(n)) = \frac{1}{1 + \exp(-av_j(n))}, \quad a > 0, \quad - < v_j(n) < + \quad (3)$$

де $v_j(n)$ – індуктоване локальне поле нейрона j . З (3) видно, що амплітуда вихідного сигналу нейрона з такою активаційною функцією лежить у діапазоні $0 \leq y_j \leq 1$. Диференціюючи (3) по $v_j(n)$, одержимо:

$$\varphi_j'(v_j(n)) = \frac{a \exp(-av_j(n))}{[1 + \exp(-av_j(n))]^2} \quad (4)$$

Дослідним шляхом встановлено, що мінімальна кількість епох навчання мережі моделювання нештатних ситуацій використовується при $\alpha=0,9$ і параметри швидкості навчання $\eta=0,15$.

Висновки

Відокремлення дій локомотивних бригад від обставин виникнення браку дає можливість розробки математичного апарату визначення нештатної ситуації, а також визначити її небезпечність через параметр «складність НС». У подальшому це буде базою до розробки інтелектуальних систем автоматизованого розпізнавання і запобігання розвитку НС під час ведення поїзда.

ЛІТЕРАТУРА

1. Осипов С. И., Миронов К. А., Ревич В. И. Основы локомотивной тяги. – М.: Транспорт, 1972. – 336 с.
2. Рациональные режимы вождения поездов и испытания локомотивов. – М.: Транспорт, 1984. – 280 с.
3. Нормативні акти з безпеки руху поїздів / Розробники: В. Зайцев, А. Рашко, В. Крот, М. Ришковський. – К.: Транспорт України, 2002. – 142 с.
4. Горобченко О. М. Моделювання виникнення нештатної ситуації в ергатичній системі «локомотивна бригада – поїзд» // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Вип.38 – Донецьк, 2014. – С. 144 – 147.
5. Ломотько Д. В., Горобченко О. М. Визначення форми вихідних даних для моделювання нештатних ситуацій при веденні поїзда // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Вип.20 – Донецьк, 2009. – С. 74 – 80.
6. Аналіз стану безпеки руху поїздів у локомотивному господарстві України за 2009 рік. №ЦТ-6/2. – К.: Укрзалізниця, 2010. – 58 с.
7. Аверин И. И. и др. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
8. Хайкин С. Нейронные сети.: Полный курс. – М.: «Вильямс», 2006. – 1104 с.