

**УДК 629.4.053**

**DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.149.2014.81817>**

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІЇ КОРИСНОСТІ РІШЕНЬ СППР ДЛЯ  
ЛОКОМОТИВНИХ БРИГАД**

**К-т техн. наук О. М. Горобченко**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИИ ПОЛЕЗНОСТИ РЕШЕНИЙ СППР ДЛЯ  
ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД**

**К-т техн. наук О. М. Горобченко**

**DETERMINATION OF THE UTILITY FUNCTION PARAMETERS OF DECISIONS DSS  
FOR LOCOMOTIVE CREWS**

**Cand. of techn. sciences D. O. Gorobchenko**

*В роботі вирішується завдання оцінки ефективності функціонування СППР для локомотивних бригад з використанням критерію корисності. Як параметри для такого критерію обрані витрата палива або енергії, відхилення від графіка руху і складність нештатної ситуації. Ці величини розраховуються в залежності від прийнятого рішення на певний прогнозований інтервал часу. Перевагою даної моделі є врахування чинників, що впливають на безпеку руху нарівні з показниками ефективності перевезень.*

**Ключові слова:** потяг, прийняття рішення, локомотивна бригада, інтелектуальне управління

*В работе решается задача оценки эффективности функционирования СППР для локомотивных бригад с использованием критерия полезности. В качестве параметров для такого критерия выбраны расход топлива или энергии, отклонение от графика движения и сложность нештатной ситуации. Эти величины рассчитываются в зависимости от принятого решения на определенный прогнозируемый интервал времени. Преимуществом данной модели является учет факторов, влияющих на безопасность движения наравне с показателями эффективности перевозок.*

**Ключевые слова:** поезд, принятие решения, локомотивная бригада, интеллектуальное управление

*We solve the problem of evaluating the performance of a decision support system (DSS) for locomotive crews using the criterion of utility. The parameters for this criterion are selected fuel economy, deviation from the timetable and complexity of abnormal situation. These values are calculated based on the received solutions for determining the expected time interval. Forecasted time calculated from the conditions of compliance with safety and operating parameters of the locomotive. In the calculation of the required traction locomotive introduced fuzzy variable "final speed", which is due to the difficulty of a reliable forecast of the index in real terms of reference of the train. Thus the target traction force for the settlement period is also a fuzzy number RL type. The result is a model for determining the usefulness of each considered system solutions, with which to select the most efficient control action on the locomotive. The advantage of this model is the consideration of factors affecting the traffic safety performance indicators on a par with traffic, which will in the future, with the improvement of the system, refuse to participate of human in the process train.*

**Keywords:** train, decision-making, the locomotive crew, intelligent control

**Вступ.** В процесі подальшого підвищення ефективності експлуатації локомотивів та безпеки руху впроваджено низку технічних новинок для поточного моніторингу технічного стану рухомого складу, автоматизованих керуючих систем та систем попередження транспортних подій. Але всі основні рішення при веденні поїздів залишаються за локомотивними бригадами, що ставить весь технічний потенціал сучасного локомотива в залежність від психо-фізіологічного стану машиніста, його рівня знань та практичної підготовки, мотивації та інших характеристик [1,2].

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Розробка і впровадження інтелектуальних технологій в процес керування локомотивом спочатку в якості систем, що радять, а в подальшому повністю автономних керуючих систем, дозволить зменшити вплив людського фактору на експлуатацію тягового рухомого складу. Вирішення цієї проблеми пов'язано з розробкою

теоретичних основ функціонування інтелектуальних систем в умовах залізничного транспорту.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Теоретичні основи інтелектуальних систем керування постійно розширюються і вдосконалюються [3,4]. Питання впровадження інтелектуальних систем на залізничному транспорті також є одним з пріоритетних напрямів досліджень [5]. В якості найперспективніших розглядаються системи підтримки прийняття рішень (СППР), що повинні забезпечити ефективні керуючі рішення для людини-оператора. В [6] наведено принцип максимальної очікуваної корисності (МОК): раціональна система повинна обирати дію, що максимізує очікувану корисність. Також наведено вираз для отримання корисності.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Для СППР, що розробляються для використання на локомотивах, основним критерієм роботи повинна стати корисність керуючого рішення (дії). Особливістю керування об'єктами залізничного

транспорту є безумовне дотримання безпеки руху. Ціллю даної статті є розробка математичної моделі корисності рішення СППР для локомотивних бригад, що передбачає низку специфічних умов її роботи.

## Основна частина дослідження.

Параметрами, що характеризують корисність того чи іншого рішення, прийнятого локомотивною СППР, пропонуються величини складності нештатної ситуації (НС), відхилення від графіку та витрата енергії на тягу. Чим меншими виявляються прогнозні значення наведених величин в результаті прийняття рішення, тим корисніше це рішення.

Корисність рішення інтелектуальної системи визначимо у тривимірній системі координат  $(X_{нс}; G; \Delta t)$ , де  $X_{нс}$  – складність НС,  $G$  – витрати енергії на рух поїзду,  $\Delta t$  – відхилення від графіку руху. Корисність дії в такому випадку буде визначатися модулем вектора, відкладеного від початку координат до точки  $(X_{нсі}; G_i; \Delta t_i)$ , яка визначається прогнозним значенням вказаних величин в результаті  $i$ -того рішення, що вироблено системою.

В роботі [7] величина складності НС була визначена як функція від низки факторів, що розподілені на групи: людський, технічний та зовнішні фактори. Якщо ставити завдання прогнозу величини  $X_{нс}$  з урахуванням всіх цих факторів, то виникають такі труднощі. Кількість факторів визначає кількість змінних в розрахунках. Їх збільшення призводить до ускладнення розрахунку та перевитрати ресурсів обчислювальної техніки, що може відбитися на її швидкодії. Тому пропонується враховувати лише ті фактори, на які впливає те або інше рішення системи. Інші змінні в розрахунку прогнозу вважаються рівними поточним значенням (значенням на момент розрахунку). Таким чином вдасться уникнути більшості змінних: повністю людського фактору, частини технічних факторів, що стосуються стану локомотива, частини зовнішніх факторів.

Тепер потрібно визначити повний перелік рішень, що може прийняти СППР. З досвіду експлуатації локомотивів машиніст приймає під час керування поїздом такі основні елементарні рішення (для керування тепловозом):

- переведення штурвалу контролера на вищу позицію;
- переведення штурвалу контролера на нижчу позицію;
- переведення штурвалу контролера на нульову позицію;
- переведення крану машиніста в положення «Службове гальмування»;
- переведення крану машиніста в положення «Екстрене гальмування»;
- переведення крану машиніста в положення «Перекидання гальмівної магістралі з живленням»;
- переведення крану машиніста в поїзне положення ;
- переведення крану машиніста в положення «Відпуск гальм»;
- подавання піску під колісні пари локомотива;
- подавання сигналу;
- не виконання ніяких дій.

В роботі [8] визначено, на який період часу доцільно складати прогноз значення  $X_{нс}$  в залежності від дій СППР. Виходячи з умов безпеки, максимальний прогнозний час для визначення основних критеріїв корисності не повинен перевищувати часу до повної зупинки поїзда з поточної швидкості. Для цього використаємо формулу середнього уповільнення, яке з достатньою точністю можна визначити за питомою рівнодійною силою при середній швидкості гальмування, прийнявши ухил профілю на протязі гальмового шляху незмінним:

$$\left( \frac{dv}{dt} \right)_{cp} \approx \zeta (b_z(v_{cp}) + w_o(v_{cp}) + i(s_n)), \quad (1)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт пропорційності, що має сенс прискорення, в км/год<sup>2</sup>, яке викликається дією одиничної питомої прискорюючої сили 1 Н/кН; для загальних розрахунків рекомендоване значення  $\zeta = 120$  (км/год<sup>2</sup>)/(Н/кН) [9];

$v_{cp} = (v_k + v_n)/2$  – середня швидкість протягом процесу гальмування, км/год,  $v_n$  – поточна швидкість, з якої здійснюється гальмування,  $v_k$  – кінцева швидкість гальмування;

$b_z(v_{cp})$  – питома гальмова сила, Н/кН;

$w_o(v_{cp})$  – питома сила основного опору руху, Н/кН;

$i(s_n)$  – ухил профілю, ‰, в залежності від координати  $s$  поїзда;

## Рухомий склад залізниць

$s_n$  – координата початку гальмування, км.

Маючи для випадку повної зупинки  $v_k=0$ , з формули (1) шляхом перетворень отримаємо вираз для максимального терміну, на який робить прогноз інтелектуальна система  $T_{\text{пр max}}$ , який не повинний перевищувати часу екстреного гальмування, в с

$$T_{\text{пр max}} \leq t_e = \frac{3600v_n}{\zeta(b_e(v_n/2) + w_o(v_n/2) + i(s_n))} \quad (2)$$

Експериментальні визначення терміну  $T_{\text{пр max}}$  показали, що його величина в залежності від умов ведення поїзду може знаходитись в інтервалі від 0 до 3,5 хвилин. І чим більше  $T_{\text{пр max}}$ , тим менше ефективність використання інтелектуальної системи, тим більше часу вона простоє в очікуванні наступної команди на проведення розрахунку. З іншого боку змінення керуючих впливів на поїзд занадто часто теж не доцільно, тому що збільшується вплив перехідних процесів, що знижують ефективність використання рухомого складу. Тому розрахунковий прогнозний термін визначається за допомогою виразу

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{пр max}} / n, \text{ при } 1 \leq n \leq T_{\text{пр max}} / t_{\text{пк min}} \quad (3)$$

де  $n$  – коефіцієнт, що визначає у скільки разів максимальний термін прогнозування повинен бути зменшений в залежності від поїзної обстановки;

$t_{\text{пк min}}$  – мінімальний час, що потрібний для зміни режиму керування локомотивом (залежить від швидкості протікання перехідних процесів)

Тепер потрібно визначити, на які вхідні сигнали нейронної мережі моделювання НС буде впливати те або інше елементарне рішення. Для цього доцільно використати метод експертних оцінок. Гібридна мережа визначення складності НС спроектована [10], це дозволяє скласти повний перелік факторів, що впливають на результат розрахунку (тобто повний перелік сигналів, що подаються на вхідний шар). Завдання експерта оцінити за шкалою від 0 до 1 ступінь впливу кожного з рішень на кожний з факторів. Результати оцінки оформлюються у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1

Звіт експерта про оцінку впливу елементарних рішень по керуванню локомотивом на фактори, що впливають на складність НС.

Сигнал на вході мережі	Рішення 1	Рішення 2	Рішення 3	Рішення 4	...	Рішення i-1	Рішення i
X <sub>1</sub>							
X <sub>2</sub>							
X <sub>3</sub>							
...							
X <sub>j-1</sub>							
X <sub>j</sub>							

Якщо величина ступеню впливу дорівнює 0, то це означає відсутність впливу цього рішення на появу фактору  $x_j$ . За результатами опитування всіх експертів складається підсумкова таблиця, значення в якій визначаються як середньоарифметичні від значень оцінок всіх експертів. Таким чином оцінка буде дорівнювати

$$w_{ij} = \frac{\sum_k w_{ijk}}{k} \quad (4)$$

де  $w_{ij}$  – результуюча оцінка впливу  $i$ -го рішення на  $j$ -тий сигнал на вході гібридної мережі;

$w_{ijk}$  – оцінка впливу  $i$ -го рішення на  $j$ -тий сигнал на вході гібридної мережі, що дав окремий експерт;

$k$  – кількість експертів.

Для складання прогнозу змінення складності нештатної ситуації в залежності від прийнятого рішення на вхід гібридної мережі подаються сигнали  $x_j$ , оцінки яких виявились більше нуля. В результаті

розрахунків обирається рішення з найменшим значенням складності НС. Воно призначається як найбільш доцільне.

Якість прогнозу буде значно вищою, якщо він складатиметься не на один крок, а на декілька кроків вперед. Алгоритм отримання найбільш доцільного рішення для кожного кроку в цьому випадку буде той самий, що описаний вище.

Другим критерієм корисності рішення СППР є прогноз витрати палива (енергії) на рух поїзду в результаті прийняття того чи іншого керуючого рішення. Прогнозування витрати палива або електроенергії виконується на підставі тягових розрахунків. В нашому випадку не потрібно розраховувати майбутні витрати палива до кінця ділянки. Достатньо скласти прогноз на період  $T_{пр}$ , що визначений вище. Тоді

$$G_{II} = g_i \cdot T_{пр} \quad (5)$$

де  $g_i$  – значення витрати палива, що відповідає обраному режиму роботи локомотива, кг/год;

Аналогічно виконується прогнозування витрати електроенергії електровозами.

Перед розрахунком прогнозного відхилення від графіку потрібно зауважити наступне. При керуванні локомотивом машиніст використовує розклад руху поїздів. З практики відомо, що для вантажних поїздів точне дотримання графіку не є обов'язковим. На це є низка причин: пріоритет дотримання часу віддається пасажирським поїздам і у випадку, коли вантажний поїзд перешкоджає наздогнати графіковий час пасажирському, то його затримують. Умови ведення вантажних поїздів та підходи до ведення з боку локомотивних бригад дуже різні, що призводить до розкиду фактичних часів ходу. Тому різниця між графіковим та фактичним часом знаходження поїзда в дорозі може досягати 9-12%. Тим не менше головним документом для визначення часу знаходження на перегоні є розклад. Тому він повинний бути взятий за основу в даних розрахунках. Для використання розкладу його представимо у вигляді масиву даних, що містить часи руху по перегонах.

Розрахунок часу руху поїзда в теперішній час виконується за допомогою побудови кривої часу, способом Дегтярьова, способом встановившихся швидкостей.

Найбільш доцільно для нашої задачі використання останнього, який оснований на припущенні, що протягом кожного елемента профілю колії поїзд рухається з рівномірною швидкістю, що відповідає крутості профілю даного елемента. Рівномірні швидкості для кожного елемента колії визначають за діаграмою прискорюючих чи уповільнюючих сил. В першому наближенні можна відхилення від графіку знайти через середню швидкість на ділянці. Для цього визначимо графікову швидкість:

$$V_{гр} = s / (t_{відп} - t_{приб}) \quad (6)$$

де  $s$  – довжина ділянки, на якій знаходиться поїзд;

$t_{відп}$  – час відправлення поїзду або час знаходження поїзду на початку ділянки (за розкладом);

$t_{приб}$  – час прибуття поїзду або час знаходження поїзду в кінці ділянки (за розкладом).

Тоді відхилення від графіку руху визначимо за формулою:

$$\Delta t = t_{гр} - t_{ф} = s/V_{гр} - s/V_{ф} \quad (7)$$

де  $t_{гр}$  – час руху поїзду по ділянці, передбачений графіком;

$t_{ф}$  – час руху поїзду по ділянці, розрахований по фактичній швидкості;

$s$  – довжина ділянки, на якій знаходиться поїзд;

$V_{гр}$  – графікова швидкість;

$V_{ф}$  – поточна швидкість руху поїзду.

Недоліком такого розрахунку є те, що системі залишається невідомим абсолютне відхилення від графіку на всьому шляху. Може скластися така ситуація, що на поточному відрізу колії  $\Delta t = 0$ , але в цілому поїзд іде з відставанням і йому потрібно пришвидшитись. Тому пропонується ввести контроль виконання розкладу за поїзду шляхом порівняння часу прослідування контрольних пунктів за розкладом та фактичного часу їх прослідування.

Для підвищення ефективності роботи СППР потрібно враховувати не тільки профіль тієї ділянки, на якій знаходиться поїзд в даний момент, але і ділянку, що лежить за нею, для ефективного використання кінетичної енергії.

Прирівняємо кінетичну енергію поїзда роботі діючих сил за час змінення швидкості від початкової до кінцевої [11].

$$\frac{P+Q}{g}(1+\gamma)1000\frac{v_k^2-v_n^2}{2\cdot3.6^2}=(P+Q)(f_{k\text{ ср}}-w_{k\text{ ср}})s, \quad (8)$$

де  $P, Q$  – вага локомотива і поїзда, кН;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$\gamma$  – коефіцієнт інерції частин, що обертаються (0,06);

$v_k, v_n$  – кінцева та початкова швидкості на ділянці, км/год;

$f_{k\text{ ср}}$  – середня дотична сила тяги локомотива, кН;

$w_{k\text{ ср}}$  – середній опір руху поїзда, кН.

$s$  – довжина ділянки, м.

$f_{k\text{ ср}} - w_{k\text{ ср}}$  – середня прискорююча сила, що діє на поїзд в межах від  $v_n$  до  $v_k$ .

Вираз (8) дозволяє визначити силу тяги локомотива в залежності від того, яка потрібна швидкість наприкінці ділянки, що попереду. Після перетворень будемо мати такий вираз для сили тяги:

$$f_{k\text{ ср}} = \frac{4.17(v_k^2 - v_n^2)}{s} + w_{k\text{ ср}}. \quad (9)$$

Тому при керуванні локомотивом необхідно обирати таку позицію контролеру машиніста, щоб середня дотична сила тяги локомотива знаходилась у межах розрахованої за (9). Якщо при розрахунках вона виявиться негативною, то потрібно контролер перевести на нульову позицію та використовувати регульовальне гальмування.

При розгляді виразу (9) всі вихідні дані мають визначене значення, окрім кінцевої швидкості. В залежності від умов ведення поїзду  $v_k$  може змінюватись для забезпечення раціональності використання енергії. Врахувати це змінення пропонується шляхом введення нечіткості, а саме представити  $v_k$  у вигляді числа (L-R)-типу [12]. Унімодальне нечітке число задається трійкою  $A=(a, \alpha, \beta)$ , де  $a$  – мода,  $\alpha>0, \beta>0$  – лівий та правий коефіцієнти нечіткості.

Тоді  $v_k=(v_k', \alpha, \beta)$ , де  $v_k'$  – значення швидкості, що відповідає чіткому виконанню графіку руху. Для аналітичного завдання (L-R)-функцій використаємо залежність вигляду  $f(x) = \frac{1}{1+|x|^p}, p\geq 0$ .

Унімодальне нечітке число  $v_k$ , яким є швидкість руху, з модою  $v_k'$  (тобто  $\mu_v(v_k') = 1$ ) задається наступним чином:

$$\mu_v(v) = \begin{cases} L\left(\frac{v_k' - v}{\alpha}\right) & \text{при } v \leq v_k' \\ R\left(\frac{v_k' - v}{\beta}\right) & \text{при } v > v_k' \end{cases} \quad (10)$$

На рисунку 1 наведено приклад завдання швидкості у вигляді числа (L-R)-типу.

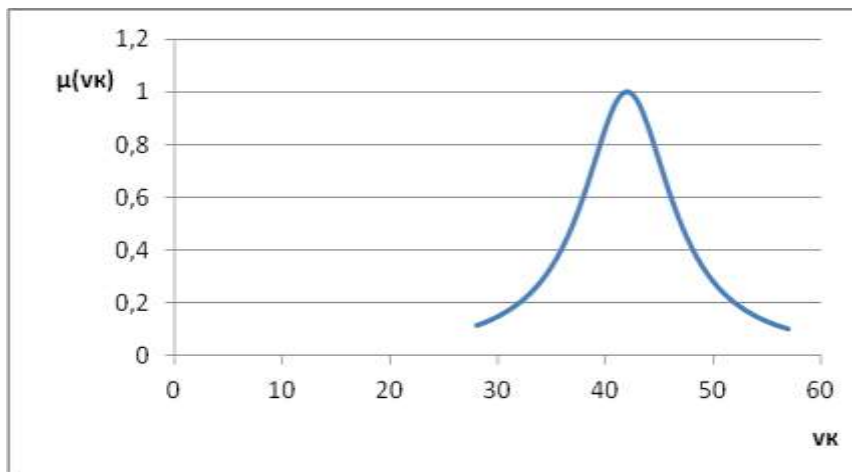


Рис. 1 – Графічне представлення кінцевої швидкості  $v_k=(v_k', \alpha, \beta)$ , при  $v_k'=42$  км/год,  $\alpha=5, \beta=5$ .

Тоді вираз (9) буде мати наступний вигляд

$$f_{k\text{ ср}} = \frac{4.17((v_k', \alpha, \beta)^2 - v_n^2)}{s} + w_{k\text{ ср}} \quad (11)$$

Послідовність вирішення цього рівняння наступна:

$$(v_k', \alpha, \beta)^2 = (v_k', \alpha, \beta) \cdot (v_k', \alpha, \beta) = (v_k'^2, \alpha^2, \beta^2) \quad (12)$$

Після приведення складових рівняння до чисел (L-R)-типу в результаті перетворень отримаємо вираз для визначення тягового

зусилля локомотива у вигляді нечіткого числа (L-R)-типу:

$$(f_{кр}, \alpha', \beta') = \frac{4.17((v'_k - v'_n)^2, \alpha^2, \beta^2)}{s} + w_{кр} \quad (13)$$

Вираз (13) вказує на те, що при визначенні середньої сили тяги на розрахунковій ділянці її нечіткість в квадраті залежить від нечіткості завдання кінцевої швидкості.

Повертаючись до завдання визначення корисності дії ІА, представимо величину корисності дії у вигляді вектора  $P$  в тривимірній системі координат  $(X_{НС}, G, \Delta t)$ , де  $X_{НС}$  – величина складності НС,  $G$  –

витрати палива (енергії) на тягу,  $\Delta t$  – відхилення від графіку руху. Тоді корисність дії може бути розрахована за формулою, що визначає довжину вектора  $P$ :

$$|P| = \sqrt{X_{НС}^2 + G^2 + \Delta t^2} \quad (14)$$

В такому випадку в якості найкориснішої дії слід приймати таку, в результаті якої прогнозне значення  $|P|(X_{НС}, G, \Delta t) = 0$ . Загалом, враховуючи вищенаведені міркування, модель визначення корисності СППР при керуванні поїздом має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} |P| &= \sqrt{X_{НС}^2 + G^2 + \Delta t^2} \\ T_{пр\max} &\leq \frac{3600v_n}{\zeta(b_s(v_n/2) + w_o(v_n/2) + i(s_n))} \\ T_{пр} &= T_{пр\max} / n, \text{ при } 1 \leq n \leq T_{пр\max} / t_{пк\min} \\ X_{НС} &= f(x_{лф}(T_{пр}); (x_{тф}(T_{пр}); (x_{зф}(T_{пр})), \\ G_{II} &= g_i \cdot T_{пр}, \text{ при } F_{к\text{пот}} \in (f_{кр}, \alpha', \beta') = \frac{4.17((v'_k - v'_n)^2, \alpha^2, \beta^2)}{s} + w_{кр}, \\ \Delta t &= s/V_{гр} - s/V_{ф}, \end{aligned} \quad (15)$$

де всі позначення відповідають вищенаведеним.

**Висновки.** Формули (15) визначають корисність рішень СППР при керуванні локомотивом на прогнозний термін в загальному вигляді. Вираз для  $P$  визначає логіку отримання величини корисності дії, але потребує доробки для приведення до однієї розмірності, що буде зроблено в подальшому. Перевагами алгоритму роботи

інтелектуальної системи, що буде використовувати розроблену модель, є постійний контроль та додержання умов безпеки руху за допомогою показника складності НС. Цей інструмент дозволяє виключити такі дії по керуванню локомотивом, що призведуть до небезпечного перевищення показника  $X_{НС}$ , навіть якщо вони теоретично призведуть до зменшення витрат енергоресурсів на тягу.

## Список використаних джерел

1. Самсонкин, В.Н. Прогнозирование надежности железнодорожных операторов [Текст] / В. Н. Самсонкин // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - № 5. - С. 54-55.
2. Губинский, А. И., Оценка надежности деятельности человека-оператора в системах управления [Текст] / А. И. Губинский, В. В. Кобзев – М.:Машиностроение, 2000. – 47 с.
3. Колесников, А. В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. [Текст] / А. В. Колесников – СПб.: Издательство СПб ГТУ, 2001. 700 с.
4. Negenborn, R.R., Intelligent Infrastructures (Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering) [Текст] / R.R Negenborn, Z. Lukszo, H. Hellendoorn – NY.:Springer, 2009 – 529 p.
5. Скалозуб, В. В. Интеллектуальные транспортные системы железнодорожного транспорта (основы инновационных технологий) [Текст] / В. В. Скалозуб, В. П. Соловьев, И. В. Жуковичский, К. В. Гончаров. – Д. : Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2013. – 207 с.

6. Рассел, С., Искусственный интеллект. Современный подход. Пер. с англ. [Текст] / С. Рассел, П. Норвиг – М.:Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.
7. Ломотько, Д. В., Визначення форми вихідних даних для моделювання нештатних ситуацій при веденні поїзду[Текст] / Д.В. Ломотько, О. М. Горобченко // Збірник наукових праць ДонІЗТ, вип.20 – Донецьк, 2009. – С.74-80.
8. Горобченко, О. М., Розрахунок терміну прогнозування при визначенні корисності дії інтелектуального агента керування поїздом [Текст] / О. М. Горобченко, С. А. Матвієнко // Збірник наукових праць ДонІЗТ, вип.25 – Донецьк, 2011. – С.129-132.
9. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст] / – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
10. Горобченко, О. М. Моделювання виникнення нештатної ситуації в ергатичній системі «локомотивна бригада – поїзд» [Текст] / О. М. Горобченко // Збірник наукових праць ДонІЗТ, вип.38 – Донецьк, 2014. - С. 144-147
11. Бабичков, А.М. Тяга поездов и тяговые расчеты [Текст] / А.М. Бабичков, П.А. Гурский, А.П. Новиков. – М.: Транспорт, 1971. – 280 с.
12. Круглов, В.В., Нечеткая логика и искусственные нейронные сети [Текст] /В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голубов – М.:Мир, 2004. – 224 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Е.Д.Тартаковський

---

Горобченко Олександр Миколайович, канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» Українська державна академія залізничного транспорту, тел. +380635802713 ел. пошта [superteacher@yandex.ru](mailto:superteacher@yandex.ru)

Gorobchenko Oleksandr, PhD, department "Maintenance and repair of rolling stock", Ukrainian State Academy of Railway Transport, tel. +380635802713, e. mail [superteacher@yandex.ru](mailto:superteacher@yandex.ru)