

Методи оцінювання надійності операторів залізничного транспорту: аналітичний огляд

В статті проведений аналітичний огляд кількісних характеристик надійності операторів залізничного транспорту.

людський фактор, надійність ергатичних систем, коефіцієнт готовності, надійність людини-оператора, показник безпомилкової роботи, інтенсивність помилок, імовірність виконання завдання

Останнім часом зросла важливість та значимість дослідження впливу людського фактору (ЛФ) на безпеку на залізничному транспорті [1-6, 15]. Адже помилки людини-оператора (Л-О) можуть привести і, на жаль, приводять до численних аварій, людських жертв, великих матеріальних втрат, екологічних катастроф регіонального і глобального масштабу, про що переконливо свідчать події навіть новітньої історії незалежної України. У зв'язку з цим актуальною є проблема кількісної оцінки надійності Л-О, яка дозволила б проводити об'єктивний контроль і моніторинг з попередження небезпечних подій.

Проведемо аналіз підходів до кількісного дослідження надійності Л-О, її об'єктивної комплексної оцінки у ракурсі діяльності залізничних операторів.

У загальному випадку під надійністю складних ергатичних систем керування, до яких, безумовно, відноситься і залізнична транспортна система, зазвичай розуміють здатність їх зберігати свої найбільш істотні властивості (безвідмовність, ремонтпридатність та ін.) на заданому рівні протягом фіксованого проміжку часу за певних умов експлуатації технічної частини системи. Як основний показник надійності системи зазвичай приймають імовірність безвідмовної роботи $P(t)$, яка визначається за формулою:

$$P(t) = e^{-\int_0^t S(t)dt}, \quad (1)$$

де $S(t)$ – інтенсивність відмов.

У разі, коли відмова будь-якого елемента викликає відмову всієї системи, імовірність її безвідмовної роботи дорівнює:

$$P(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t), \quad (2)$$

де $P_i(t)$ – вірогідність безвідмовної роботи i -го елемента системи;

N – кількість елементів.

Звідси видно, що надійність системи $P(t)$ буде менше найменшого члена цього рівняння і, таким чином, визначається найменш надійний елемент. За даними статистики [1-6, 15], таким найменш надійним елементом виступає Л-О.

Розглянемо поняття "надійність" Л-О. Зазвичай під цим терміном розуміють здатність оператора виконувати поставлені завдання в певних умовах експлуатації на

заданому рівні при допустимому числі помилок, які не впливають на безпеку виконання ним заданих функцій [10].

Все різноманіття визначень надійності людини можна звести до двох:

1) властивість виконувати трудову діяльність протягом певного часу за заданих умов [1,7, 8, 10];

2) індивідуально варіююча властивість людини зберігати стабільність, тобто стійка постійність результатів професійної діяльності в ускладнених умовах її виконання. Висока надійність роботи вказує на те, що він добре працює навіть в складних умовах [9].

Надійність оператора характеризується показниками безпомилковості, готовності, відновлюваності і своєчасності.

Розглянемо основні підходи до кількісного визначення надійності людини за допомогою теорії надійності технічних систем.

Основним показником безпомилковості є імовірність безпомилкової роботи, яку можна обчислювати як на рівні окремої операції, так і на рівні алгоритму в цілому.

Для типових операцій, що часто повторюються, в якості показника безпомилковості можна використовувати також інтенсивність помилок. Цей показник визначають, як правило, з розрахунку на одну виконану операцію (алгоритм). За статистичними даними стосовно фази стійкої працездатності цей показник розраховується[18]:

$$p_j = \frac{N_j - n_{номj}}{N_j}; \lambda_j = \frac{n_{номj}}{N_j T_j}, \quad (3)$$

де p_j – імовірність безпомилкового виконання операцій j -го виду;

λ_j – інтенсивність помилок, допущених при виконанні операцій j -го виду;

$N_j, n_{номj}$ – загальне число виконаних операцій j -го виду і допущене при цьому число помилок;

T_j – середній час виконання операції j -го вигляду.

Знаючи інтенсивність помилок λ_j при виконанні різних операцій і алгоритм роботи Л-О, можна знайти імовірність безпомилкового виконання цього алгоритму:

$$p_{л-о} = \prod_{j=1}^r p_j^{k_j} \approx e^{-\sum_{j=1}^r \lambda_j T_j k_j} = e^{-\sum_{j=1}^r (1-p_j) k_j}, \quad (4)$$

де k_j – число виконаних операцій j -го вигляду;

r - число різних видів операцій ($j=1, 2 \dots, r$).

Важливим показником надійності є також коефіцієнт готовності, який представляє собою імовірність залучення Л-О в роботу в будь-який довільний момент часу й обумовлений виразом:

$$K_{л-о} = 1 - \frac{T_0}{T}, \quad (5)$$

де T_0 – час, протягом якого людина-оператор з тих або інших причин не може прийняти інформацію, що надійшла до нього;

T – загальний час роботи Л-О.

В якості показника відновлюваності використовують імовірність виправлення оператором допущеної помилки:

$$P_{\text{випр}} = P_k P_{\text{вияв}} P_{\text{в}}, \quad (6)$$

де P_k – імовірність видачі сигналу схемою контролю;

$P_{\text{вияв}}$ – імовірність виявлення оператором сигналу контролю;

$P_{\text{в}}$ – імовірність виправлення помилкових дій при повторному виконанні алгоритму.

Показник відновлюваності дозволяє оцінити можливість самоконтролю оператором своїх дій і виправлення допущених ним помилок [18].

Показником своєчасності є імовірність виконання завдання протягом часу $\tau \leq t_{\text{lim}}$. Ця імовірність визначається формулою:

$$P_{\text{св}} = P\{\tau \leq t_{\text{lim}}\} = \int_0^{t_{\text{л}}} f(\tau) d\tau, \quad (7)$$

де $f(\tau)$ – функція розподілу часу вирішення задачі Л-О;

t_{lim} – ліміт часу, перевищення якого розглядається як помилка.

Час t_{lim} може бути як постійною, так і випадковою величиною. У першому випадку імовірність $P_{\text{св}}$ визначається виразом (7). У другому випадку обчислення $P_{\text{св}}$ досить складне. Воно спрощується, якщо τ і t_{lim} підпорядковані нормальному розподілу з параметрами $\bar{\tau}$, σ_{τ}^2 і $\bar{t}_{\text{lim}}$, σ_t^2 відповідно. Оскільки t_{lim} і τ зазвичай незалежні, то $\Delta \bar{t} = \bar{t}_{\text{lim}} - \bar{\tau}$ теж розподілена згідно нормального закону з параметрами:

$$\Delta \bar{t} = \bar{t}_{\text{lim}} - \bar{\tau}, \quad \sigma_{\Delta} = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_{\tau}^2}. \quad (8)$$

Використовуючи відомі положення теорії імовірності, отримуємо:

$$P_{\text{св}} = P\{\Delta t \geq 0\} = \int_{-\infty}^{\frac{\Delta t}{\sigma_{\Delta}}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = 0,5 + \Phi_0\left(\frac{\Delta t}{\sigma_{\Delta}}\right), \quad (9)$$

де $\Phi_0\left(\frac{\Delta t}{\sigma_{\Delta}}\right)$ – табличне значення функції Лапласа.

Середнє значення часу виправлення помилки:

$$\bar{\tau}_{\text{випр}} = \sum_{k=1}^{\infty} \bar{\tau}_k P_k, \quad (10)$$

де $\bar{\tau}_k$ – середнє значення часу виправлення помилки з k -ої спроби;

P_k – імовірність виправлення помилки з k -ої спроби за умови, що в попередніх $k-1$ спробах мала місце помилка.

Така імовірність підпорядкована геометричному розподілу виду:

$$P_k = P_{\text{л-о}} (1 - P_{\text{л-о}})^{k-1}. \quad (11)$$

Середнє значення часу рішення задачі з урахуванням часу виправлення помилки визначається за формулою:

$$\bar{\tau}_p = \bar{\tau}_{л-о} + \bar{\tau}_{випр}, \quad (12)$$

де $\bar{\tau}_{л-о}$ - середнє значення часу безпомилкового виконання Л-О заданого алгоритму.

Дисперсія часу рішення задачі з урахуванням часу виправлення помилки:

$$\sigma_p^2 = \sigma_{\tau}^2 + \sigma_{випр}^2. \quad (13)$$

Приблизно можна вважати, що час τ_p підпорядкований нормальному закону розподілу з параметрами, обумовленими виразами (12) і (13).

Імовірність своєчасного виправлення помилки визначається залежно від характеру величини t_{lim} або виразом (7), або виразом (9):

$$P_{випр}(t_{lim}) = P\{\tau_p < t_{lim}\}. \quad (14)$$

Загальна імовірність виправлення помилки згідно (6) може бути виражена формулою:

$$P_{випр} = P_{\kappa} P_{вияв} P_{\epsilon}(t_{lim}). \quad (15)$$

Надійність діяльності оператора не залишається величиною постійною, а міняється з часом. Ця зміна обумовлена як зміною умов діяльності, так і коливаннями стану оператора. Тому при визначенні надійності оператора у кожному конкретному випадку доводиться вибирати ті або інші чинники, найбільш характерні для даного виду діяльності. З кожним з цих чинників пов'язується певний стан системи ЛТ, і для кожного з цих станів знаходиться конкретне значення показника надійності оператора, яке досліджується [18].

Слід зазначити, що середнє значення імовірності безпомилкової роботи оператора (за умови незалежності появи помилок):

$$P_{л-о} = \sum_{i=1}^m P_i \frac{P_{л-о}}{i}, \quad (16)$$

де P_i - імовірність настання i -го стану системи ЛТ;

$\frac{P_{л-о}}{i}$ - умовна імовірність безпомилкової роботи оператора в i -му стані;

m - число розглянутих станів системи ЛТ.

Імовірності P_i у ряді випадків можуть бути визначені методами теорії масового обслуговування, а імовірності $\frac{P_{л-о}}{i}$ - в результаті аналізу діяльності Л-О по формулі (4).

Оцінка ефективності діяльності Л-О в конкретній системі ЛТ є завершальною й однією з основних процедур, за результатами якої вдосконалюються її експлуатаційні і інші характеристики, підвищується якість функціонування в різних умовах. Це досягається за рахунок повного і своєчасного аналізу роботи Л-О в системі ЛТ, виявлення тенденцій зміни якості функціонування системи з появою різного роду несприятливих умов і факторів зовнішнього середовища.

Імовірність виконання людиною окремих дій може бути отримана в результаті аналізу і використовуються на етапі попереднього розрахунку діяльності оператора, довідкові дані по такій імовірності наводяться, наприклад в [11].

Аналіз наукових джерел та практика експлуатація свідчить, що надійність Л-О визначається великою кількістю чинників. У першому наближенні їх можна розділити на чинники зовнішнього середовища і чинники "внутрішнього" порядку.

До чинників зовнішнього середовища можна віднести відповідність техніки вимогам ергономіки, режим роботи, наявність перевантаження і недовантаження оператора.

До чинників "внутрішнього" середовища – відповідність психофізіологічних характеристик, до яких відносяться як більш стабільні, такі, що визначають професійну придатність, так і менш стабільні, такі, що визначають функціональний стан, а також такі психічні функції як увага, пам'ять і ін. Зокрема, виділяються питання початкової психофізіологічної відповідності людини даній професії і його спеціальній професійній підготовленості.

По відношенню до відмов надійність Л-О розділяють на психологічну, фізіологічну, демографічну. До психологічної відносять надійність по відношенню до тимчасових нестійких відмов (помилки), порушення цієї надійності виявляються в неправильному або невчасному виконанні окремих психологічних актів або в їх невиконанні. Фізіологічна – надійність по відношенню до тимчасово стійких відмов, порушення якої виявляються в тимчасовій відмові від роботи унаслідок стомлення, стресу, травм, захворювань і тому подібне. Демографічна – надійність по відношенню до остаточних відмов, причинами яких є старіння, невиліковні хвороби, травматизм з інвалідністю і тому подібне.

Не дивлячись на різноманітність підходів до визначення надійності людини, при аналізі наукових джерел нами не було виявлено узагальненого виразу для кількісного визначення надійності Л-О, що враховує всі аспекти.

У різних галузях (перш за все пов'язаних з військово-промисловим комплексом), в різний час, пропонувалися різні параметри, які давали можливість якось наблизитися до кількісної оцінки надійності Л-О, наприклад:

- узагальнена робоча характеристика людини оператора (УРХ) [12];
- базові якості успішності праці (БЯУП) [13];
- концепція професійної надійності людини [14];
- імовірність відсутності біологічних відмов [11].

Одним з найбільш розроблених методів визначення надійності системи людина-машина є узагальнений структурний аналіз, запропонований А.І. Губінським [8]. Діяльність Л-О розкладається на ряд ієрархічних рівнів. Для кожного рівня визначається безпомилковість, своєчасність його виконання. Потім проводиться згортання отриманих структур до більш простих структур з еквівалентними характеристиками безпомилковості, своєчасності. Запропонований перелік типових структур, формул для їх визначення.

В цілому ж, незважаючи на чисельні дослідження впливу людського фактора (ЛФ) на безпеку залізничної транспортної системи, все ж можна погодитися з висновками Л.С. Нерсисяна [1] про те, що проблема надійності людини розроблена ще недостатньо повно і систематично. Тому за останнє десятиліття проектування і експлуатація систем ЛТ стала однією з найбільш серйозних для народного господарства країни. Від того, наскільки успішно вона буде вирішена, значною мірою залежить якість і ефективність роботи цілих галузей промисловості і сучасного механізованого сільського господарства. Позитивне рішення вказаної проблеми немислиме без повного комплексного урахування як одного з найбільш важливих елементів систем ЛТ. Неприпустиме зниження статусу будь-яких психофізіологічних можливостей Л-О призведе до незадовільної оцінки загального стану, що особливо важливо при передрейсовому контролі психофізіологічного стану машиніста локомотива.

Список літератури

1. Нерсисян Л.С. Психологические аспекты повышения надежности управления движущимися объектами. – М.: Промедэк, 1992. – 288 с.
2. Самсонкин В.Н. Теоретические основы контроля человеческого фактора в человеко-машинных системах на железнодорожном транспорте: Дис. д-ра техн. наук: 05.22.08. – Харьков, 1997. – 412 с.
3. Соколов А.И. Разработка методики оценки уровня безопасности движения на железнодорожном транспорте: Дис. канд. техн. наук: 05.22.20. – Харьков, 2000. – 231 с.
4. Брусенцов В.Г. Новые технические средства контроля работоспособности машинистов локомотивов: Дис. канд. тех. наук: 05.26.01. – М., 1991. – 171 с.
5. Крупина Е.М., Некрасова Ю.М., Таргонская Л.Г. Программы и управление безопасностью движения на зарубежных железных дорогах //Ж.д. транспорт. Сер. "Безопасность движения". ОИ / ЦНИИТЭИ МПС. – 1988. – Вып.2. – 21 с.
6. Аналіз стану безпеки руху поїздів в локомотивному господарстві України в 1999 році. – К.: Головне управління локомотивного господарства, 2000.
7. Человеческий фактор. В 6 т. / Под ред. Г.Салвенди. – М.: Мир, 1991.
8. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. – Л.: Наука, 1982. – 270 с.
9. Адамович Н.В. Управляемость машин (эргономические основы оптимизации рабочего места человека-оператора). – М.: Машиностроение, 1977. – 280 с.
10. Северцев Н.А. Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке. – М.: Высш. шк., 1989.
11. Фокин Ю.Г. Оператор – технические средства: обеспечение надежности. – М.: Воениздат, 1985. – 192 с.
12. Технические эргатические системы. – К.: Вища шк., 1977. – 344 с.
13. Кальниш В.В., Навакатикян А.О. Особенности умственной работоспособности у операторов тепловых электростанций // Медицина труда и промышленная экология. – 2000. – №2.
14. Карпов В.Н., Ушаков И.Б. Количественные диапазоны и методы исследования профессиональной надежности авиационных специалистов // Медицина труда и промышленная экология. – 1999. – №1. – С.9-12.
15. Про стан виробничого травматизму та умови праці на підприємствах транспортно-дорожнього комплексу за 2000 рік / Міністерство транспорту України. – К.: 2001.
16. Бабак В.П. Безпека авіації / В.П. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін.; За ред. В.П. Бабака. - К.: Техніка, 2004. - 584 с.
17. В.Г. Брусенцов, А.В. Шапка, А.В. Гончаров, И.И. Бугайченко. Надежность железнодорожных операторов – проблемы объективной оценки // Научно-технический сборник “Коммунальное хозяйство городов”, вып. № 64. Серия: Технические науки. – Киев, Техніка, 2005. – С. 47-52.
18. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек-техника. – М.: Машиностроение. 1983. – 263 с.
19. Основы инженерной психологии: Учебное пособие // Под ред. Б.Ф. Ломова. М.: Высшая школа, 1977. – 335 с.

В статье проведен аналитический обзор количественных характеристик надежности операторов железнодорожного транспорта.

In article is organized analytical review of the quantitative features to reliability rail-freight traffic operator.