

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463-049.32:331.101.3

В. Ю. ШАПОШНИК^{1*}

^{1*}Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, ел. пошта vladislav.sh91@gmail.com, ORCID 0000-0003-4701-649

ВПЛИВ ЛЮДСЬКОГО ФАКТОРА НА ВИКОНАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Мета. У науковій роботі необхідно: 1) дослідити показники й критерії оцінки врахування впливу людського фактора на безвідмовність вантажних вагонів; 2) теоретично описати ймовірнісну модель ролі людського фактора під час виконання технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів за технічним станом; 3) розглянути модель розвитку ситуації для випадку критичного дефекту вузла вантажного вагона з урахуванням людського фактора. **Методика.** Для досягнення поставленої мети дослідження були розглянуті методологічні підходи: 1) до оцінки показників надійності в системі «людина – вантажний вагон» під час виконання технічного обслуговування й ремонту; 2) до оцінки рівня безпеки руху в разі переходу з наявної системи технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів на систему за технічним станом. Описана модель розвитку ситуації для випадку критичного дефекту вузла вантажного вагона з урахуванням людського фактора. **Результати.** Наведено підхід до оцінки показників ризиків потенційних відмов вантажних вагонів. За показники взято ймовірність появи негативних подій (ризиків) і можливий економічний збиток від їх прояву. У розробленій моделі розвитку ситуації для випадку критичного дефекту вузла вантажного вагона з урахуванням людського фактора показано три можливі стани: працездатний та обмежено працездатний, непрацездатний і аварійний. Для кожного вихідного стану характерний розвиток подій, що пов'язаний із помилками проектувальників, із дефектами під час виготовлення деталей та вузлів, із людським фактором. **Наукова новизна.** Запропоновано величину ймовірності відмов, що пов'язана з людським фактором, розглядати як певну частку загальної ймовірності відмов системи «людина – вантажний вагон». Наведена інтерпретація функції бажаності Харрінгтона для випадку застосування до вантажних вагонів. Під час проведення технічного обслуговування й ремонту запропоновано ввести показник, що характеризує дотримання технології використання робіт із технічного обслуговування вантажних вагонів з урахуванням людського фактора. **Практична значимість.** На основі проведеного дослідження можна оцінити вплив людського фактора на виконання технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів. За розробленою моделлю розвитку ситуації для випадку критичного дефекту можна визначити граничний рівень дефектності вузла вантажного вагона з урахуванням людського фактора для обмеження ризику аварії чи транспортної події.

Ключові слова: вантажний вагон; надійність; людський фактор; критичний дефект; технічне обслуговування; ремонт

Вступ

Основними обов'язками працівників залізничного транспорту є задоволення потреб щодо перевезень пасажирів і вантажів за умови безумовного дотримання безпеки руху [9].

Багато наукових робіт присвячено вдосконаленню конструкцій, технічного обслуговування, технології ремонту й діагностики рухомого складу, що в значній мірі впливають на безпеку руху [1, 3, 5, 15]. Як показують дані досліджень, значний вплив на рівень безпеки руху чинить людський фактор [16, 18].

Діяльність працівників залізничного транспорту, яка направлена на дотримання безпеки руху в системі «людина – вантажний вагон», пов'язана з виконанням розумових і фізичних функцій. При цьому свою діяльність людина здійснює за детермінованими й випадковими процедурами або правилами, інструкціями, технологічним графіком. У першому випадку ця діяльність суворо регламентована. У другому випадку можливі несподівані події під час виконання технологічного процесу з технічного обслуговування чи ремонту, наприклад, погіршення природних умов. У деяких процесах такі

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

події прогнозують і готують відповідні керівні дії [4, 6, 17].

Розумова праця (інтелектуальна діяльність) пов'язана з прийомом і переробкою інформації й переважно вимагає зосередження уваги, напруги сенсорного апарату, пам'яті, а також активізації процесів мислення, емоцій. Праця оглядачів і слюсарів під час технічного обслуговування та ремонту вимагає підвищеної відповідальності й високої нервово-емоційної напруги. Така праця відзначається високим ступенем динамічності інформації, її обсягом, дефіцитом часу для підготовки й прийняття правильних рішень, необхідністю розв'язання конфліктних ситуацій, які періодично виникають у ході технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів [8].

Роль людського фактора проявляється у впливі на процес підготовки оглядачів і слюсарів для проведення технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів (процес експлуатації) та в оцінці результатів його виконання. Людський фактор може бути визначений як набір властивих людині психофізіологічних особливостей, які потрібно брати до уваги для виключення причин неправильних дій [2, 11].

Людський фактор, що спричинив помилкові дії, не завжди зумовлений психологічними й психофізіологічними характеристиками людини й не завжди відповідає рівню складності виконуваних завдань або проблем. Помилки, викликані людським фактором, як правило, відбуваються ненавмисно. Людина виконує дії, які розцінюються нею як найбільш відповідні або правильні.

Причини, що сприяють помилковим діям людини, можна класифікувати за такими групами:

- недоліки інформаційного забезпечення, відсутність або недостатня інформаційна підтримка;
- помилки, викликані зовнішніми факторами;
- помилки, викликані фізичним і психологічним станом і властивостями людини;
- обмеженість ресурсів підтримки і виконання прийнятого рішення;
- емоційна напруженість;
- розсіювання уваги, що виникає під час

виконання необхідних дій, особливо в разі несподіваних відмов устаткування або раптової зміни ситуації.

Необхідно вдосконалювати методи покращення праці оглядачів та слюсарів і вживати необхідних заходів щодо зниження впливу людського фактора, а для цього необхідно розробити методичку оцінки впливу людського фактора на виконання технічного обслуговування та ремонту.

Мета

У науковій роботі необхідно: 1) дослідити показники й критерії оцінки врахування впливу людського фактора на безвідмовність вантажних вагонів; 2) теоретично описати ймовірнісну модель ролі людського фактора під час виконання технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів за технічним станом; 3) розглянути модель розвитку ситуації для випадку критичного дефекту вузла вантажного вагона з урахуванням людського фактора.

Методика

Основним показником надійності роботи в системі «людина – вантажний вагон» під час виконання технічного обслуговування й ремонту є ймовірність того, що напрацювання на відмову не перевищить заданого тимчасового обмеження. Її можна визначати за таким виразом:

$$P(T \leq t) = \{P_{\text{ВВ}}(T \leq t) \cdot P_{\text{ЛФ}}(T \leq t)\}, \quad (1)$$

де $P_{\text{ВВ}}$ і $P_{\text{ЛФ}}$ – значення ймовірностей відмов, які зумовлені надійністю вантажного вагона і впливом людського фактора відповідно; T – час роботи вантажного вагона до першої відмови; t – відрізок часу, протягом якого встановлюють ймовірність відмов вантажного вагона.

Закономірності залежностей ймовірності відмов $P_{\text{ВВ}}$ і $P_{\text{ЛФ}}$ за T , меншого або рівного t в оглядача чи слюсаря вантажного вагона, визначаються біологічною природою організму людини, з одного боку, і конструкцією, властивостями матеріалів та умовами експлуатації вантажного вагона – з іншого.

Під час аналізу надійності системи «людина – вантажний вагон» об'єктами дослідження

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

є різні випадкові події й величини, які впливають відповідним чином як на стан людини, так і на вантажний вагон. Типову функцію інтенсивності відмов вантажного вагона наведено на рис. 1. У ній можна виділити три характерних ділянки:

– від початку експлуатації до t_1 – інтервал часу, на якому інтенсивність відмов зменшується внаслідок конструктивних допрацювань вантажних вагонів у процесі виробничих випробувань, обкатки деталей і вузлів та інших технічних причин;

– t_1-t_2 – інтервал часу, на якому інтенсивність відмов практично постійна й характеризує стійку роботу вантажного вагона;

– від t_2 до граничного стану – час початку зростання інтенсивності відмов із причини фізичного зносу вантажного вагона.

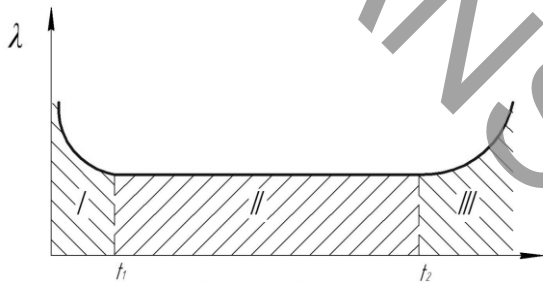


Рис. 1. Залежність інтенсивності відмов вантажного вагона від напрацювання за $\lambda = \text{const}$

Організм людини, відповідно до 1-го й 2-го законів термодинаміки біологічних систем, перебуває в стійкому невірноваженому термодинамічному стані, на відміну від вантажних вагонів, які завжди перебувають у нестійкому невірноваженому термодинамічному стані. Це забезпечують біоритми людини протягом усієї її трудової діяльності. У зв'язку з цим людина періодично перебуває в працездатному й непрацездатному стані. Дослідники виділяють добовий цикл чергування цих станів. Унаслідок перенесених навантажень після зміни працездатного на неробочий стан людина має потребу у відпочинку для відновлення.

Інтенсивність виникнення відмов вантажних вагонів через людський фактор за час працездатного стану, що полягають у помилкових рішеннях або діях, за формою практично збігається з графіком, наведеним на рис. 1.

Трудовий процес оглядача чи слюсаря, як і інтенсивність відмов вантажного вагона, також можна розділити на три часові інтервали [7]:

– характеризує період оперативної адаптації людини до трудового процесу після відпочинку;

– характеризує основний трудовий процес, під час якого здійснюється плавний, близький до лінійного перехід термодинамічного стану людини від слабо невірноваженого до сильно невірноваженого;

– характеризує сильно невірноважений термодинамічний стан у результаті втоми, за якого організм втрачає працездатність і переходить до відпочинку.

Графічно добові зміни інтенсивності відмов організму оглядача чи слюсаря наведені на рис. 2.

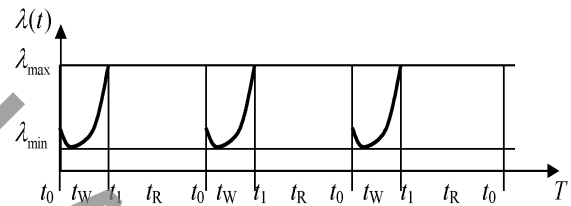


Рис. 2. Залежність змін інтенсивності відмов організму оглядача чи слюсаря протягом доби: t_W – робота; t_R – відпочинок

Із залежності (рис. 2) видно, що протягом часу доби t_W в роботі системи «людина – вантажний вагон» відбувається зміна термодинамічного стану організму оглядача чи слюсаря від слабо невірноваженого на початку роботи до сильно невірноваженого в кінці. За час відпочинку t_R в організмі оглядача чи слюсаря відбувається повне відновлення його стану, і з початку наступної доби процеси повторюються. Найбільш сприятливим часом роботи з позиції інтенсивності відмов у більшості випадків є робота, що починається зранку, оскільки перед цим, за час сну, зазвичай відбувається найбільш повне відновлення всіх функцій організму від попередніх навантажень. Однак виробничі процеси, пов'язані з виконанням технічного обслуговування вантажних вагонів, є цілодобовими, й оглядачі та слюсарі, які проводять таке технічне обслуговування, як правило, працюють у дві зміни. Інтенсивність відмов

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

через людський фактор у цьому випадку буде корелюватися з часом зміни. Залежності добових змін інтенсивності відмов оглядача чи слюсаря, що виконують технічне обслуговування вантажних вагонів у разі двозмінної роботи, наведені на рис. 3.

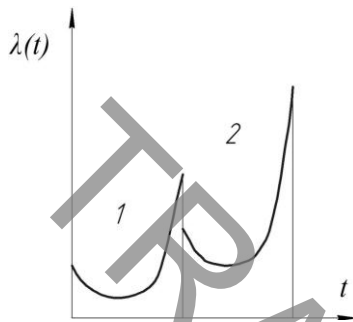


Рис. 3. Залежності добових змін інтенсивності відмов оглядача чи слюсаря, що виконують технічне обслуговування вантажних вагонів для двозмінного режиму роботи:
 $\lambda(t)$ – імовірність інтенсивності відмов,
 t – час тривалості робочих змін

Для роботи оглядачів та слюсарів у нічну зміну під час виконання технічного обслуговування вантажних вагонів характерна значна втома, яка до кінця зміни сягає максимальної величини.

Як видно із залежностей, наведених на рис. 3, для першої зміни роботи характерна мінімальна інтенсивність відмов, більша припадає на другу зміну. Середнє співвідношення інтенсивності відмов визначається умовами праці оглядача чи слюсаря, які проводять технічне обслуговування, технічними параметрами й умовами експлуатації вантажних вагонів [7, 19].

Величину ймовірності відмов, що пов'язана з людським фактором ($P_{\text{лф}}$) можна подати як певну частку загальної ймовірності відмов системи «людина – вантажний вагон» у такому вигляді:

$$P_{\text{лф}} = \sum k_{\text{лф}} P_{\text{р}}, \quad (2)$$

де $k_{\text{лф}}$ – коефіцієнт значущості людського фактора, що впливає на надійність вантажного вагона під час виконання технічного обслуговування.

Показники відмов, що сталися під впливом людського фактора, практично такі самі, як по-

казники надійності вантажних вагонів. Ось основні з них:

- кількість відмов або порушення організаційно-технологічних процесів технічного обслуговування вантажних вагонів, викликаних негативними подіями, пов'язаними з людським фактором;

- імовірність настання відмови або порушення організаційно-технологічного процесу технічного обслуговування вантажних вагонів на інтервалі часу меншому за заданий P ($T \leq t$), що викликана негативною подією, пов'язаною з людським фактором;

- інтенсивність відмов або порушення організаційно-технологічних процесів технічного обслуговування вантажних вагонів унаслідок людського фактора;

- час відновлення працездатного стану або організаційно-технологічних процесів технічного обслуговування вантажних вагонів після впливу негативних чинників, що виникли внаслідок людського фактора;

- інтенсивність відмов вантажних вагонів, які викликані негативними подіями, пов'язаними з людським фактором (кількість відмов за одиницю часу);

- інтенсивність відмов вантажних вагонів, що сталися під впливом людського фактора (кількість відмов на т·км).

При цьому для управління людським фактором необхідно розглядати й урахувати такі показники:

- імовірність настання негативної події, пов'язаної з людським фактором, потенційно здатної спричинити відмову вантажного вагона;

- імовірність того, що у факті відмови вантажного вагона людський фактор не буде виявлено;

- імовірність помилкового віднесення факту відмови вантажного вагона до причини, яка викликана людським фактором;

- витрати на відновлення працездатного стану вантажного вагона після відмов, що сталися під впливом людського фактора.

Наведемо один із можливих підходів до оцінки вищезазначених показників ризиків потенційних відмов вантажних вагонів. За показники візьмемо ймовірність появи негативних подій (ризиків) і можливий економічний збиток від їх

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

прояву. Під ризиком будемо розуміти події, які визначаються як імовірнісні (стохастичні) фактори негативного впливу на вантажні вагони, що викликають порушення процесу виконання технічного обслуговування, зниження надійності й довговічності конструктивних елементів вантажних вагонів, безпеку руху, фінансові та економічні втрати залізниці.

Імовірність виникнення ризиків відмов вантажних вагонів може служити критерієм кількісної оцінки додаткових фінансових витрат на їх ліквідацію. У першому наближенні зони якісної оцінки ризиків на процеси проведення технічного обслуговування вантажних вагонів можуть бути взяті за узагальненою функцією бажаності Харрінгтона [12]. У табл. 1 наведена інтерпретація функції бажаності Харрінгтона для випадку застосування до вантажних вагонів.

Таблиця 1
Діапазони шкали оцінки ризиків

Бажаність	Імовірність виникнення ризику
Малоймовірний критичний ризик	1,00–0,80
Очікуваний незначний ризик	0,80–0,63
Очікуваний помірний ризик	0,63–0,37
Можливий критичний ризик	0,37–0,20
Очікуваний критичний ризик	0,20–0,00

Кількісна оцінка збитків ризиків потенційних відмов вантажних вагонів зараз ускладнена через відсутність інформації про витрати, необхідні на їх відновлення. На першому етапі оцінку економічних збитків можна визначити експертним шляхом.

Максимальний усереднений за експертами економічний збиток визначимо за формулою:

$$C_i = \sum_{j=1}^{R_{ij}} P_{ij} C_{ij}, \quad (3)$$

де i – певний номер вантажного вагона, $i = 1, 2, 3 \dots$; P_{ij} – імовірність виникнення потенційного ризику для i -го вантажного вагона; j – номер виду ризиків, $j = 1, 2, 3 \dots$; C_{ij} – економічний

збиток від j -го номера виду ризиків для i -го вантажного вагона.

Також можна запропонувати оцінювати якість показника безпеки руху поїздів у вигляді коефіцієнта, який визначатимемо за відношенням імовірності перебування вантажного вагона в робочому стані й проектної ймовірності безвідмовної роботи вантажного вагона на відповідному перерізі часу [20]:

$$K_{ЗБР} = P_p / P_o, \quad (4)$$

де $K_{ЗБР}$ – коефіцієнт зниження показника безпеки руху (безвідмовності); P_o – проектна ймовірність безвідмовної роботи вантажного вагона.

Окрім того, під час виконання технічного обслуговування й ремонту можна ввести показник, що характеризує дотримання технології проведення робіт із технічного обслуговування вантажних вагонів з урахуванням людського фактора:

$$T_{ТО} = \frac{P_{ЛФ}}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{t_i}{t_{ki}}\right), \quad (5)$$

де t_i – кількість порушень технології робіт i -го технічного обслуговування вантажного вагона; t_{ki} – кількість параметрів і режимів технологій, яку контролюють під час проведення робіт i -го технічного обслуговування вантажного вагона; n – кількість технічних обслуговувань вантажного вагона.

Тоді для порівняння проведення технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів за наявною технологією й за технічним станом можна отримати оцінку в такому вигляді:

$$O_{ТО} = \frac{P_{ЛФісн}}{P_{ЛФтс}} \sum_{i=1}^n \frac{\left(1 - \frac{t_{іісн}}{t_{кіісн}}\right)}{\left(1 - \frac{t_{ітс}}{t_{кітс}}\right)}, \quad (6)$$

В останньому виразі індексами існ та тс позначено показники для діючої системи технічного обслуговування та ремонту та за технічним станом.

Тоді коефіцієнт (4) з урахуванням виразу (6) буде мати такий вигляд:

$$K_{ЗБР} = \frac{P_P}{P_O} \frac{P_{ЛФісн}}{P_{ЛФтс}} \sum_{i=1}^n \frac{(1 - \frac{t_{іісн}}{t_{кісн}})}{(1 - \frac{t_{ітс}}{t_{кітс}})}. \quad (7)$$

Отриманий вираз дозволяє здійснити оцінку рівня безпеки руху під час переходу до системи технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів за технічним станом [10].

Результати

У наявних методах прогнозування впливу людського фактора під час аналізу надійності вантажних вагонів повинні бути такі етапи, які полягають [13, 14]:

- у складанні переліків основних відмов вузлів вантажних вагонів;
- у складанні технологій робіт для оглядачів і слюсарів, та аналогічно для інших задіяних працівників;
- в оцінюванні частоти людських помилок під час виконання технологічних операцій;
- у визначенні впливів частоти людських помилок на інтенсивність відмов вузлів вантажних вагонів;
- у розробці рекомендацій та внесенні потрібних змін у нормативну документацію.

Основний метод, що враховує надійність роботи людини, може бути заданий побудовою дерева ймовірностей (чи результатів). Використання такого методу передбачає деяку умовну ймовірність, що пов'язана з успішним або помилковим виконанням оглядачем чи слюсарем певної технологічної операції, або ймовірність, яка пов'язана з появою відповідної події. У цьому випадку результат будь-якої події можна зобразити гілками чи зв'язками дерева ймовірностей. Обчислити повну ймовірність за успішним виконанням певного завдання можна підсумовуванням певних ймовірностей, які будуть відомі для кінцевої точки шляху (у разі успішного результату) на дереві ймовірностей. У такому методі можна врахувати чинники з деякими уточненнями, наприклад: стрес, викликаний браком часу; навантаження, яке визначає необхідність прийняття рішень і їх реалізації в різних нестандартних ситуаціях; емоційне навантаження тощо.

Слід зазначити, що застосування цього методу може забезпечити непогану наочність, а математичні обчислення, пов'язані з ним, досить прості, що так само призводить до зниження ймовірності появи помилок, які можуть при цьому виникати.

Крім того, наведений метод дозволяє провести оцінку умовної ймовірності виконання робіт із технічного обслуговування й ремонту, яка в іншому випадку може бути отримана тільки на основі розв'язків складних рівнянь невизначеного характеру.

Наведемо приклад, пов'язаний із виконанням завдання оглядачем чи слюсарем із технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів за наявною технологією x і за технічним станом y . Відомо, що оглядач чи слюсар можуть виконати завдання правильно або ж неправильно. Тобто неправильно виконувати ними завдання – це помилки, що з'являються в певній ситуації.

У цьому випадку можна побудувати дерево можливих фіналів і дійти до визначення загальної ймовірності неправильного виконання поставленого завдання. Тоді необхідно покласти в основу статистично незалежні ймовірності виконання завдання x , y .

У дереві можливих результатів необхідно передбачити такі позначення, пов'язані з:

- ймовірністю успішного виконання поставленого завдання (P_S);
- ймовірністю невиконання поставленого завдання (P_F);
- успішним виконанням завдання s ;
- невиконанням поставленого завдання f ;
- ймовірністю успішного виконання поставленого завдання x (P_x);
- ймовірністю успішного виконання поставленого завдання y (P_y);
- ймовірністю невиконання поставленого завдання x (P_{fx});
- ймовірністю невиконання поставленого завдання y (P_{fy}).

Згідно з деревом можливих результатів ймовірність успішного виконання поставленого завдання буде дорівнювати: $P_S = P_x(P_y)$. Аналогічно можна знайти ймовірність невиконання поставленого завдання, яка матиме вигляд: $P_F = 1 - P_x(P_y)$.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Із наведених формул і дерева можливих рішень слід зробити висновок, що єдиний спосіб успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування й ремонту полягає в успішному виконанні обох завдань – як x , так і y . Крім цього із зазначених формул видно, що для ймовірності правильного виконання комплексного завдання існує визначення у вигляді $P_x(P_y)$.

Оцінку надійності роботи, включаючи й людський фактор (оглядачів та слюсарів), необхідно виконувати з урахуванням факторів, пов'язаних:

- із якістю навчання і практичною підготовкою;
- із наявністю якісних інструкцій, які включають неправильне тлумачення;
- з ергономікою робочих місць;
- з адекватною обстановкою робочого місця;
- зі ступенем незалежності дій оглядача чи слюсаря;
- із психологічними навантаженнями.

Слід наголосити на необхідності баз даних людських помилок для проведення аналізу й подальшого прогнозу правильності виконання технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів із дотриманням безпеки руху і з метою недопущення небезпечних ситуацій. Такі бази інформації поділяються на категорії:

- експериментальні дані, що включають результати експериментів. Однак, незважаючи на ретельність формування таких баз даних, їм властива суб'єктивність;
- експлуатаційні дані, отримані в реальних експлуатаційних умовах. Формування таких баз досить важко виконати, оскільки реєстрацію дій необхідно проводити в різних умовах експлуатації вантажних вагонів. Таким базам даних властиві задовільні результати, кращі за попередні бази;
- суб'єктивні дані, які будуються на експертних оцінках. Під час створення таких баз можна обійтися порівняно невеликими фінансовими затратами, а отримання великого обсягу інформації можливе від невеликої кількості опитаних експертів.

Для використання суб'єктивних даних із метою аналізу надійності роботи оглядача чи слюсаря потрібно привести у відповідність:

- необхідний рівень точності даних;
- достовірність експертних оцінок.

Надходження суб'єктивних даних має відбуватися від осіб, які є висококваліфікованими фахівцями і здатні впоратися з такою роботою.

Основною перевагою бази із суб'єктивними даними є багатогранне охоплення різних параметрів, що вимагають наявності інформації про помилки.

Побудуємо модель розвитку ситуації для випадку критичного дефекту вузла вантажного вагона з урахуванням людського фактора, рис. 4.

При цьому види технічних станів вантажних вагонів такі:

- $П$ – працездатний;
- $ОП$ – обмежено працездатний;
- $Н$ – непрацездатний;
- $А$ – аварійний;
- P_1, P_2, P_3 – імовірності відповідних подій.

У розробленій моделі показано 3 можливі стани: працездатний та обмежено працездатний, непрацездатний і аварійний. Для кожного вихідного стану характерний розвиток подій, пов'язаний із помилками проектувальників, із дефектами під час виготовлення деталей і вузлів, із людським фактором.

Тоді граничний рівень дефектності вузла вантажного вагона q_0 з урахуванням людського фактора з обмеженням ризику аварії чи транспортної події на залізниці можна визначити таким чином:

$$q_0 = \frac{P_r(A)}{[P_D P_{ЛФ} (1 - P_{П}) + P_{П} P_{ЛФ} (1 - P_D) + P_D P_{П} (1 - P_{ЛФ})]}, \quad (8)$$

де $P_r(A)$ – імовірність переходу конструкції, вузла вантажного вагона чи технології в несправний стан різної градації.

При цьому ймовірність відмов через людський фактор, у разі неправильних дій оглядача чи слюсаря з технічного обслуговування й ремонту вантажних вагонів, визначають за виразом ($i = 1, n; j = 1, n; j \neq i$):

$$P_{ОЛФ} = P_i \prod_{j=1}^n (1 - P_j), \quad (9)$$

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

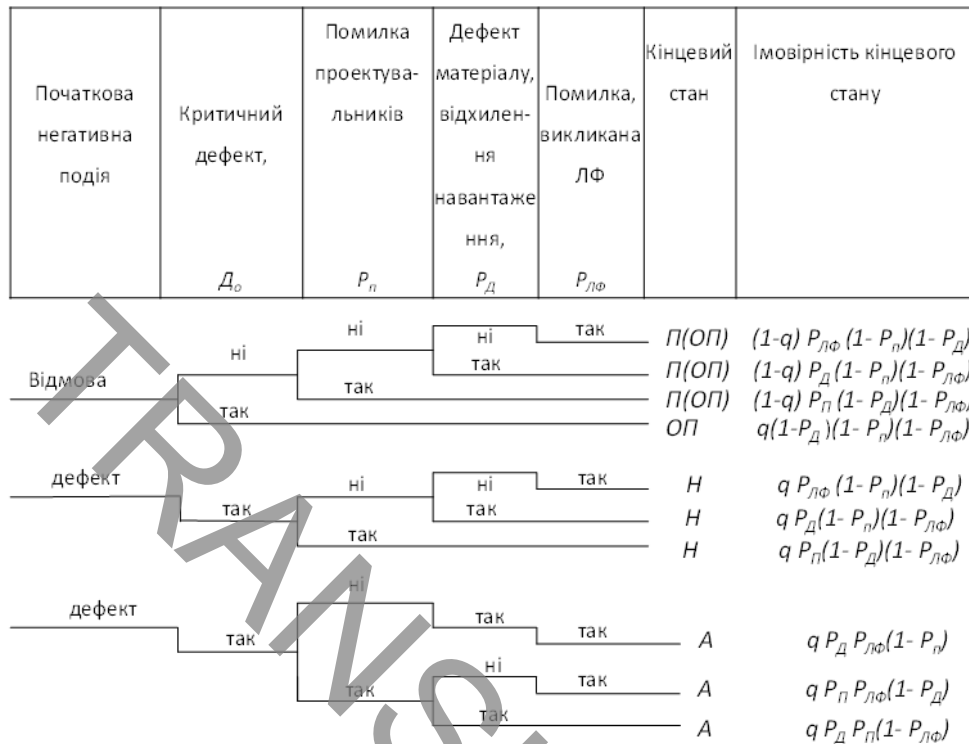


Рис. 4. Модель розвитку ситуації для випадку критичного дефекту вузла вантажного вагона з урахуванням людського фактора

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано величину ймовірності відмов, що пов'язана з людським фактором, розглядати як певну частку загальної ймовірності відмов системи «людина – вантажний вагон». Для цього введено коефіцієнт значущості людського фактора, що впливає на надійність вантажного вагона під час виконання технічного обслуговування.

Для якісної оцінки ризиків на процеси проведення технічного обслуговування вантажних вагонів може бути взята інтерпретація функції бажаності Харрінгтона.

Під час проведення технічного обслуговування й ремонту запропоновано ввести показник, що характеризує дотримання технології проведення робіт із технічного обслуговування

вантажних вагонів з урахуванням людського фактора.

За розробленою моделлю розвитку ситуації для випадку критичного дефекту можна визначити граничний рівень дефектності вузла вантажного вагона внаслідок людського фактора для обмеження ризику аварії чи транспортної події.

Висновки

Складність сучасних технічних систем підвищує ймовірність виникнення помилок. Людський фактор часто інтерпретують і використовують під час експертизи причин аварій і транспортних подій, які спричинили за собою людські жертви або матеріальний збиток. На основі проведеного дослідження можна оцінити вплив людського фактора на виконання технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабаєв, А. М. Візуальний контроль граничних зносів вузлів вагонів / А. М. Бабаєв, В. Ю. Шапошник // Залізн. трансп. України. – 2017. – № 2. – С. 32–38.
2. Барановський, Д. М. Визначення параметрів експлуатаційної надійності вантажних вагонів у системі технічного обслуговування та ремонту / Д. М. Барановський, Л. А. Мурадян // Залізн. трансп. України. – 2016. – № 5/6. – С. 47–52.
3. Капіца, М. І. Неруйнівні методи контролю стану ізоляції електричних машин та високовольтних силових кабелів / М. І. Капіца, Д. В. Бобир // Зб. наук. пр. Дон. ін-ту залізн. трансп. – Донецьк, 2007. – № 12. – С. 127–138.
4. Макаренко, Л. М. Вплив людського чинника на безпеку руху залізничного транспорту / Л. М. Макаренко // Залізн. трансп. України. – 2010. – № 1. – С. 46–51.
5. Мурадян, Л. А. Методологические основы определения эксплуатационных характеристик несамоходного подвижного состава / Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, А. А. Мищенко // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 169–179. doi: 10.15802/stp2016/61044
6. Мурадян, Л. А. Побудова системи дослідження надійності вантажних вагонів / Л. А. Мурадян // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2015. – № 10. – С. 90–95.
7. Мямлин, В. В. Теоретические основы создания гибких поточных производств для ремонта подвижного состава : монография / В. В. Мямлин. – Днепропетровск : Стандарт-Сервис, 2014. – 380 с.
8. Піх, Б. П. Надійність людського чинника як основа безпеки руху / Б. П. Піх, В. П. Думський // Медицина залізничного транспорту України. – 2004. – № 3. – С. 60–61.
9. Правила технічної експлуатації залізниць України : затв. 20.12.96 № 411 / М-во трансп. України. – Харків : Індустрія, 2007. – 117 с.
10. Проблеми існуючої системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів в Україні / С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян, А. М. Бабаєв, А. Л. Пуларія, В. Ю. Шапошник / Проблеми механіки залізничного транспорту. Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження : тези доп. XIV Міжнар. конф. // Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, Ін-т техн. мех. НАН України і нац. косміч. агентства України, ІВП Укртранскад. – Дніпропетровськ, 2016. – С. 89–91.
11. Сидоренко, Г. Г. Людський чинник як основа безпеки руху залізничного транспорту : аналітичний огляд / Г. Г. Сидоренко, О. А. Никифорова // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 6. – С. 86–89. doi: 10.15802/tstt2013/24457
12. Харрингтон, Д. Управление качеством в американских корпорациях : [сокр. пер. с англ.] / Д. Харрингтон ; науч. ред. Л. А. Конарев. – Москва : Экономика, 1990. – 272 с.
13. Человеческий фактор : [пер. с англ.] / Ж. Кристенсен, Д. Мейстер, П. Фоули [и др.] ; под ред. Г. Салвенди. – Москва : Мир, 1991. – Т. 1 : Эргономика – комплексная научно-техническая дисциплина. – 599 с.
14. Чернецкая, Н. Б. Влияние человеческого фактора на безопасность движения на железнодорожном транспорте / Н. Б. Чернецкая, Ю. А. Красникова, Л. Г. Волчок // Вісник Інженерної академії України. – 2010. – Вип. 3-4. – С. 168–172.
15. Bodnar, V. Improving Operation and Maintenance of Locomotives of Ukrainian Railways / V. Bodnar, A. Ochkasov, D. Bobyr // Technologijos ir Menas = Technology and Art. – 2016. – № 7. – P. 109–114.
16. Britton, M. A. Analysis of train derailment cause and outcome in Victoria, Australia, between 2007 and 2013: Implications for regulation / Mark A. Britton, Shima Asnaashari, Gemma J. M. Read // Journal of Transportation Safety & Security. – 2017. – Vol. 9. – Iss. 1. – P. 45–63. doi: 10.1080/19439962.2015.1088906
17. Černiauskaite, L. Research into safe traffic of Lithuanian railway lines / Laura Černiauskaite, Igoris Podagelis, Kazys Sakalauskas // Transport. – 2005. – Vol. 20 (4). – P. 154–159.
18. Marković, M. Fuzzy renewal theory about forecasting mistakes done by a locomotive driver: a Serbian railway case study / Milan Marković, Norbert Pavlović, Miloš Ivić // Transport. – 2011. – Vol. 26. – Iss. 4. – P. 403–409. doi: 10.3846/16484142.2011.641183
19. Roets, B. Shift work, fatigue, and human error: An empirical analysis of railway traffic control / Bart Roets, Johan Christiaens // Journal of Transportation Safety & Security. – 2017. doi: 10.1080/19439962.2017.1376022

20. Shaposhnyk, V. Y. Theoretical studies on the process of change of the technical condition of freight cars in operation / V. Y. Shaposhnyk // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 4 (76). – С. 134–141. doi: 10.15802/stp2018/140782

В. Ю. ШАПОШНИК^{1*}

^{1*}Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 19, эл. почта vladislav.sh91@gmail.com, ORCID 0000-0003-4701-6491

ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ВЫПОЛНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Цель. В научной работе необходимо: 1) исследовать показатели и критерии оценки учета влияния человеческого фактора на безотказность грузовых вагонов; 2) теоретически описать вероятностную модель роли человеческого фактора при выполнении технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов по техническому состоянию; 3) рассмотреть модель развития ситуации для случая критического дефекта узла грузового вагона с учетом человеческого фактора. **Методика.** Для достижения поставленной цели исследования были рассмотрены методологические подходы: 1) к оценке показателей надежности в системе «человек – грузовой вагон» при выполнении технического обслуживания и ремонта; 2) к оценке уровня безопасности движения при переходе от действующей системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов на систему по техническому состоянию. Описана модель развития ситуации для случая критического дефекта узла грузового вагона с учетом человеческого фактора. **Результаты.** Приведен подход к оценке показателей рисков потенциальных отказов грузовых вагонов. В качестве показателей приняты вероятность появления негативных событий (рисков) и возможный экономический ущерб от их проявления. В разработанной модели развития ситуации для случая критического дефекта узла грузового вагона с учетом человеческого фактора показаны три возможных состояния: работоспособное и ограничено работоспособное, неработоспособное и аварийное. Для каждого исходного состояния характерно развитие событий, связанное с ошибками проектировщиков, с дефектами при изготовлении деталей и узлов, с человеческим фактором. **Научная новизна.** Предложено величину вероятности отказов, связанных с человеческим фактором, рассматривать как определенную долю общей вероятности отказов системы «человек – грузовой вагон». Приведена интерпретация функции желательности Харрингтона для случая применения к грузовым вагонам. При проведении технического обслуживания и ремонта предложено ввести показатель, характеризующий соблюдение технологии проведения работ по техническому обслуживанию грузовых вагонов с учетом человеческого фактора. **Практическая значимость.** На основании проведенного исследования можно оценить влияние человеческого фактора на выполнение технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов. По разработанной модели развития ситуации для случая критического дефекта можно определить предельный уровень дефектности узла грузового вагона с учетом человеческого фактора для ограничения риска аварии или транспортного происшествия.

Ключевые слова: грузовой вагон; надежность; человеческий фактор; критический дефект; техническое обслуживание; ремонт

V. Y. SHAPOSHNYK^{1*}

¹Dep. «Cars and Car Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 19, e-mail vladislav.sh91@gmail.com, ORCID 0000-0003-4701-6491

HUMAN FACTOR INFLUENCE ON PERFORMING TECHNICAL MAINTENANCE AND REPAIR OF FREIGHT CARS

Purpose. The scientific work is aimed to: 1) study the indicators and criteria for evaluating the influence of human factor on failure-free operation of freight cars; 2) theoretically describe the probabilistic model of the human factor role during the maintenance and repair of freight cars according to technical state; 3) consider the model of situation development for the case of a critical defect of the freight car unit taking into account the human factor. **Methodology.** In order to achieve this purpose, the methodological approaches were considered: 1) to evaluation of the reliability indicators in the system «man – freight car» during maintenance and repair; 2) to evaluation of the level of traffic safety in case of transition from the existing system of maintenance and repair of freight cars to the system according to technical state. The model of the situation development for the case of a critical defect of the freight car unit with the consideration of the human factor was described. **Findings.** The approach to the evaluation of risk indicators of potential failures of freight cars is given. The probability of occurrence of negative events (risks) and possible economic damage from their manifestation were taken as the indicators. In the developed model of situation development for the case of a critical defect of the freight car unit with the consideration of the human factor, three possible states are shown: workable and limited workable, unworkable and emergency. Each initial state is characterized by the development of events, which is associated with designers' errors, with defects during manufacture of parts and units, with human factor. **Originality.** It is proposed to consider the value of the failure probability, which is related to the human factor, as a certain proportion of the overall probability of failure of the system «man – freight car». The interpretation of Harrington's desirability function for the case of application to freight cars is given. During maintenance and repair, it is suggested to introduce an indicator that characterizes the observance of the technology of use of maintenance services for freight cars, taking into account the human factor. **Practical value.** Based on the conducted research it is possible to evaluate the influence of the human factor on the maintenance and repair of freight cars. According to the developed model of situation development for the case of a critical defect it is possible to determine the critical level of the defect of the freight car unit taking into account the human factor to limit the risk of an accident or transport event.

Keywords: freight car; reliability; human factor; critical defect; maintenance; repair

REFERENCES

1. Babaiev, A. M., & Shaposhnyk, V. Y. (2017). Vizualnyi kontrol hranychnykh znosiv vuzliv vahoniv. *Zaliznychnyj transport Ukrainy*, 2, 32-38. (in Ukrainian)
2. Kapitsa, M. I., & Bobyr, D. V. (2007). Neruinivni metody kontroliu stanu izoliatsii elektrychnykh mashyn ta vysokovoltnykh sylovykh kabeliv. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu*, 12, 127-138. (in Ukrainian)
3. Makarenko, L. M. (2010). Vplyv liudskoho chynnyka na bezpeku rukhu zaliznychnoho transportu. *Zaliznychnyj transport Ukrainy*, 1, 46-51. (in Ukrainian)
4. Baranovskyi, D. M., & Muradian, L. A. (2016). Vyznachennia parametriv ekspluatatsiinoi nadiinosti vantazhnykh vahoniv u systemi tekhnichnoho obsluhovuvannia ta remontu. *Zaliznychnyj transport Ukrainy*, 5/6, 47-52. (in Ukrainian)
5. Muradian, L. A., Shaposhnyk, V. Y., & Mischenko, A. A. (2016). Methodological Fundamentals of Determination of Unpowered Rolling Stock Maintenance Characteristics. *Science and Transport Progress*, 1(61), 169-179. doi: 10.15802/stp2016/6104 (in Russian)
6. Muradian, L. A. (2015). Pobudova systemy doslidzhennia nadiinosti vantazhnykh vahoniv. *Electromagnetic Compatibility and Safety on Railway Transport*, 10, 90-95. (in Ukrainian)
7. Myamlin, V. V. (2014). Teoreticheskie osnovy sozdaniya gibkikh potochnykh proizvodstv dlya remonta podvizhnogo sostava: monografiya. Dnepropetrovsk: Standart-Servis. (in Russian)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

8. Pikh, B. P., & Dums'kyi, V. P. (2004). The reliability of the human element as the basis of train driving safety. *Medytsyna zaliznychnoho transportu Ukrainy*, 3, 60-61. (in Ukrainian)
9. *Pravyla tekhnichnoi ekspluatatsii zaliznyts Ukrainy*. (2007). Kharkiv: Industriia. (in Ukrainian)
10. Miamlin, S. V., Muradian, L. A., Babaiev, A. M., Pulariia, A. L., & Shaposhnyk, V. Y. (2016). Problemy isnuiochoi systemy tekhnichnoho obsluhovuvannia ta remontu vantazhnykh vahoniv v Ukraini. *Problemy mekhaniky zaliznychnoho transportu. Bezpeka rukhu, dynamika, mitsnist rukhomoho skladu ta enerhozberezhennia: tezy dopovidei KhIV Mizhnarodnoi konferentsii*. Dnipropetrovsk: Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. (in Ukrainian)
11. Sydorenko, H. H., & Nykyforova, O. A. (2013). The Human Factor as a Basis for Traffic Safety Railway Transport: Analytical Review. *Transport Systems and Transportation Technologies*, 0(6), 86-89. doi: 10.15802/tst2013/24457 (in Ukrainian)
12. Kharrington, D. (1990). *Upravlenie kachestvom v amerikanskikh korporatsiyakh*. Moscow: Ekonomika. (in Russian)
13. Kristensen, Zh., Meyster, D., Fouli, P., & Salvendi, G. (Ed). *Chelovecheskiy faktor*. (Vol. 1). Moscow: Mir. (in Russian)
14. Chernetskaya, N. B., Krasnikova, Y. A., & Volchok, L. G. (2010). Vliyanie chelovecheskogo faktora na bezopasnost dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte. *Bulletin of Engineering Academy of Ukraine*, 3-4. 168-172. (in Russian)
15. Bodnar, B., Ochkasov, A., & Bobyr, D. (2016). Improving Operation and Maintenance of Locomotives of Ukrainian Railways. *Technologies in Menas = Technology and Art*, 7, 109-114. (in English)
16. Černiauskaite, L., Podagelis, J., & Sakalauskas, K. (2005). Research into safe traffic of Lithuanian railway lines. *Transport*, 20(4), 154-159. (in English)
17. Britton, M. A., Asnaashari, S., & Read, G. J. M. (2016). Analysis of train derailment cause and outcome in Victoria, Australia, between 2007 and 2013: Implications for regulation. *Journal of Transportation Safety & Security*, 9(1), 45-63. doi: 10.1080/19439962.2015.1088906 (in English)
18. Marković, M., Pavlović, N., & Ivić, M. (2012). Fuzzy Renewal Theory About Forecasting Mistakes Done by a Locomotive Driver: a Serbian Railway Case Study. *Transport*, 26(4), 403-409. doi: 10.3846/16484142.2011.641183 (in English)
19. Roets, B., & Christiaens, J. (2017). Shift work, fatigue, and human error: An empirical analysis of railway traffic control. *Journal of Transportation Safety & Security*, 1-18. doi: 10.1080/19439962.2017.1376022 (in English)
20. Shaposhnyk, V. Y. (2018). Theoretical studies on the process of change of the technical condition of freight cars in operation. *Science and Transport Progress*, 4(76), 134-141. doi: 10.15802/stp2018/140782 (in English)

Надійшла до редколегії: 06.08.2018

Прийнята до друку: 15.11.2018