

УДК 656:338

**МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ
БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ**

Аулін В.В., д.т.н., проф.

Голуб Д.В., к.т.н., доц.

Луценко А.С., магістрант

Центральноукраїнський національний технічний університет

Abstract

Functional reservation is considered as one of the methods of providing and improving the reliability of transport systems, which implies the presence of additional functional capabilities of participants in the transport process for switching to backup modes of work in the event of emergencies of extraordinary situations. It was revealed that due to the increase of functional capacity reserves, the number of failures in the process of transportation of goods and passengers decreases. It is substantiated that functional reserve provides for increasing the reliability of the transportation process without reducing its efficiency. In this case, the mechanisms of formation and increase of reserves are based on organizational principles and do not require large investments. In this regard, the costs of providing reliability are significantly lower than the cost of maintaining material and technical and labor resources reserves and increasing with the negative consequences of failures in the transport system. Formation of the methodology for ensuring the reliability of transport systems was reflected on the basis of the principle of multifunctional work of their elements.

Keywords: transport system, transportation process, reliability, function, reservation

Вступ

Будь-яка технологічна операція є закінченою частиною технологічного процесу перевезень, що виконується одним або декільком виконавцями на одному робочому місці. Це визначення можна застосувати для характеристики технологічних операцій будь-якого технологічного, у тому числі і транспортного процесів. У виконанні окремої технологічної операції можуть бути задіяний як один, так і декілька його учасників. Один і той учасник процесу перевезень вантажів і пасажирів може самостійно виконати одну або комплекс технологічних операцій, тобто робота учасників процесу перевезень характеризується багатофункціональністю. Багатофункціональна робота може виявлятися в трьох видах транспортного процесу: при усуненні наслідків аварійної ситуації в ході перевезень вантажів і пасажирів; при поєднанні його учасниками функцій, що виконуються; при перепрофілюванні діяльності учасників процесу перевезень вантажів і пасажирів. Будь-яка аварійна ситуація, викликана відмовою, що виникла під час перевезень, як правило, приводить до змін в технології роботи його учасників. Робота або всіх учасників, або певної їх групи переходить в режим усунення наслідків аварії. Група, що при цьому залишилася, може припинити своє функціонування, а може функціонувати в

звичайному режимі. Останній варіант можливий лише за наявності в транспортно-технологічній схемі перевезень вантажів і пасажирів резервних каналів і посередників-дублерів. Початок режиму усунення наслідків аварії припускає припинення виконання основної роботи і початок виконання іншої функції, направленої на усунення або зниження негативних наслідків виниклої відмови.

При організації високонадійних транспортно-технологічних схем перевезень вантажів і пасажирів порядок дії учасників процесу перевезень при настанні позаштатних ситуацій позначаються в договорі на перевезення до моменту його підписання. Деякі аварійні ситуації на автомобільному транспорті є типовими, наприклад, дорожньо-транспортна подія (ДТП) або технічна несправність транспортного засобу (ТЗ) на лінії. Алгоритм дії і зразкова тривалість режиму усунення наслідків аварії при типових ситуаціях стандартний і відомий наперед. Робота учасника процесу перевезень вантажів і пасажирів в режимі усунення наслідків аварії є резервною (допоміжною) функцією, а робота в звичайному режимі - основною функцією.

Можливість здійснення одним і тим же учасником процесу перевезень неоднорідних по складу і прийомам виконання робіт, передбачених технологією перевезень є поєднанням функцій. При цьому функції, що суміщаються, можуть здійснюватися виконавцем послідовно щодо один одного або одночасно (паралельно в часі). Паралельне виконання технологічних операцій повинне бути регламентовано технологічною картою і нормами охорони праці. Особливістю даного виду багатофункціональної роботи є те, що у ряді випадків неможливо виділити основні і резервні функції, оскільки процес перевезень протікає в штатному режимі.

Третій різновид багатофункціональної роботи учасників процесу перевезень вантажів і пасажирів є перепрофілювання, тобто зміна виду діяльності, пов'язана з припиненням участі в процесі перевезень. Основними причинами перепрофілювання, що найбільш часто зустрічаються в даний час на автомобільному транспорті, є: втрата конкурентоспроможності виконавця заявлених робіт; спад попиту на транспортні послуги; заборона на заняття діяльністю.

Перепрофілювання є інструментом забезпечення фінансової стабільності підприємства, утриманням його на ринку. Такий вид багатофункціональності є інструментом боротьби з тимчасовими труднощами, що виникли в діяльності організації. Як правило, при стабілізації фінансової ситуації на ринку, велика частина учасників процесу перевезень повертаються до виконання колишніх докризових функцій. Проте, як показує практика, не рідкісні випадки успішної роботи колишніх автоперевізників в інших сферах після зміни виду діяльності.

Оскільки перепрофілювання направлено на збереження учасником процесу перевезень своєї життєздатності, справедливим буде твердження, що цей вид багатофункціональної роботи є методом забезпечення надійності

організації, як комерційної структури. На надійність транспортної системи перепрофілювання здійснює не прямий, а опосередкований вплив.

Багатофункціональність відображається на формі постановки і методики вирішення завдань резервування для забезпечення надійності транспортної системи і її становлячих елементів. Складність полягає в тому, що оцінювати надійність роботи багатофункціонального об'єкту вимагається не по одній, а по всіх виконуваних функціях. Оцінювати надійність учасника процесу перевезень вантажів і пасажирів по кожній з виконуваних ним функцій з подальшим розрахунком результуючого показника надійності некоректно.

Аналіз попередніх досліджень

Автори робіт [1, 2] вказують на різноманітність форми проведення досліджень проблеми забезпечення та підвищення надійності транспортних систем та не існування єдиної універсальної схеми.

В.М. Курганов зазначає, що дослідження ефективності та надійності транспортних систем, з урахуванням невизначених факторів детермінованої природи, значною мірою ускладнюється в зв'язку з відсутністю загальної теорії, що безумовно впливатиме на формування методології вивчення явищ з невизначеними чинниками або факторами [5].

Положення, що орієнтовані на узагальнену схему дослідження проблеми забезпечення та підвищення надійності функціонування транспортних систем розглянуті в роботах Г.Д. Кокорева [2, 3, 4], але остаточно не розроблені.

А.П. Ротштейн [6] при дослідженні проблеми підвищення ефективності і забезпечення необхідного рівня надійності транспортних систем виділяє такі групи факторів: ефективність і надійність, умови функціонування, способи використання (застосування).

Особливого статусу при дослідженні цієї проблеми І.Г. Шурапов [7] надає етапу її проблемного аналізу. Разом з тим не в повній мірі дана на цьому етапі сукупність дій в процесі дослідження проблеми.

Постановка проблеми

Невизначеність потоку вирішуваних завдань пов'язана з неможливістю розрахунку надійності виконання багатофункціональним об'єктом однієї або декількох технологічно зв'язаних функцій, оскільки за даний період часу їх може просто не спостерігатися. Складність виділення в роботі багатофункціонального об'єкту основних і допоміжних функцій, виключає можливість встановлення числа резервних і резервованих з'єднань, вигляду і кратності резервування. Тому багатофункціональні об'єкти неможливо класифікувати у відповідність по класифікаційних ознаках. Невідповідність структури взаємозв'язків виконуваних багатофункціональним об'єктом функцій виду його взаємозв'язку з іншими елементами транспортної системи не дозволяє побудувати структурно-функціональну схему роботи транспортної системи. Це виключає можливість застосування для розрахунку надійності багатофункціональних об'єктів формули для визначення надійності. Ці способи оцінки надійності не застосовні для багатофункціональних об'єктів також

внаслідок відсутності інформації про спосіб включення перемикача в структурно-функціональну схему транспортної системи. Крім того, в більшості випадків перемикач як окремий елемент транспортної системи може бути відсутній у багатофункціонального об'єкту.

Аналізуючи застосування в транспортних системах принципу багатофункціональної роботи учасників процесів перевезень вантажів і пасажирів можна зробити висновок, що в даний час відсутній достатньо надійний математичний інструментарій оцінки, як надійності багатофункціональних об'єктів на автомобільному транспорті, так і транспортних систем в цілому, в структурі яких задіяні функціональні резерви. Є потреба в розробці математичної моделі оцінки показників надійності транспортної системи при її функціональному резервуванні. Головними вимогами до даної математичної моделі є її працездатність на основі даних придатних для оцінки надійності монофункціональних об'єктів, а також можливість використання в інженерних розрахунках.

Мета та завдання

Розробка математичної моделі оцінки показників надійності автомобільних транспортних систем при їх функціональному резервуванні.

Результати вирішення основних завдань

При оцінці надійності роботи багатофункціональної транспортної системи необхідно враховувати наступні особливості [8]:

- виробничі ситуації по ходу процесу перевезень вантажів і пасажирів можуть змінюватися в певній послідовності, тому завдання, які необхідно вирішити, і активізація його функцій може відбуватися у завчасно відомій черговості;

- виробничі ситуації по ходу процесу перевезень вантажів і пасажирів можуть змінюватися у випадковому порядку, тому активізація функцій багатофункціональної системи може відбуватися довільно.

Строга послідовність в зміні виробничих ситуацій на автомобільному транспорті спостерігається при функціонуванні транспортної системи в штатному режимі. В цьому випадку для підвищення і забезпечення її надійності використовують такий вид функціонального резервування, як поєднання функцій. Послідовність активізації технологічно зв'язаних функцій багатофункціональної транспортної системи відома до початку процесу перевезень. Вона регламентована технологічними картами ведення робіт, а також посадовими інструкціями виробничого персоналу. Прикладом встановленої послідовності в активації функцій багатофункціональної системи, є робота автомобіля-сміттєвозу, коли в строгій черговості здійснюється перемикання функції водія автомобіля на функцію машиніста грейферного маніпулятора.

Випадкова зміна виробничих ситуацій характерна для транспортної системи при відхиленні його параметрів від встановлених значень, тобто при настанні відмов. В цьому випадку учасники процесу перевезень перемикаються на режим усунення наслідків аварії. Відбувається активізація допоміжних

функцій у багатофункціональних транспортних системах. Монофункціональні учасники процесу перевезень перестають функціонувати, у разі відсутності резервних каналів.

При успішному вирішенні проблеми, що виникла, багатофункціональна система повертається до виконання колишньої функції. Система може продовжити колишню роботу з тієї метою на якій вона була перервана. Можливо також її функціонування з початку перерваної функції, «забувши» минуле і почавши працювати з нуля. Активний або неактивний стан функцій, що мають місце за даний період часу T є повною групою подій, тобто сукупність подій одна з яких повинна обов'язково відбутися. Використання цієї термінології для опису роботи багатофункціональних транспортних систем дозволяє сформулювати принцип оцінки їх надійності. Ці оцінки ґрунтуються на визначенні ймовірності складних подій, що припускають як сумісну, так і несумісну їх появу.

Оцінка надійності багатофункціональної транспортної системи, що працює в режимі усунення наслідків аварії, методологічно відрізняється від оцінки надійності багатофункціональної системи, що працює в режимі поєднання функцій. В першому випадку активація функцій є чергуванням несумісних подій. Це твердження є справедливим, оскільки виконання основної і аварійної функції в системі не може відбуватися одночасно. Оцінка ймовірності несумісних подій в теорії ймовірності ґрунтується на правилі: якщо система має декілька можливих несумісних шляхів переходу в інший стан, то ймовірність переходу дорівнює сумі ймовірності здійснення кожного з них. Несумісні шляхи переходу - це шляхи, які не можуть реалізовуватися одночасно.

Функціонування двофункціональної системи в режимі усунення наслідків аварії можна представити як роботу двох монофункціональних систем, що мають паралельне з'єднання заміщенням. При настанні аварійної ситуації основний елемент вимикається з роботи і його заміщає резервний елемент, дії якого здійснюються по іншому алгоритму, ніж дії основного елемента. Використовуючи цю аналогію можна стверджувати, що активація функцій багатофункціональної системи відбувається по схемі структурного резервування заміщенням. Слід зазначити, що цей вид структурного резервування не припускає збільшення числа послідовно з'єднаних елементів в структурній схемі надійності транспортної системи. Тому використання функціонального резервування для вирішення виникаючих внаслідок аварійних ситуацій завдань, дає такий самий вигравш надійності, як і структурний резерв, задіяний в транспортній системі, за допомогою заміщення елемента, що втратив працездатність.

Математичним апаратом оцінки надійності багатофункціональних транспортних систем, що працюють в режимі усунення наслідків аварії, будуть фор. 5 і 7. Разом з тим використання багатофункціональних транспортних систем дозволяє істотно скоротити витрати на забезпечення їх надійності, оскільки загальне число учасників істотно менше. Тому, при формуванні транспортно-технологічної схеми перевезень вантажів або пасажирів з використанням

багатофункціональних систем немає значення в порівнянні рівня надійності транспортної системи при використанні функціональних і структурних резервів, оскільки завжди виконуватиметься рівність:

$$P_{\text{функц. резервування } e} = P_{\text{структурн. резервування } e} \Rightarrow B = 0, \quad (1)$$

де $P_{\text{функц. резервування } e}$ - критерій надійності транспортної системи при використанні функціональних резервів; $P_{\text{структурн. резервування } e}$ - критерій надійності транспортної системи при використанні структурних резервів; B - виграш надійності.

В цьому випадку необхідно порівнювати не рівень надійності, а витрати на функціональне і структурне резервування за весь термін служби багатофункціональної системи. Тобто підставою для використання функціональних резервів, при виникненні в роботі транспортної системи аварійних ситуацій служить нерівність:

$$Z_k + Z_e + Z_{\text{навч}} < \sum_i^n (Z_k + Z_e)_i, \quad (2)$$

де Z_k - вартість устаткування, необхідного для виконання функцій; Z_e - експлуатаційні витрати; $Z_{\text{навч}}$ - витрати на навчання обслуговуючого персоналу і підтримку необхідного рівня його кваліфікації; $(Z_k + Z_e)_i$ - витрати на експлуатацію монофункціональних підсистем, обслуговуючих такий комплекс функцій, що і багатофункціональна система; n - кількість функцій у багатофункціональній системі.

Робота багатофункціональної системи в режимі поєднання функцій також як і робота в режимі усунення наслідків аварії характеризується почерговою активацією необхідних функцій. Проте, якщо в другому випадку чергування відбувається у випадковому порядку, то поєднання функцій відбувається плановірно і послідовно у відповідність з технологічними регламентами виконання операцій процесу перевезень вантажів і пасажирів.

Функціонування двофункціональної системи в режимі поєднання функцій можна представити як роботу двох монофункціональних підсистем, що мають послідовний взаємозв'язок. За підсумками виконання початкової технологічної операції, включається в роботу друга підсистема, що виконує підсумкову операцію. При багатофункціональній роботі ці операції виконуються не двома підсистемами, а однією системою. Для чого при виконанні підсумкової технологічної операції активізується друга функція. Виконання комплексу функцій меншим числом підсистем або структурних елементів є принципом виграшу надійності при використанні функціональних резервів.

Даний принцип працює як при послідовному, так і при паралельному поєднанні багатофункціональною системою технологічних операцій процесу перевезень. Послідовне поєднання функцій транспортних систем має місце,

наприклад, при виробництві робіт по фарбуванню кузовного елемента транспортного засобу.

Паралельне поєднання технологічних операцій характерно для роботи автомеханіка, що виконує функції наставника. Така робота припускає виконання автомеханіком основних функцій по технічному обслуговуванню і ремонту автомобіля паралельно з постановкою завдання і подальшим контролем якості роботи на двох-трьох постах, де працюють стажисти. Не дивлячись на те, що така організація робіт вимагає додаткових витрат засобів на устаткування оглядових каналів сполучними траншеями або тунелями, істотний вигрash надійності при цьому реалізується від зменшення числа робітників, задіяних в ремонтному процесі.

Вигрash надійності при використанні багатофункціональних транспортних систем в режимі поєднання функцій визначається по формулі:

$$B = P_{\text{БФО}} - \prod_{i=1}^n P_i, \quad (3)$$

де $P_{\text{БФО}}$ - критерій надійності роботи багатофункціональної системи, в режимі поєднання функцій; P_i - критерій надійності роботи монофункціональної системи або підсистеми, що виконує i -ту функцію.

Розробка методики оцінки показника $P_{\text{БФО}}$ вимагає пояснення поняття працездатного стану багатофункціональної транспортної системи. Багатофункціональна система знаходитиметься в працездатному стані, якщо за даний період часу T були активовані всі функції, які дана система повинна виконувати. Проте у разі, коли які-небудь функції за період часу не були активовані, внаслідок відсутності технологічної необхідності, ця система також знаходитиметься в стані працездатності. Робота багатофункціональної системи в режимі поєднання функцій є потоком сумісних подій. На відміну від несумісних подій вони не є тими, що взаємовиключаються, також як і ті функції, що суміщаються одним в транспортній системі. Тому оцінка показника надійності роботи багатофункціональної системи в режимі поєднання функцій заснований на визначенні ймовірності сумісної появи подій.

Якщо має місце двофункціональна система, то активація функції $f_1(t)$ є подією A , а активація функції $f_2(t)$ - подією B . Сутність визначення ймовірності сумісної появи подій $A \cap B$ проілюстровано на рис. 1.

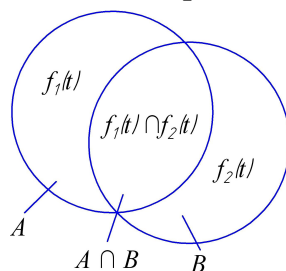


Рисунок 1 Ілюстрація до оцінки показника надійності роботи двофункціональної транспортної системи в режимі поєднання функцій

Ймовірність того, що відбудеться подія A або подія B визначається по формулах:

$$\begin{aligned} P(A) &= \frac{S_A}{S}, \\ P(B) &= \frac{S_B}{S}, \end{aligned} \quad (4)$$

де S_A, S_B, S - площі відповідно області A , області B і прямокутного поля.

При цьому ймовірність сумісної появи даних подій дорівнює:

$$P(A \cap B) = \frac{S_{A \cap B}}{S}. \quad (5)$$

Приведена формула показує прямий спосіб оцінки ймовірності сумісної появи подій: відношення числа випадків, коли з'явилися обидві події до загального числа можливих випадків. Важливим моментом є визначення зв'язку ймовірності складної події ($A \cap B$) з ймовірністю становлячих його подій. Множення чисельника і знаменника правої частини фор. (5) на величину S дозволить отримати ймовірність події A . Крім того, в результаті перетворень виходить наступна величина:

$$P(B/A) = \frac{S_{A \cap B}}{S_A}. \quad (6)$$

На відміну від рівності (5) площа $S_{A \cap B}$ відноситься не до всієї площі S , а тільки до площі S_A . Це означає, що подія A обов'язково відбудеться, але подія B може відбутися або не відбутися. Ймовірність події B визначатиметься співвідношенням (6) як умова ймовірності події B , за умови, що подія A вже відбулася. З урахуванням приведеної рівності отримується формула:

$$P_{БФО} = P(A) \cdot P(B/A), \quad (7)$$

де $P(A)$ - критерій надійності виконання початкової функції; $P(B/A)$ - критерій надійності виконання заключної функції, за умови успішного завершення початкової функції.

У фор. (7) після останнього знака рівності приведений вираз для розрахунку шуканої величини з урахуванням умовної ймовірності події A . Оскільки подія B є заключною функцією $f_2(t)$, в оцінках надійності транспортної системи використовуватиметься вираз з величиною $P(B/A)$. Збільшення кількості функцій у багатфункціональній системі n приведе до збільшення числа доданків у цій формулі.

Висновки

1. Розглянуто функціональне резервування як одним з методів забезпечення та підвищення надійності транспортних систем, який припускає наявність у учасників транспортного процесу додаткових функціональних можливостей перемикавання на резервні режими роботи при виникненні позаштатних ситуацій.

2. Виявлено, що за рахунок збільшення резервів функціональних можливостей зменшується число відмов в процесі перевезень вантажів і пасажирів.

3. Обґрунтовано, що функціональне резервування забезпечує підвищення надійності процесу перевезень без зменшення його ефективності. При цьому механізми формування і нарощування резервів ґрунтуються на організаційних засадах і не вимагають великих капіталовкладень. В зв'язку з цим витрати на забезпечення надійності значно нижчі за витрати на утримання резервів матеріально-технічних і трудових ресурсів і збільшуються при негативних наслідках від збоїв в транспортній системі.

Література

1. Бочкарев А.А. Проблема надежности цепи поставок / А.А. Бочкарев, П.А. Бочкарев / Логистика: современные тенденции развития: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. 15, 16 апреля 2010 г. /ред. кол.: В.С. Лукинский и др. - СПб.: СПбГИЭУ, 2010. - с. 64-67.

2. Кокорев Г.Д. Исследование сложных организационно-технических систем с помощью математических моделей / Г.Д. Кокорев // Материалы ХLI научно- технической конференции университета. - Челябинск: ЧГАУ, 2002. - С. 121-123.

3. Кокорев Г.Д. Состояние теории создания объектов современной техники / Г.Д. Кокорев // Сборник научных трудов РГСХА. - Рязань: РГСХА, 2001. - С. 425-427.

4. Кокорев Г.Д. Моделирование надежности автомобильной техники на этапах жизненного цикла / Г.Д. Кокорев // Сборник научных трудов ВАИ. Вып. 11. - Рязань: ВАИ, 2001. - С. 17-24.

5. Курганов В.М. Параметры надежности транспортных систем / В.М. Курганов, М.В. Грязнов / Бюллетень транспортной информации, № 11 (185), ноябрь 2010. - С. 34-36.

6. Ротштейн А.П. Моделирование и оптимизация надежности многомерных алгоритмических процессов / А.П. Ротштейн, С.Д. Штовбас, А.Н. Козачко. – Винница: "УНІВЕРСУМ-Вінниця", 2007. – 215 с.

7. Шурпатов И.Г. Проблема обеспечения надежности логистических систем / И.Г. Шурпатов / Логистика: современные тенденции развития: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. 15, 16 апреля 2010 г. / ред. кол.: В.С. Лукинский и др. - СПб.: СПбГИЭУ, 2010. - С. 455-458.

8. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія: під. заг. ред. проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017.–370 с.