

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

© Тхорук Є. І., Кучер О. О., Голотюк М. В., 2017

Розглянуто надійність транспортної системи як сукупності множини підсистем. Сформовано вирази ймовірностей знаходження транспортної системи у працездатному стані та у стані відмови залежно від станів її підсистем. Визначено коефіцієнт готовності транспортної системи як функцію від коефіцієнтів готовності окремих підсистем.

Ключові слова: коефіцієнт готовності транспортної системи, стани транспортної системи, інтенсивність відмов, інтенсивність заходів щодо відновлення.

Y. Tkhoruk, O. Kucher, M. Holotyuk

EVALUATION OF INDICATORS OF RELIABILITY OF TRANSPORT SYSTEMS

The article considers the reliability of the transport system as an aggregate of set subsystems. Expressions of probability of finding the transport system in working condition and in state of failure depending on the state of its subsystems been formulated. The readiness coefficient of the transport system as a function of the coefficients of readiness of its individual subsystems is determined.

Keywords: the readiness coefficient of the transport system, states of transport system, rate of failure, intensity of measures for recovery.

Формулювання проблеми. У логістичному процесі транспорт є однією з найважливіших ланок у транспортуванні вантажів від виробників до споживачів. Різноманітність експлуатаційних та технологічних умов під час перевезень висуває особливі вимоги до транспортної системи та коригування нормативів надійності транспортного процесу. Показник надійності транспортної системи є одним з основних щодо якості та ефективності її функціонування, що проявляється в часі і відображає зміни, що відбуваються в системі протягом усього терміну її експлуатації. Транспортна система є складною системою з множиною підсистем, які, своєю чергою, містять велику кількість елементів.

Стан системи визначається параметрами і початковими характеристиками складових системи. Справність і працездатність підсистем та їхніх елементів в разі виникнення відмови підлягають відновленню. Закономірності переходів стану елементів системи із справного, працездатного стану у несправний, непрацездатний і, нарешті, у граничний стан та повернення її до працездатного стану характеризують властивості надійності транспортних систем як складних технічних систем. Одним із основних показників надійності транспортної системи є коефіцієнт її готовності, який є комплексним і залежить від коефіцієнтів готовності кожної з її підсистем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Незалежно від об'єкта застосування, проблеми підвищення надійності завжди приділяли велику увагу. Для її вивчення сформовано окремий науковий напрям – теорію надійності, прикладами основних праць для неї є зокрема дослідження багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених [1]. Формування теорії надійності транспортних систем на сьогодні не завершено. Тому велика частина організаційно-технологічних рішень щодо зниження кількості відмов ґрунтується на знанні методології розв'язання проблем безпеки дорожнього руху, технічної експлуатації автомобілів, ситуаційного управління автомобільними перевезеннями, теорії надійності технічних систем, ризик-менеджменту, управління ланцюгами постачань та інших наукових напрямків.

В. М. Курганов, М. В. Грязнов, А. І. Бойко вважають, що становлення теорії надійності транспортних систем потребує кореляції з надійністю технічних систем, оскільки для підвищення якості доставки вантажів і пасажирів, як і в техніці, застосовують резервування [2, 3]. А. С. Пронников, Г. В. Дружинин розглядають надійність системи на основі визначення функції готовності системи, що складається з n підсистем. У такому разі функція готовності системи характеризує ймовірність знаходження системи в працездатному стані у будь-який момент часу [4, 5]. Розрахунками надійності технічних об'єктів відносно надійності ланцюгів поставок займались А. А. Бочкар'єв, П. А. Бочкар'єв [6], Е. И. Зайцев [7], А. Г. Некрасов, Л. Б. Миротин, Е. В. Меланич [8]. Питанням дослідження основних принципів забезпечення працездатності автомобільних транспортних засобів, на основі дослідження їх надійності, присвячені роботи В. Я. Аніловича, О. С. Грінченка, В. В. Карабіна [9], О. В. Бажинова [10], В. М. Варфоломєєва, В. П. Волкова, А. П. Кравченко, Н. Н. Апекса [11] та багатьох інших авторів. Аналіз досліджень С. В. Репіна, М. І. Гріффа, С. Е. Канторера, А. П. Ковальова показує, що ефективність експлуатації машин значною мірою визначається рівнем їх надійності, що формується на всіх етапах життєвого циклу [12]. Окрім зниження ефективності та продуктивності, недостатність надійності підвищує техногенний ризик (В. В. Болотін, А. М. Половко, В. І. Едельман), що характеризує імовірність відмов транспортних засобів, що призводять до аварій, економічних, екологічних та інших видів збитків, що знижує ефективність [13–15]. Тому особливо важливо управляти надійністю саме на етапі експлуатації.

Формулювання мети. Метою роботи є встановлення залежності надійності транспортної системи від надійності її підсистем та визначення коефіцієнта готовності транспортної системи як функції від коефіцієнтів готовності окремих підсистем.

Виклад основного матеріалу. Для отримання аналітичних виразів показників надійності транспортної системи припустимо, що транспортна система функціонує за такою схемою: підсистеми й елементи, що відмовили, починають відновлювати; відсутні обмеження на кількість відновлень; відмова одного з елементів або підсистем спричиняє відмову транспортної системи загалом. Можливі стани транспортної системи, що функціонує за запропонованою вище схемою, можна зобразити у вигляді орієнтованого графу станів (рис. 1): стан X_0 відповідає стану транспортної системи, коли всі підсистеми працездатні, тобто транспортна система знаходиться в працездатному стані у будь-який момент часу; стан X_1 відображає стан транспортної системи, коли підсистема 1 непрацездатна, а інші підсистеми працездатні; стан X_2, X_3, \dots, X_n відображає стан транспортної системи, коли підсистема відповідно 2, 3, ..., n непрацездатна, а інші підсистеми працездатні.

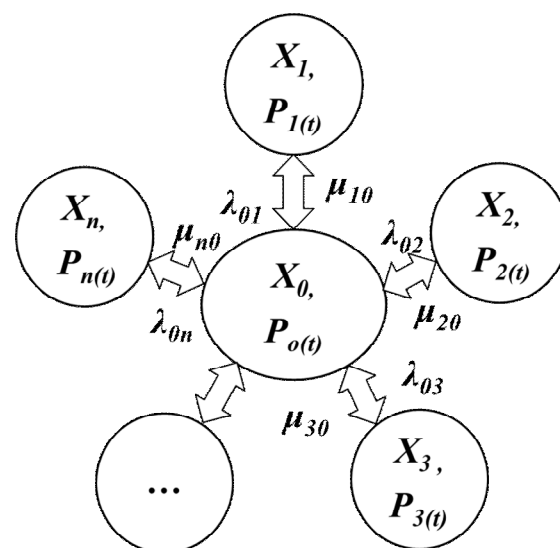


Рис. 1. Граф можливих станів транспортної системи як відновлюваної системи:
 $\lambda_{0i}, i = 1 \dots n$ – інтенсивність відмов i -ї підсистеми;
 $\mu_{i0}, i = 1 \dots n$ – інтенсивність відновлення i -ї підсистеми

При цьому вважають, що ймовірність P одночасної появи двох і більше непрацездатних підсистем доволі мала.

Використання такого графу дає можливість математично описати стан системи та визначити основні показники надійності транспортної системи, зокрема функцію готовності її $K_r(t)$ як системи, що складається з n елементів. Згідно з графом станів складено систему диференціальних рівнянь Колмогорова–Смирнова:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= I_{01} \cdot P_0(t) - m_{10} \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= I_{02} \cdot P_0(t) - m_{20} \cdot P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= I_{03} \cdot P_0(t) - m_{30} \cdot P_3(t) \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{dP_n(t)}{dt} &= I_{0n} \cdot P_0(t) - m_{n0} \cdot P_n(t) \\ \frac{dP_0(t)}{dt} &= m_{10} \cdot P_1(t) + m_{20} \cdot P_2(t) + m_{30} \cdot P_3(t) + \dots + m_{n0} \cdot P_n(t) - P_0(t) \cdot \sum_{i=1}^n I_{0i} \end{aligned} \quad (1)$$

Для виразу (1) впливає умова

$$\sum_{i=1}^n P_i(t) = 1. \quad (2)$$

Приймаємо, що режим експлуатації транспортної системи усталений. Тоді диференціальні рівняння (1) можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} I_{01} \cdot P_0 &= m_{10} \cdot P_1 \\ I_{02} \cdot P_0 &= m_{20} \cdot P_2 \\ I_{03} \cdot P_0 &= m_{30} \cdot P_3 \\ &\dots\dots\dots \\ I_{0n} \cdot P_0 &= m_{n0} \cdot P_n \end{aligned} \quad (3)$$

$$P_0 \cdot \sum_{i=1}^n I_{0i} = m_{10} \cdot P_1 + m_{20} \cdot P_2 + m_{30} \cdot P_3 + \dots + m_{n0} \cdot P_n$$

Розв'язавши ці рівняння (3) і з урахуванням умови (2) отримуємо ймовірності знаходження транспортної системи в працездатному стані в довільний момент часу

$$P_0 + \frac{I_{01}}{m_{10}} \cdot P_0 + \frac{I_{02}}{m_{20}} \cdot P_0 + \frac{I_{03}}{m_{30}} \cdot P_0 + \dots + \frac{I_{0n}}{m_{n0}} \cdot P_0 = 1 \quad (4)$$

або

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{I_{0i}}{m_{i0}}}. \quad (5)$$

Ймовірність перебування транспортної системи в i -му стані, коли i -та підсистема непрацездатна, а інші підсистеми працездатні, згідно з (3) визначається як

$$P_i = \frac{I_{0i}}{m_{i0}} \cdot P_0. \quad (6)$$

Отже, знаючи значення інтенсивностей відмов λ_{0i} і відновлення працездатності μ_{i0} підсистем транспортної системи, можна визначити ймовірність знаходження транспортної системи у тому чи іншому стані за формулою (6).

Визначимо функцію готовності $K_i(t)$ транспортної системи як системи, що складається з n підсистем. Відомо [1, 2], що функція готовності системи характеризує ймовірність знаходження системи в працездатному стані у будь-який момент часу:

$$K_G(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t), \quad (7)$$

де $P_i(t)$ – ймовірність знаходження системи в i -му працездатному стані в момент часу t .

Для усталеного режиму роботи транспортної системи $P_i(t) = P_i = \text{const}$. Тоді вираз (7) матиме вигляд [3]:

$$K_G = \sum_{i=1}^n P_i. \quad (8)$$

Оскільки формули (5) і (8) мають однаковий фізичний зміст, зокрема вони визначають ймовірність знаходження транспортної системи в працездатному стані, то матиме місце рівність:

$$K_G = P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{I_{0i}}{m_{i0}}}. \quad (9)$$

Для визначення показників надійності транспортної системи, що характеризують процес відновлення, важливого значення набуває встановлення зв'язку між коефіцієнтом готовності підсистеми K_i , що знаходиться в i -му стані після проведення відновлювальних заходів, та інтенсивністю відновлення μ_{i0} . За виразом (5) для кожного i -го стану можемо отримати відповідну формулу для K_{Gi} :

$$K_{Gi} = \frac{1}{1 + \frac{I_{0i}}{m_{i0}}} = \frac{m_{i0}}{m_{i0} + I_{0i}}. \quad (10)$$

Із залежності (10) випливає, що для транспортної системи, що знаходиться, наприклад, у першому стані, коли перша підсистема непрацездатна, а інші підсистеми працездатні, транспортну систему можна перевести в працездатний стан з коефіцієнтом готовності K_{G1} проведенням відповідних відновлювальних заходів з інтенсивністю μ_{10} , тобто

$$K_{G1} = \frac{m_{10}}{m_{10} + I_{01}}.$$

Аналогічними є вирази і для випадків, коли транспортна система знаходиться в другому, третьому й інших n станах.

Якщо необхідні коефіцієнти готовності для транспортної системи, що знаходиться в тому чи іншому непрацездатному стані, задано і потрібно визначити інтенсивність заходів щодо відновлення, то з виразу (10) випливає

$$m_{i0} = \frac{I_{0i} \cdot K_{Gi}}{1 - K_{Gi}}. \quad (11)$$

Підставивши вирази для інтенсивностей відновлення працездатності до залежності (9), отримаємо формулу для коефіцієнта готовності транспортної системи у будь-який момент часу загалом як функцію від коефіцієнтів готовності окремих підсистем:

$$K_G = P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{K_{Gi}} - 1 \right)}. \quad (12)$$

Отже, якщо відомі значення коефіцієнтів готовності для кожної підсистеми транспортної системи або їх можна визначити розрахунковим методом, то, підставивши ці значення до залежності (12), отримаємо відповідне значення коефіцієнта готовності транспортної системи загалом.

Висновки. Вирази для визначення узагальненого показника надійності транспортних систем і його складових дають змогу оцінити значення узагальненого показника надійності в функції окремих показників надійності. Для цього розглянуто структуру транспортної системи, що складається з n основних елементів, причому, якщо один з елементів вийшов з ладу (непрацездатний), то система знаходиться в непрацездатному стані.

1. Курганов В. М., Грязнов М. В. Структурное резервирование на автомобильном транспорте // Мир транспорта. – 2014. – № 5. (Т. 12) – С. 6–21.
2. Курганов В. М., Грязнов М. В., Обеспечение надежности в системе управления перевозками и производством на автомобильном транспорте: монография / В. М. Курганов, М. В. Грязнов. – Магнитогорск: Дом печати, 2012. – 128 с.
3. Бойко А. І, Бондаренко О. В., Савченко В. М. Вирішення основної матриці математичної моделі надійності функціонування активно резервованої технічної системи: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 43, ч. II. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 49–54.
4. Пронников А. С. Надежность машин / А. С. Пронников. – М.: Машиностроение, 1978. – 234 с.
5. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных систем/ Г. В. Дружинин. – М.: Энергия, 1987. – 336 с.
6. Бочкарев А. А., Бочкарев П. А. Проблема надежности цепи поставок // Логистика: современных тенденции развития: Материалы IX междунар. науч. – практ. конф. / ред. кол.: В. С. Лукинский и др. – СПб.: СПбГИЭУ, 2010. – С. 64–67.
7. Зайцев Е. И. Проблема надежности в процессной модели цепи поставок // Логистика и управление цепями поставок: современных тенденции в России и Германии: Сб. статей рос.-нем. конференции DRLOG 2008. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – С. 266–271.
8. Некрасов А. Г., Миротин Л. Б., Меланич Е. В. Управление цепями поставок в транспортном комплексе. – М.: Гор. линия – Телеком, 2012. – 262 с.
9. Анілович В. Я., Грінченко О. С., Карабін В.В. Міцність та надійність машин / В. Я. Анілович, О. С. Грінченко, В. В. Карабін та ін.; за ред. В. Я. Аніловича. – К.: Урожай, 1996. – 288 с.
10. Бажинов А. В. Прогнозирование остаточного ресурса автомобильного двигателя. – Харьков: ХГАДТУ, 2001. – 95 с.
11. Варфоломеев В. Н., Волков В. П., Кравченко А. П., Алекса Н. Н. Управление работоспособностью автомобильных поездов. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2007. – 397 с.
12. Репин С. В. Методология совершенствования системы технической эксплуатации строительных машин: дис. ... д-ра техн. наук. / С. В. Репин. – СПб., 2008. – 451 с.
13. Болотин В. В., Нефедов С. В., Чирков В. П. и др. Надёжность в технике. Методология расчётного прогнозирования показателей надёжности. Методы теории вероятностей: методическое пособие. – М.: МНТК “Надёжность машин”, 1993.
14. Половко А. М., Гуров С. В. Надёжность технических систем и техногенный риск. – СПб.: Знание, 1998. – 119 с.
15. Эдельман В. И. Надёжность технических систем: экономическая оценка. – М., 1989. – 151 с.