

УДК 629.4.014:629.463

ЛОМОТЬКО Д.В., д.т.н., професор,
 КОВАЛЬОВ А.О., к.т.н., доцент,
 КОВАЛЬОВА О.В., аспірант (УкрДАЗТ)

Визначення коефіцієнтів інтенсивності експлуатації транспортних засобів для різних типів вантажів

Для забезпечення виконання перевізного процесу, ефективним є вирішення задачі, пов'язаної з дефіцитом рухомого складу, а саме розроблення підходів до оцінювання транспортних засобів. Використовуючи математичні рішення запропоновано варіанти розрахунків техніко-експлуатаційного стану транспортних засобів, в залежності від термінів експлуатації під перевезенням певних видів вантажів, які в подальшому надають можливість вести постійний моніторинг технічного стану кожного з вагонів. Це може відбуватись для вагонів, що належать різним власникам та надає більш точну оцінку стану транспортного засобу.

Ключові слова: розподіл, рухомий склад, технічний стан, оцінка стану, коефіцієнт інтенсивності експлуатації

Постановка проблеми

Ефективне управління ресурсами на сьогоднішній день є однією з найбільш актуальних задач, пов'язаних із підвищенням ефективності перевізного процесу. За останній час спостерігається великий рівень зносу вагонного парку на залізницях України, тому є доцільним розглядання питань, які б спрощували забезпечення вантажовласників транспортними ресурсами в необхідному технічному стані. Одним із результатів вирішення цієї задачі є раціональний розподіл порожнього рухомого складу за умови забезпечення якісного перевезення вантажу.

Дослідження та публікації

Питання ефективного розподілу парку вантажних вагонів за різних умов та за наявності різних власників рухомого складу висвітлено в працях багатьох вчених [1-3,7]. Але не в повній мірі при розподілі транспортних засобів враховувалось забезпечення власників вантажів відповідним за якістю рухомим складом. Тобто не був передбачений необхідний технічний стан вагонів для перевезення певного виду вантажу.

Мета досліджень. Визначення коефіцієнтів інтенсивності експлуатації, як складових зносу, необхідних для розробки методики оцінювання транспортних ресурсів, основним завданням якої є визначення рівня якості.

Основний матеріал

В роботі [4] була розроблена методика оцінювання транспортних ресурсів, яка полягала у наступному: зафіксував тип вагонів, всі вантажі розбиваємо на n -типів і позначаємо $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots$, тобто i -й тип позначаємо Γ_i , де $i=1, 2, \dots, n$.

Для вагона, який експлуатувався T -років, в тому числі t_1 -років – для перевезення вантажу Γ_1 , t_2 -років – для перевезення вантажу Γ_2 , t_n -років – для перевезення вантажу Γ_n , вантаж типу Γ_i – перевозився t_i -років, тобто
$$\sum_{i=1}^n t_i = T.$$

При цьому, якщо λ_i – коефіцієнт інтенсивності експлуатації даного типу вагона при перевезенні вантажу типу Γ_i відомий, то знос вагону, при умовах наведених вище визначається як

$$I_{\epsilon} = \sum_{i=1}^n \int_0^{t_i} \lambda_i dt = \sum_{i=1}^n \lambda_i t_i \quad (1)$$

Відзначимо, що в наведених прикладах λ_i , $i=1, 2, \dots, n$ були визначені як постійні величини, які мають наступний експлуатаційний сенс: якщо б вагон даного типу перевозив вантаж тільки одного виду Γ_i до вичерпання ресурсу, то термін експлуатації був би Γ_i , а

$$\lambda_i = \frac{1}{N_i}.$$

Однак на практиці вагони, що за період експлуатації до вичерпання ресурсу перевозять вантаж тільки одного типу, зустрічаються рідко, тому актуальною буде розробка методу для визначення коефіцієнту інтенсивності експлуатації (λ_i) за реальними умовами, тобто з урахуванням реальної

кількості і номенклатури вантажів, що перевозилися в даному типі вагона. В цій роботі наведено метод для визначення λ_i , у якому застосовуються історії експлуатації вагонів, тобто інформація, що викладена в хронологічному порядку про те, на яку відстань, в який період часу та який вид вантажу був перевезений. При цьому інформація про перевезення вантажу може бути замінена на середньостатистичну інформацію за фіксований період часу (місяць, квартал, рік).

Історію експлуатації розділено на дві підмножини: V_1 – вагони з закінченою історією експлуатації (вагони, ресурс яких вичерпано повністю в результаті експлуатації), V_2 – вагони з незакінченою історією експлуатації (ті, що мають ресурс для роботи) [6].

Розглянемо підмножину V_1 . Нехай вагон $V \in V_1$. За час експлуатації T вагон V був зайнятий перевезенням вантажу G_i , час $t_i, i=1,2,\dots,n$, де $\sum_{i=1}^n t_i = T$. Позначимо через λ_i – коефіцієнт інтенсивності експлуатації при перевезенні вантажу G_i для типів вагонів, що розглядаються. Відповідно

$$\sum_{i=1}^n \int_0^{t_i} \lambda_i dt = 1, \text{ де } \sum_{i=1}^n t_i = T \quad (2)$$

Інтегруючи складові рівняння (2), допускаючи, що λ_i не залежить від часу t , одержимо

$$\sum_{i=1}^n t_i \lambda_i = 1. \quad (3)$$

Нехай підмножина V_1 містить m вагонів, тобто $Card V_1 = m$.

Вагони з підмножини V_1 перенумеровані від 1 до m . Тоді маємо множину рівнянь

$$\sum_{i=1}^n t_{ji} \lambda_i = 1, \text{ де } j = 1, 2, \dots, m, \quad (4)$$

Наведену множину можемо розглядати як систему з m -рівнянь відносно n -невдомих $\lambda_i, i=1,2,\dots,n$. Зауважимо, що система рівнянь є лінійною відносно вказаних невідомих.

Розглянемо множину рівнянь (4) як систему лінійних рівнянь відносно невідомих λ_i , тобто

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n t_{1i} \lambda_i = 1 \\ \sum_{i=1}^n t_{2i} \lambda_i = 1 \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{i=1}^n t_{mi} \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (5)$$

або у розгорнутому вигляді

$$\begin{cases} t_{11} \lambda_1 + t_{12} \lambda_2 + \dots + t_{1n} \lambda_n = 1 \\ t_{21} \lambda_1 + t_{22} \lambda_2 + \dots + t_{2n} \lambda_n = 1 \\ \dots\dots\dots \\ t_{m1} \lambda_1 + t_{m2} \lambda_2 + \dots + t_{mn} \lambda_n = 1 \end{cases} \quad (6)$$

Виходячи із загальної теорії систем лінійних рівнянь система (6) має рішення в тому, і тільки в тому випадку, якщо матриця коефіцієнтів системи, що дорівнює

$$A = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1n} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2n} \\ \dots\dots\dots \\ t_{m1} & t_{m2} & \dots & t_{mn} \end{pmatrix} \quad (7)$$

і розширена матриця системи, що дорівнює:

$$B = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1n} & 1 \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2n} & 1 \\ \dots\dots\dots \\ t_{m1} & t_{m2} & \dots & t_{mn} & 1 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

мають один і той же ранг r , тобто

$$rang A = rang B = r \quad (9)$$

і система (6) має єдине рішення, якщо

$$r = n = m, \quad (10)$$

яке, використовуючи формули Крамера, має вигляд

$$\lambda_i = \frac{\Delta_i}{\det A}, i=1,2,\dots,n, \quad (11)$$

де $\det A$ – визначник матриці A ;

Δ_i – визначник матриці A_i , яку одержано з матриці A заміною i -го стовпця на стовпець вільних членів системи (6). У даному випадку стовпець з одиниць.

Однак, у загальному випадку може бути $n \neq m$, та рівняння (9) і (10) місця не мають.

Розглянемо випадок, коли $m < n$, тобто маємо невелику кількість історій вагонів із закінченим терміном експлуатації. В цьому випадку до рівнянь системи (6) необхідно доповнити деяке число рівнянь. Для цього у подальшому окрім закінчених історій можливо використовувати незакінчені.

Розглянемо випадок, коли $m=n$. Якщо при цьому виконуються співвідношення (9) та (10), то як було вказано раніше, системи мають єдине рішення. Якщо при цьому рівняння (9) не виконується, то система суперечлива та рішень не має. Якщо не виконується співвідношення (10), а саме $r \neq n$, то система має нескінчену множину рішень. В цьому випадку, згідно загальної теорії систем лінійних рівнянь можна виділити r – лінійно-незалежних рівнянь, які в подальшому можуть бути доповнені іншими рівняннями.

Найбільш ймовірним та розповсюдженим випадком будемо вважати $n < m$, (тобто маємо достатню кількість історій вагонів із закінченим терміном експлуатації). В цьому випадку з множини історій m можна зробити вибірку об'ємом n . Кількість таких вибірок дорівнює C_m^n , що є числом поєднань із m по n [5]. Для деяких з цих вибірок буде виконано співвідношення (9) і (10). Якщо співвідношення (9) не виконано, в подальшому таку вибірку розглядати не будемо. Якщо ж для деякої вибірки співвідношення (10) не виконано, то система має нескінчену множину рішень.

Для кожної із вибірок, що залишилися, має місце співвідношення (9) і (10), а тим самим за формулою (11) може бути отримане єдине рішення.

Перенумеруємо такі вибірки індексами від 1 до N , де $N \leq C_m^n$. Множину значень, яку може приймати $\lambda_{ij}, j = 1,2,\dots,N$ для i -го вантажу позначимо через L_i .

L_i розглянемо як множину варіант, що приймає дискретна випадкова величина L_i , а власне λ_i можна рахувати математичним очікуванням L_i , тобто

$$M[L_i] = \lambda_i \quad (12)$$

Тому визначення коефіцієнтів інтенсивності експлуатації вагонів можливо розглянути за наступним прикладом. Розглянемо тип вагонів, що найбільш експлуатується – напіввагон, для перевезення піску, вугілля, та щебеню. Візьмемо п'ять закінчених історій експлуатації піввагонів, які перевозили дані вантажі. Кількість років експлуатації та види вантажів, які розглядаються наведені в табл. 1.

Таблиця 1
Час сумарної експлуатації вагонів при перевезенні даного виду вантажу

Вид вантажу Номер вагону	Пісок	Вугілля	Щебінь
1.(67745432)	5	10	5,1
2.(67745563)	5,2	8	6,9
3.(67656432)	12,2	1	9,1
4.(64876564)	6,2	10	4,1
5.(645877646)	2	6	11,8

П'ять історій для трьох видів вантажів дають C_5^3 систем із трьох лінійних рівнянь з трьома невідомими, згідно формулам [5] всього мається 10 систем лінійних рівнянь. Ці системи можуть бути складені з наступних п'яти лінійних рівнянь:

$$1\text{-е рівняння: } 5\lambda_1 + 10\lambda_2 + 5,1\lambda_3 = 1 \quad (13)$$

$$2\text{-е рівняння: } 5,2\lambda_1 + 8\lambda_2 + 6,9\lambda_3 = 1 \quad (14)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$5\text{-е рівняння: } 2\lambda_1 + 6\lambda_2 + 11,8\lambda_3 = 1 \quad (15)$$

Використовуючи підхід перерахування, описаний в [5], можливо перерахувати рівняння, які входять до кожної з десяти систем. Таким чином, до першої системи увійдуть рівняння: 1, 2, 3; до другої – 1, 2, 4; ... до десятої – 3, 4, 5. Знайдемо рішення систем рівнянь.

Перша система має вигляд:

$$\begin{cases} 5\lambda_{11} + 10\lambda_{21} + 5,1\lambda_{31} = 1 \\ 5,2\lambda_{11} + 8\lambda_{21} + 6,9\lambda_{31} = 1 \\ 12,2\lambda_{11} + 1\lambda_{21} + 9,1\lambda_{31} = 1 \end{cases} \quad (16)$$

Визначник 1-ї системи дорівнює

$$\Delta = \begin{vmatrix} 5 & 10 & 5,1 \\ 5,2 & 8 & 6,9 \\ 12,2 & 1 & 9,1 \end{vmatrix} \quad (17)$$

Інші визначники $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ дорівнюють

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \begin{vmatrix} 1 & 10 & 5,1 \\ 1 & 8 & 6,9 \\ 1 & 1 & 9,1 \end{vmatrix}, \\ \Delta_2 &= \begin{vmatrix} 5 & 1 & 5,1 \\ 5,2 & 1 & 6,9 \\ 12,2 & 1 & 9,1 \end{vmatrix}, \\ \Delta_3 &= \begin{vmatrix} 5 & 10 & 1 \\ 5,2 & 8 & 1 \\ 12,2 & 1 & 1 \end{vmatrix}. \end{aligned} \quad (18)$$

Після розрахунків маємо $\Delta=226,86$; $\Delta_1=8,2$; $\Delta_2=12,6$; $\Delta_3=12,16$.

Згідно формулі (11) отримуємо наступні значення:

$$\lambda_{11} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = 0,036, \quad (19)$$

$$\lambda_{21} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = 0,055, \quad (20)$$

$$\lambda_{31} = \frac{\Delta_3}{\Delta} = 0,053. \quad (21)$$

Аналогічно маємо значення $\lambda_{12}, \lambda_{22}, \lambda_{32}$ з 2-ї системи та взагалі $\lambda_{1j}, \lambda_{2j}, \lambda_{3j}$, де $j=1,2,\dots,10$ з i -ї системи. Отримуємо множину значень, яку позначимо як $\Lambda_1=\{0,0368,\dots\}$, $\Lambda_2=\{0,0555,\dots\}$, $\Lambda_3=\{0,0536,\dots\}$. Таким чином, розглядаючи $\Lambda_1, \Lambda_2, \Lambda_3$, як множину варіант, яку приймає дискретна випадкова величина L_1, L_2, L_3 відповідно розраховуємо математичне очікування. Згідно формулі (12) маємо $M[L_1]=0,04$; $M[L_2]=0,055$; $M[L_3]=0,053$. Враховуючи наведені вище розрахунки визначено коефіцієнти інтенсивності

експлуатації транспортного засобу при перевезенні піску $\lambda_1=0,04$; вугілля $\lambda_2=0,055$; щебеню $\lambda_3=0,053$.

Застосуємо отримані коефіцієнти інтенсивності експлуатації λ до визначення технічного стану вагона у практичному значенні.

Нехай дані про використання необхідного транспортного засобу наступні: вагон із незакінченим терміном експлуатації пробув у експлуатації 10 років. З них 8 років під перевезенням піску, 1 рік під перевезенням щебеню та 1 рік під перевезенням вугілля. Тоді, згідно формулі 1 отримаємо

$$I_e = (8\lambda_n + 1\lambda_{щ} + 1\lambda_g). \quad (22)$$

Теж саме у відсотках

$$I_e = (8\lambda_n + 1\lambda_{щ} + 1\lambda_g) \cdot 100\%. \quad (23)$$

Підставимо вище отримані значення коефіцієнтів для перевезення заданих вантажів

$$I_e = (8 \cdot 0,04 + 1 \cdot 0,055 + 1 \cdot 0,053) \cdot 100\% = 42,8\%. \quad (24)$$

Якщо використовувати найпростіший спосіб визначення технічного стану вагона, а саме враховуючи середній термін його експлуатації, отримаємо наступне значення

$$I_e = \frac{10}{22} \cdot 100 = 45\%. \quad (25)$$

Таким чином, якщо порівняти отримані результати, то можна побачити, що реальний знос вагона при заданих показниках є нижчим на 3% ніж визначений тільки з урахуванням часу експлуатації. Аналогічно може виявитися, що навпаки реальний знос вищий, в залежності від часу експлуатації вагона під перевезенням певного типу вантажу. Отримання такого результату надає можливості для подальшого визначення вартості перевезення даним вагоном та оптимізації перевезень з точки зору поставленої мети.

Взагалі буде доцільним застосування аналітичного підходу, який дозволить вести постійний моніторинг технічного стану кожного з вагонів, які належать різним власникам та надати більш точну оцінку транспортному засобу. Це є актуальним в умовах надання належного транспортного засобу вантажовласникові для схоронності перевезення вантажів та взагалі для забезпечення транспортним ресурсом.

У множині Λ_i можливо не всі елементи різняться.

Нехай множина L_i містить N_i різних елементів, які позначимо $\beta_{1i}, \beta_{2i}, \dots, \beta_{N_i}$.

Нехай елемент β_{1i} міститься n_1 разів, β_{2i} – n_2 рази, а β_{N_i} – n_{N_i} разів, тобто

$$\sum_{i=1}^{N_1} n_i = N, \quad (26)$$

тоді дискретна випадкова величина може бути задана таблицею і мати вигляд

Таблиця 2
Значення дискретної випадкової величини

L_i	β_{1i}	β_{2i}	...	β_{N_i}
P	n_1/N	n_2/N	...	n_{N_i}/N

За необхідністю легко розрахувати також дисперсію $D(L_i)$ або середньоквадратичне відхилення $\sigma(L_i)$.

Зауваження 1. Підмножину V_2 , тобто вагони з незакінченим терміном експлуатації можна досліджувати аналогічно, замінив при розрахунку праві частини в рівняннях системи (5) і далі (тобто терміни експлуатації вагонів із закінченою історією на терміни експлуатації вагонів з незакінченою історією), при цьому

$$T_{не} = T_n \cdot I, \quad (27)$$

де T_n – нормативна експлуатація вагона,

I – знос вагона, який визначається експертною оцінкою.

Таким чином, при визначенні коефіцієнтів інтенсивності експлуатації λ_i можуть бути використані всі історії експлуатації вагонів, які є в наявності.

Зауваження 2. Якщо в розпорядженні мається велика кількість інформації про експлуатацію даного вагона, то можливо застосовувати статистичні методи досліджень. При цьому, математичне очікування $M(L_i)$, що обчислюється, слід замінити на вибіркиму середню $\overline{M}_g(L_i)$.

Висновок

Запропонований підхід надає можливість розрахунку коефіцієнтів інтенсивності експлуатації для будь-яких типів вагонів в залежності від роду вантажу, використовуючи інформацію про експлуатацію вагонів. На основі цього можливо визначити рівень технічного стану транспортного засобу у вигляді ресурсу, необхідного для забезпечення якісного перевезення вантажу та задоволення потреб вантажовласників щодо надання необхідного рухомого складу, що є невід'ємною складовою підвищення прибутку залізниць взагалі.

Література

1. Данько, М.І. Оптимізація використання порожнього парку вагонів за допомогою генетичних алгоритмів [Текст] / М.І. Данько, О.В. Лаврухін, Л.І. Рибальченко // Зб. наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 122. – С. 7-12.
2. Лаврухін, О.В. Удосконалення управління перевізним процесом на основі теорії нечітких множин // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – Вип. № 53. – С. 78-82.
3. Елисеєв, С.Ю. Оптимальное регулирование порожних вагонопотоков на железных дорогах России [Текст] / С.Ю. Елисеєв // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом. – СПб.: ПГУПС, 2002. – С. 21.
4. Ломотько, Д.В. Науковий підхід до визначення оцінки якості транспортних ресурсів залізниць [Текст] / Д.В. Ломотько, С.Д. Бронза, О.В. Ковальова // Залізничний транспорт України. – К., 2012. – № 3/4. – С. 31-33.
5. Холл, Маршалл. Комбинаторний аналіз [Текст] / М. Холл; пер. с англ. К. А. Рыбникова. – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 97 с. – (Библиотека сборника "Математика"). – Библиогр.: с. 94 - 96.
6. Данько, Н.И. Обновление подвижного состава с учетом жизненного цикла [Текст] / Н.И. Данько, Д.В. Ломотько, Э.Д. Тартаковский, А.П. Фалендыш, Ю.Е. Калабухин // Железнодорожный транспорт. – К., 2011. – № 12. – С. 42-44.
7. Ломотько, Д.В. Разработка организационно-технологической модели управления парком грузовых вагонов разной собственности Д.В. Ломотько, Н.И. Данько, В.В. Кулешов // Инновационный транспорт. – К., 2012. – № 4 (5). – С. 8-13.

ЛОМОТЬКО Д.В., КОВАЛЕВ А.А., КОВАЛЕВА О.В.

Определение коэффициентов интенсивности эксплуатации транспортных средств для различных типов грузов. Для обеспечения выполнения перевозочного процесса, эффективным является решение задачи, связанной с дефицитом подвижного состава, а именно разработка подходов к оценке транспортных средств. Используя математические решения предложены варианты расчетов технико-эксплуатационного состояния транспортных средств в зависимости от сроков эксплуатации под перевозкой определенных видов грузов, которые в дальнейшем дают возможность вести постоянный мониторинг технического состояния каждого из вагонов. Это может происходить для вагонов, принадлежащих разным владельцам, и предоставляет более точную оценку состояния транспортного средства.

Ключевые слова: распределение, подвижной состав, техническое состояние, оценка состояния, коэффициент интенсивности эксплуатации.

LOMOTKO D., KOVALOV A., KOVALOVA O.

Determination of vehicles operation rate coefficients for different types of goods. The solution of the problem connected with the deficiency of rolling stock, namely the development of approaches to vehicles evaluation is considered efficient to ensure the realization of traffic. Variants of calculation of vehicle technical-operational conditions depending on service life while transporting certain kinds of freight which further give an opportunity to conduct constant monitoring of technical condition of each car have been offered using mathematical solutions. This can be done for wagons belonging to different owners, and provides a more accurate estimate of a vehicle condition.

Key words: distribution, rolling stock, operating conditions, state estimate, operation rate coefficient.

Рецензент д.т.н., професор Лаврухін О.В.
(УкрДАЗТ)

Поступила 14.03.2014г.