УДК 519.86(075.8)

СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД ДЛЯ УХВАЛИ РІШЕННЯ З РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

О. В. Надточій, Л. Л. Тітова

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: l_titova@nubip.edu.ua

Історія статті: отримано – серпень 2019, акцептовано – листопад 2019.

Бібл. 12, рис. 0, табл. 5.

Анотація. В статті пропонується задача по ухвалі рішення необхідності ремонту транспортних чи інших технічних засобів в умовах невизначеності на основі статистичних даних. Будь-які технічні засоби періодично вимагають своєчасного ремонту. Зупинка обладнання на ремонт пов'язана для фірми із втратою прибутку на час ремонту. Підприємець має прийняти нелегке рішення про зупинку обладнання на ремонт. Стаття розглядає класичні критеріями прийняття рішень в умовах невизначеності: Баєса-Лапласа, Вальда, Севіджа або Гурвіца. Використання цих критеріїв розглядається на прикладі транспортних засобів, які знаходяться в трьох ймовірних станах: хорошому, задовільному чи незадовільному. Застосування класичних критеріїв мінімізує збитки. Маючи при цьому накопичену статистику у вигляді матриці перехідних ймовірностей можна щомісячно отримувати дохід або зазнавати збитків. Це дає прогнозувати майбутні щомісячні доходи. Розглянутий підхід може бути використано для різних технічних засобів.

Ключові слова: транспорт, ремонт, критерії ухвали рішень, невизначеність, перехідні ймовірності.

Постановка проблеми

Сучасні технічні засоби при інтенсивній експлуатації час від часу вимагають часткового або капітального ремонту [1]. Це можуть бути верстати, автомобілі, трактори, вантажний транспорт, повітряні чи водні суди, комп'ютерне обладнання тощо, власники яких завжди зацікавлені в безперебійній експлуатації [2] свого обладнання. При цьому надійність роботи обладнання буде залежати від ступеня експлуатації і своєчасності проведення профілактичних і ремонтних робіт [3].

Аналіз останніх досліджень

Недалекоглядний підприємець завжди намагатиметься максимально експлуатувати обладнання іноді зупиняючи його на частковий або

капітальний ремонт. Інший, зі стажем, може мати накопичену статистику для здійснення організації ефективної експлуатації технічних засобів. Виникає запитання – яке рішення має прийняти підприємець [4] при масовій експлуатації технічних засобів, в умовах невизначеного стану цього обладнання?

Мета досліджень

Мета даної роботи полягає в аналізі основних методів ухвали рішення про необхідність проведення ремонту автотранспортних засобів. Уточнення моделі на основі накопичених статистичних даних матриці перехідних ймовірностей і доходів.

Результати досліджень

Дане завдання підпадає під математичну теорію прийняття рішень в умовах невизначеності [5] чи ризику. Керівник підприємства має прийняти рішення: яку вибрати альтернативу X , якщо об'єкти перебувають у невизначеному стані Y . Залежно від обраної альтернативи [7] і стану середовища можна отримати той чи інший результат у вигляді досягнення цільової функції:

$$f(X, Y) \rightarrow Z \quad (1)$$

У разі, якщо безліч альтернатив і станів середовища відоме (має кінцеве значення), то цільова функція може бути задана в табличному вигляді платіжної матриці [8, 9] (табл. 1). Таким чином, цільова функція, є функцією двох аргументів:

$$f_{ij} = f(x_i, y_j) \quad (2)$$

Управлінець, що приймає рішення, достовірно не знає в якому із можливих станів знаходиться система [10]: в *хорошому*, *задовільному* чи *незадовільному*. Він повинен вибрати альтернативу x не володіючи значенням аргументу y : $x \in X \quad y \in Y$.

Це складне і важливе рішення від якого, підприємство може понести збитки чи навпаки отримати прибуток.

За умови, що управлінець оптиміст матимемо наступне рішення:

$$f_{ij} = \max_j f_{ij} \quad (3)$$

Якщо песиміст:

$$f_{ij} = \min_j f_{ij} \quad (4)$$

Позиція компромісу описується наступним чином:

$$f_{ij} = \max_j f_{ij} + \min_j f_{ij} \quad (5)$$

Таблиця 1. Платіжна матриця рішень.

Table 1. Payment matrix of decisions.

X	Z			
	z_1	z_2	...	z_n
x_1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1n}
x_2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2n}
...	...	...	y_{ij}	...
x_m	y_{m1}	y_{m2}	...	y_{mn}

Підприємець може скористатися класичними критеріями прийняття рішень [5]: Лапласа, БайєсаЛапласа (BL), Вальда, Севіджа або Гурвіца. Розглянемо приклад.

Приклад. Припустимо є приватне підприємство, яке має парк автобусів чи таксі для перевезення пасажирів у межах міста. Для безперебійної роботи такого підприємства, час від часу необхідно ставити транспорт на обслуговування чи ремонт.

Звісно будь-яка зупинка руху машини для ремонту призведе до певних економічних витрат.

Таблиця 2. Витрати і доходи.

Table 2. Costs and revenues.

Альтернативи	Стан парку автотранспорту		
	y_1	y_2	y_3
	Витрати (-) і дохід (+)		
X_1	200	1500	-600
X_2	2000	800	-1500
X_3	4000	1500	-5000
Вірогідність стану	0,3	0,5	0,2

Таблиця 3. Матриця залишків за критерієм Севіджа.

Table 3. Sevid's criterion residual matrix.

X	Y			Критерій Севіджа	
	Y_1	Y_2	Y_3	Значення	min
X_1	380	0	0	380	
X_2	200	70	90	200	200
X_3	0	0	440	440	

Критерій Вальда базується на принципі антагонізму, тобто вважає, що навколишнє середовище поводитиметься найгіршим чином, а альтернатива рішення вибирається відповідно до:

$$\min_j f_{ij} \rightarrow \max_i \quad (7)$$

За критерієм Вальда слід вибрати першу альтернативу, тобто провести повний ремонт.

Підприємець зазвичай зацікавлений, щоб машини постійно були на лінії, адже лише тоді він буде мати максимальний прибуток. При профілактичному ж ремонті частина прибутку втрачатиметься. У разі випадкових (непередбачених) поломок, при ігноруванні регламенту технічного обслуговування і профілактичних оглядів підприємство понесе ще більші збитки

Існуючі можливі варіанти вирішення задачі: x_1 - своєчасний капітальний ремонт; x_2 - мінімальний профілактичний ремонт; x_3 - відмова від ремонту [2].

В свою чергу автобусний парк може перебувати в наступних станах: y_1 - машини в повному порядку; y_2 - парку (чи його частині) потрібен частковий ремонт, проте машини виходять на лінію; y_3 - машини перебувають на відновленні (ремонтуються). Підприємець має певний досвід роботи і оцінює свій автопарк наступним чином: 80% автобусів знаходиться в хорошому стані, з них 30% знаходяться у відмінному стані, і тільки 20% потребують капітального ремонту. Економічні результати, що включають і витрати в умовних одиницях (для прикладу грн./год) на частковий і капітальний ремонт, представлені в табл. 2. Відповідно до критерію Лапласа маємо:

$$\max_{x \in X} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n f(x_i, y_j), \quad (6)$$

Максимум значень, отриманих за (6) для даних (табл. 2), рівні 433,3 од. припадає на другу альтернативу x_2 . Дещо гірші показники 366,6 забезпечить альтернатива x_1 .

Передбачається, що в цьому випадку підприємство понесе мінімальні збитки - (-600 од.).

Значення критерію Байєса-Лапласа (B-L) знаходять:

$$\max_{x \in X} \sum_{j=1}^n f(x_i, y_j) \cdot p_j \quad (8)$$

З урахуванням ймовірнісних характеристик (p), відповідно до (8) максимальне значення складе 950 од. для альтернативи X_3 . Тобто, транспорт знаходиться в хорошому стані і рекомендується відмовитися від зупинок на ремонт.

У відповідність до критерію Севіджа (9) отримаємо матрицю залишків (табл. 3).

$$\max_j (\max_i f_{ij} - f_{ij}) \rightarrow \min_i \quad (9)$$

Аналізуючи таблицю, кращим (мінімальним) рішенням володіє альтернатива X_2 .

І, нарешті, скористаємося критерієм оптимізму-песимізму (Гурвіца) [5]:

$$a \cdot \max_j f_{ij} + (1-a) \min_j f_{ij} \rightarrow \max_i \quad (10)$$

З урахуванням оптимізму, що стан транспортного парку знаходиться на 80% в хорошому стані, приймемо коефіцієнт $a = 0.8$. Максимальне значення при цьому складе 2200 од. для альтернативи X_3 . Транспорт знаходиться в хорошому стані, можна працювати без зупинок на ремонт.

Таким чином, так як транспорт знаходиться в хорошому стані можна працювати без зупинок, застосовуючи альтернативу X_3 або виконуючи мінімальний профілактичний ремонт, відповідно альтернативі X_2 . Оцінка доходів, отриманих відповідно до обраних критеріїв рішень, для різних критеріїв представлені в табл. 4.

Таблиця 4. Таблиця вибору альтернатив за розрахованих результатами методів.

Table 4. Table of choice of alternatives according to calculated results of methods.

Альтернативи	Критерії рішень				
	Лапласа	Вальда	Б-Л	Гурвіца	Севіджа
	$\uparrow$ (max)	$\uparrow$ (max)	$\uparrow$ (max)	$\uparrow$ (max)	$\downarrow$ (min)
X_1	366,66	-600	690	1080	3800
X_2	433,33	-1500	700	1300	2000
X_3	166,66	-5000	950	2200	4400

При умові, що автобусний парк перебуває в зношеному стані (песимістичний прогноз), наприклад, на 50%, за критерієм Гурвіца був би отриманий результат рівний 450 од. (Найкращий з найгірших). Рекомендація: слід скористатися альтернативою X_1 - провести повний капітальний ремонт. В цьому випадку підприємство понесло б мінімальні збитки.

Далі розглянемо статистичний підхід до прийняття рішень. Припустимо, що підприємець, працюючи жоден рік, має деяку статистику, за якою він оцінює стан транспорту: хороший (a), задовільний (b) і незадовільний (c). При цьому система може в дискретні моменти часу переходити з одного стану в інший. Такий процес поведінки системи є Марківським [11]. Новий стан системи залежить тільки від поточного стану і в жодному разі не залежить від попередніх станів. Транспорт може перебувати в одному з станів відповідно до матриці перехідних ймовірностей P^1 . Залежно від стану в якому знаходиться транспорт, підприємець може щомісяця отримувати дохід чи зазнавати збитків D^1 .

Приймемо до уваги результати представлені у вигляді матриць перехідних ймовірностей P^1 і доходів D^1 .

$$P^1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} a & b & c \end{matrix} \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{vmatrix} 0,4 & 0,4 & 0,2 \\ 0,1 & 0,4 & 0,5 \\ 0 & 0,2 & 0,8 \end{vmatrix} \end{matrix} = \|p_{ij}^1\| \quad (11)$$

$$D^1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} a & b & c \end{matrix} \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1200 & 600 & 200 \\ 0 & 900 & 200 \\ 0 & 100 & -200 \end{vmatrix} \end{matrix} = \|d_{ij}^1\| \quad (12)$$

Елементи матриці D^1 означають дохід в ум.од., якщо транспорт був у хорошому (a) стані і залишився в ньому, тоді дохід буде максимальним 1200 ум.од. Якщо перейшов в поганий стан, потрібен капітальний ремонт, дохід невеликий. Якщо транспорт зламався (c), то будуть потрібні вкладення до 200 ум.од. Маючи матриці P^1 і D^1 можна прогнозувати майбутні щомісячні доходи чи збитки. Припустимо, що підприємець стоїть перед дилемою зупинити транспорт для ремонту чи ні. Позначимо $k=1$ – не зупиняти, $k=2$ – зупиняти на профілактичний ремонт. У цьому випадку частина доходу втрачається:

$$P^2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} a & b & c \end{matrix} \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{vmatrix} 0,3 & 0,5 & 0,2 \\ 0,2 & 0,6 & 0,2 \\ 0,1 & 0,5 & 0,4 \end{vmatrix} \end{matrix} = \|p_{ij}^2\| \quad (13)$$

$$D^2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} a & b & c \end{matrix} \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix} & \begin{vmatrix} 700 & 500 & -200 \\ 1100 & 900 & 150 \\ 600 & 300 & -300 \end{vmatrix} \end{matrix} = \|d_{ij}^2\| \quad (14)$$

Елементи матриці D^2 враховують витрати, пов'язані з ремонтом. Оптимальність прийняття рішення залежить від максимізації очікуваного

доходу. Це завдання має багато етапів прийняття рішення [5]. Тоді очікуваний дохід становитиме:

$$C_i^m = \sum_{j=1}^3 p_{ij}^m d_{ij}^m \quad (15)$$

Для випадку, якщо транспорт на ремонт не зупиняється дохід складе:

$$\begin{aligned} C^1 &= P^1 + D^1 \\ C_1^1 &= 0,4 \cdot 1200 + 0,4 \cdot 600 + 0,2 \cdot 200 = 1000; \\ C_2^1 &= 0,1 \cdot 0 + 0,4 \cdot 900 + 0,5 \cdot 200 = 460; \\ C_3^1 &= 0,2 \cdot 100 - 0,8 \cdot 200 = -140; \end{aligned} \quad (16)$$

Це означає, що коли транспорт знаходиться в «хорошому» стані (стан *a*), то місячний очікуваний

дохід складе 1000 од., в задовільному (*b*) – 460 од., в поганому (*c*) – будуть потрібні витрати в 140 од.

При зупинці транспорту для ремонту, матимемо наступні оцінки:

$$\begin{aligned} C^2 &= P^2 + D^2 \\ C_1^2 &= 0,3 \cdot 700 + 0,5 \cdot 500 + 0,2 \cdot (-200) = 420; \\ C_2^2 &= 0,2 \cdot 1100 + 0,6 \cdot 900 + 0,2 \cdot 150 = 79; \\ C_3^2 &= 0,1 \cdot 600 + 0,5 \cdot 300 + 0,4 \cdot (-300) = 90; \end{aligned} \quad (17)$$

Оптимальним результатом будуть зведені дані (табл. 5), а рішення приймаємо за максимумом отриманих розрахунків.

Таблиця 5. Таблиця узагальнених рішень.

Table 5. Table of generalized solutions.

Варіант	$k=1$	$k=2$	max	Ремонт
1	1000	420	1000	не виконується
2	460	790	790	виконується
3	-140	90	90	виконується

Таким чином, в першому випадку максимальний дохід 1000 од. отриманий без зупинки на ремонт. У іншому випадку потрібно зупинка експлуатації. При цьому неважливо в якому стані знаходиться транспорт в задовільному стані (*b*), чи в поганому (*c*). Підприємство буде в програві для будь якого варіанту.

Висновки

1. Звичайно, будь-який підприємець інтуїтивно, спираючись на досвід, відчуває стан своїх технічних засобів і може приймати рішення про проведення ремонтних робіт на свій розсуд. Однак тиск бажання отримати максимальний прибуток, може гальмувати прийняття вірного рішення.

2. Використання ж математичного підходу із врахуванням як класичних критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності чи статистичних даних дасть змогу організувати ефективну роботу підприємства і отримання максимально можливого прибутку.

3. Розглянутий підхід, щодо вирішення питання виконання профілактичного чи капітального ремонту, може бути використаний до будь-яких технічних засобів, що експлуатуються.

Список літератури

1. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: підручник. Київ. Вища школа. 2007. 527 с.
2. Хазаров А. М. Диагностическое обеспечение технического обслуживания и ремонта автомобилей. Москва. Высшая школа, 2019. 208 с.
3. Haimes Y. Risk modelling, assessment and management. New York: Wiley, 1998. 726 p.

References

4. Ларичев О. И. Проблемы принятия решений с учетом факторов риска и безопасности. Вестник АН СССР. 1987. №11. С. 38–45.
5. Кушлик-Дивульська О. І., Кушлик Б. Р. Основи теорії прийняття рішень. Київ. 2014. 94 с.
6. Fischhoff B., Lichtenstein S., Sslovic P., Derby S., Keeney R. Acceptable Risk. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. 181 p.
7. Вентцель Е. С. Исследование операций. Москва. Советское радио, 1972. 552 с.
8. Avizienis A. Fundamental Concepts of Dependability. Research Report. LAAS-CNRS, 2011. №1145. 25 p.
9. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Москва. Наука, 1964. 576 с.
10. Derman C. Finite State Markovian Decision Process. New York: Academic Press, 2017. 110 p.
11. Булинский А. В. Теория случайных процессов. Москва. Физматлит, 2005. 408 с.
12. Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

1. Ludchenko O. A. (2007). Technical maintenance and maintenance of cars: Technology. Textbook. Kyiv. Higher School. 527.
2. Khazarov A. M. (2019). Diagnostic maintenance of car maintenance and repair. Moscow. High School. 208.
3. Haimes Y. (1998). Risk Modeling, Assessment and Management. New York: Wiley. 726.

4. *Larichev O. I.* (1987). Problems of decision making taking into account risk and safety factors. Bulletin of the USSR Academy of Sciences. №11. 38-45.
5. *Kushlyk-Divulskaya O. I., Kushlik. B. R.* (2014). Fundamentals of decision theory. Kyiv. 94.
6. *Fischhoff, B.* (2017). Acceptable Risk. Cambridge: Cambridge University Press, 181.
7. *Wentzel E. S.* (1972). Operations research. Moscow: Soviet Radio. 552.
8. *Avizienis A.* (2011). Fundamental Concepts of Dependability. Research Report. LAAS-CNRS, №1145. 25.
9. *Wentzel E. S.* (1964). Probability theory. Moscow. Science, 576.
10. *Derman C.* (2017). Finite State Markovian Decision Process. New York: Academic Press. 110.
11. *Bulinsky A. V.* (2005). Theory of random processes. Moscow. Fizmatlit, 408.
12. *Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor.* (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕШЕНИЯ ПО РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В АГРОПРОМЫСЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

О. В. Надточий, Л. Л. Титова

Аннотация. В статье предлагается задача по принятию решения о необходимости ремонта транспортных или иных технических средств в условиях неопределенности на основе статистических данных. Любые технические средства периодически требуют своевременного ремонта. Остановка оборудования для ремонта связана для фирмы с потерей прибыли на время ремонта. Предприниматель должен принять нелегкое решение об остановке оборудования на ремонт. Статья рассматривает классические критерии принятия решений в условиях неопределенности: Байеса-Лапласа, Вальда, Сэвиджа или Гурвица. Использование этих критериев рассматривается на примере транспортных средств, которые находятся в трех вероятных состояниях: хорошо, удовлетворительно и неудовлетворительно. Применение классических критериев минимизирует убытки. Имея при этом накопленную статистику в виде матрицы вероятностей, можно ежемесячно получать доход или нести убытки. Это позволяет прогнозировать будущие ежемесячные доходы. Рассмотрен подход может быть использован для различных технических средств.

Ключевые слова: транспорт, ремонт, критерии принятия решений, неопределенность, вероятность.

STATISTICAL METHOD TO DETERMINE SOLUTIONS FOR REPAIR OF TRANSPORT VEHICLES AT AGROINDUSTRIAL COMPLEX

O. V. Nadtochy, L. L. Titova

Abstract. The article proposes the task of deciding whether to repair vehicles or other technical equipment under uncertainty based on statistics. Any technical means from time to time require repair. Stopping repair equipment is associated with a loss of profit for the repair company. The entrepreneur must make the difficult decision to stop the equipment for repair. The article examines the classic criteria for decision making under uncertainty: Bayes-Laplace, Wald, Sevid, or Hurwitz. The use of these criteria is considered as an example of vehicles that are in three likely states: good, satisfactory or unsatisfactory. The application of classic criteria minimizes losses. With this accumulated statistics in the form of a matrix of transitional probabilities, you can earn monthly income or suffer losses. This allows you to forecast future monthly earnings. This approach can be used for various technical means.

Keywords: transport, repair, decision making criteria, uncertainty, transition probabilities.

О. В. Надточий ORCID 0000-0003-4259-3900.

Л. Л. Титова ORCID 0000-0001-7313-1253.