

О. М. Сумець

РЕГРЕСІЙНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ НА ЗАПАСНІ ЧАСТИНИ ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

У статті наведені регресійні моделі для прогнозування витрат на запасні частини для автомобільної техніки. Вони описують залежність витрат на запасні частини від пробігу автомобіля для визначеного циклу експлуатації в міських умовах.

Постановка проблеми. Кожний конкретний зразок автомобільної техніки має певну структуру. Тобто він являє собою сукупність спільно працюючих елементів, яка характеризується взаємним їх розташуванням й визначеними видами з'єднання, що забезпечують нормальне виконання робочих функцій того чи іншого автомобіля. У процесі експлуатації автомобільної техніки розміри й форма взаємозалежних елементів їх вузлів і агрегатів, що мають різну міцність, порушуються, робочі поверхні зношуються з різною інтенсивністю і на різну величину. І в результаті автомобіль втрачає працездатність, для відновлення якої необхідно або відремонтувати деталь, або замінити її на нову.

З метою визначення характеру процесу заміни деталей, що вийшли з ладу за конкретний період пробігу автомобіля, необхідно провести аналіз послідовності таких заміни за фіксованими інтервалами пробігу або за циклами експлуатації. Деталь, що відпрацювала з початку експлуатації автомобіля деякий випадковий час, який умовно дорівнює середньому ресурсу нової деталі, виходить із ладу й замінюється на нову – запасну. Своєю чергою запасна деталь, відпрацювавши випадковий час, який умовно дорівнює її середньому ресурсу, також виходить із ладу й замінюється іншою запасною деталлю і т. д. Отже, у процесі експлуатації автомобіля для постійного підтримання його працездатності відбувається кількаразова заміна деталей, що вийшли з ладу, запасними. І, незважаючи на те, що сьогодні існує величезна кількість методів і методик розрахунку потрібної кількості запасних частин [4], проблема визначення їхньої оптимальної потреби для автомобільної техніки на заданий період часу залишається відкритою. Особливо вона актуальна для іноземних зразків автотракторної техніки. Відкритим є й питання коректного визначення витрат, що пов'язані із придбанням необхідних запасних частин для вузлів і агрегатів автотракторної техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми, що досліджується, присвячена достатньо велика кількість наукових публікацій. У більшості з них, наприклад, у [1; 3; 4; 6 та ін.] автори указують на тісний зв'язок грошових витрат на запасні частини з таким фактором, як пробіг автомобіля L .

У процесі вивчення зв'язку між витратами на придбання запасних частин і пробігом автомобіля з початку експлуатації на основі використання математичної статистики встановлено, що останній достатньо добре апроксимується поліноміальною математичною функцією. Математичним рівнянням такої функції є рівняння зв'язку між результативною і факторіальною ознаками. Як результативна ознака в даних дослідження приймаються витрати на придбання запасних частин до вузлів і агрегатів автомобільної техніки, а як факторіальна – пробіг автомобіля.

Проведені дослідження [2; 5; 6] показали, що у випадку помірного зростання результативної ознаки в сполученні з рівномірним (поступовим) зростанням факторіальної ознаки може бути використана криволінійна залежність, яка описується многочленом n -ого ступеня, наприклад, третього:

$$f(L) = a + b \cdot L_i + c \cdot L_i^2 + k \cdot L_i^3, \quad (1)$$

де $f(L)$ – функція, що описує витрати на запасні частини (витрати на їх придбання) за інтервалами пробігу автомобіля; L_i – інтервальні значення пробігу; a, b, c, k – коефіцієнти (параметри) многочлена.

Для визначення коефіцієнтів многочлена (1), які найкраще наближають модельну криву до отриманих експериментальних точок, застосуємо метод квадратів, де функція суми квадратів мінімізується:

$$F = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

У наведеній функції (2) параметрами, що оптимізуються (забезпечують мінімум функції), є параметри модельної, тобто теоретичної кривої \hat{y}_i . Кількість цих параметрів визначається типом обраної модельної функції. Так, у наведеній функції (1) чотири параметри: a, b, c, k . А це означає, що (2) є функцією чотирьох вказаних змінних.

Метою статті є побудова регресійних залежностей для прогнозування витрат на придбання запасних частин для автомобільної техніки, що експлуатується в міських умовах.

Виклад основного матеріалу. Для подальшого використання критерію (2) з урахуванням виконання

мінімізації необхідно прирівняти до нуля похідні

$$\frac{dF}{da} = 0; \quad \frac{dF}{db} = 0; \quad \frac{dF}{dc} = 0; \quad \frac{dF}{dk} = 0$$

і надалі розв'язати отриману систему із чотирьох рівнянь з чотирма невідомими. У підсумку визначаються параметри модельної кривої, які шукають. Однак необхідно зауважити, що не зважаючи на простоту запропонованого методу, практична його реалізація для деяких задач може бути утрудненою через складності розв'язування отриманої системи рівнянь. У більшості випадків ефективніше шукати параметри кривої, не використовуючи диференціювання критерію F , а виконуючи прямий пошук його мінімуму. Для цього необхідно скласти систему нормальних рівнянь відносно a, b, c, k . У даному випадку вона матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} a + b \cdot L + c \cdot L^2 + k \cdot L^3 &= r; \\ a \cdot L + b \cdot L^2 + c \cdot L^3 + k \cdot L^4 &= r \cdot L; \\ a \cdot L^2 + b \cdot L^3 + c \cdot L^4 + k \cdot L^5 &= r \cdot L^2; \\ a \cdot L^3 + b \cdot L^4 + c \cdot L^5 + k \cdot L^6 &= r \cdot L^3. \end{aligned} \quad (3)$$

Далі, використовуючи метод Гауса, знаходимо розв'язок системи рівнянь (3) і формалізуємо модель для визначення витрат на запасні частини за конкретний цикл експлуатації транспортного засобу або конкретного його агрегата.

Щодо вибору циклу експлуатації, то тут необхідно мати на увазі таке:

1) якщо транспортний засіб експлуатується до першого капітального ремонту, то це буде перший цикл експлуатації ЦЕ 1;

2) якщо транспортний засіб експлуатується у період після проведення першого капітального ремонту до другого, то це буде другий його цикл експлуатації ЦЕ 2 і т. д. Таких циклів може бути 3, 4 або 5 (все залежить від потреби в ремонтах і можливості їх здійснення).

З метою отримання більш загальних залежностей витрат на запасні частини від пробігу транспортного засобу були відібрані три групи автомобілів: ГАЗ-53, ГАЗ-3309 і ЗІЛ-4314, в яких були як нові (до капітального ремонту), так і відремонтовані (після першого капітального ремонту). Загальний обсяг вибірки склав 65 автомобілів. Режим експлуатації досліджуваних автомобілів, в основному, був міський, тобто їх експлуатували в умовах міста. Це дозволило отримати однорідну статистичну інформацію.

У результаті оброблення статистичних даних, отриманих в процесі досліджень, і використання методу Гауса побудовано дві регресійні моделі.

Перша – для розрахунку витрат на запасні частини для автомобілів залежно від їх пробігу:

– група автомобілів марки ГАЗ-53

$$f(L) = -0,755 + 0,0546 \cdot L_i - 0,00382 \cdot L_i^2 + 0,00000101 \cdot L_i^3; \quad (4)$$

– група автомобілів марки ГАЗ-3309

$$f(L) = -0,727 + 0,102 \cdot L_i - 0,00270 \cdot L_i^2 + 0,000022 \cdot L_i^3; \quad (5)$$

– група автомобілів марки ЗІЛ-4314

$$f(L) = 0,133 + 0,0543 \cdot L_i - 0,000327 \cdot L_i^2 + 0,000000656 \cdot L_i^3. \quad (6)$$

Друга – для розрахунку питомих витрат на придбання запасних частин для силового агрегата групи автомобілів марки ЗІЛ-4314:

– першого циклу експлуатації

$$f_{3,y}^I(L) = 2,760 \cdot L_i - 0,0042 \cdot L_i^2 - 14,280; \quad (7)$$

– другого циклу експлуатації

$$f_{3,y}^{II}(L) = 226,80 + 8,040 \cdot L_i - 0,05976 \cdot L_i^2. \quad (8)$$

Отримані регресійні рівняння (4), (5) і (6) описують залежність тільки на тому проміжку пробігу, що досліджувався, і не можуть правдиво “прогнозувати” інші ділянки модельної кривої. Тому на отримані моделі встановлено обмеження для L_{max} :

а) для групи автомобілів марки ГАЗ-53 $L_{max} \leq 280$ тис. км;

б) для групи автомобілів марки ГАЗ-3309 $L_{max} \leq 65$ тис. км;

в) для групи автомобілів марки ЗІЛ-4314 $L_{max} \leq 360$ тис. км.

Адекватність математичних моделей (4)...(8) (чи враховують вони закономірність процесу, що досліджувався) оцінена з використанням критеріїв Дарбіна – Уотсона, поворотних точок і *t*-критерію Стюдента [7]. Результати оцінювання показали достатню адекватність отриманих математичних моделей.

Точність математичних моделей (4)...(8) і відповідність їх експериментальним даним для встановлених інтервалів пробігу ($L_{max} = 280$ тис. км, $L_{max} = 65$ тис. км, $L_{max} = 360$ тис. км) перевірено за допомогою критерію селекції [5] – середньоквадратичної похибки сподівання $\delta_{np.}$, що визначається за перевіркою послідовністю даних:

$$\delta_{np.} = \left[\frac{1}{N_{np.}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{np.}} (\varphi_i - \varphi_i^*)^2 \right]^{0,5}, \quad (9)$$

де $N_{np.}$ – число точок послідовності, що перевіряється; φ_i – значення прогнозу в *i*-й точці ($i = 1, 2, 3, \dots, N_{np.}$) згідно з теоретичною моделлю; φ_i^* – дійсне значення в тій самій точці.

Отримана середньоквадратична похибка сподівання $\delta_{np.}$, результати розрахунку якої наведено в таблиці, підтверджує задовільну точність рівнянь регресії. Незначна різниця між фактичними і прогнозованими значеннями свідчить про достатню достовірність результатів розрахунку за отриманими математичними залежностями.

Результати розрахунку середньоквадратичної похибки передбачення

Регресійна залежність	Розрахункове значення $\delta_{np.}$
(4)	0,92
(5)	0,84
(6)	0,87
(7)	0,96
(8)	0,82

Висновки

Результати оцінки якості вказують на прийнятність і доцільність використання отриманих регресійних залежностей для прогнозування необхідної кількості запасних частин і витрат на їх придбання в зазначених інтервалах пробігу і тільки для міських умов експлуатації. У подальшому отримані регресійні залежності можуть бути удосконалені з метою застосування для інших умов експлуатації та інтервалів пробігу.

Список використаних джерел

1. Асатов И. Совершенствование планирования и организации снабжения автотранспортных предприятий / И. Асатов, В. Карташов, В. Мальцев // Автомобильный транспорт. – 1978. – № 8. – С. 27–28.
2. Добраница О. П. Использование нелинейных моделей в прогнозировании расхода и затрат на запасные части технических объектов / О. П. Добраница, В. С. Васищев, А. М. Сумец // Современные задачи прикладной статистики, промышленной, актуарной и финансовой математики : труды I-ой Междунар. науч.-практ. конф. – Донец. нац. ун-т, 2002. – С. 39.
3. Сазонтов Ю. П. Стоимость текущих ремонтов такси / Ю. П. Сазонтов // Автомобильный транспорт. – 1967. – № 4. – С. 28 – 31.
4. Сумец А. М. Прогнозирование потребности в запасных частях : моногр. / А. М. Сумец. – Х. : ОКО, 1997. – 182 с.
5. Сумец А. М. К вопросу повышения качества прогноза расхода и затрат на запасные части / А. М. Сумец, О. П. Добраница // Вестник национального технического университета “ХПИ”. – Х. : НТУ “ХПИ”. – 2002. – Вып. 3. – С. 110 – 121.
6. Сумец А. М. Логистика автотранспортных систем. Ч. 2. Прогнозирование затрат на запасные части агрегатов автомобилей : моногр. / А. М. Сумец. – Х. : ООО “Контур”, 2007. – 112 с.
7. Феррестер Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа / Э. Феррестер, Р. Ренд. – М. : Финансы и статистика, 1983. – 302 с.

Стаття надійшла до редакції 24.02.2011 р.