УДК 355.35
DOI https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-2/24

Іванченко О.В.
Національна академія Національної гвардії України

Іванченко А.О.
Національна академія Національної гвардії України

ВПЛИВ СУМАРНОЇ ВИТРАТИ ПАЛЬНОГО НА ЗМІНУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Технічний стан автомобіля та його елементів визначається кількісними показниками конструктивних параметрів. Можливість безпосереднього вимірювання конструктивних параметрів багатьох виробів найчастіше обмежена. Для визначення технічного стану користуються діагностичними параметрами, пов'язаними з конструктивними параметрами.

Пропонується для оцінювання зміни технічного стану автомобільної техніки використовувати інтегральний показник сумарної витрати пального, що враховує різноманіття факторів, замість пробігу до капітального ремонту та часу експлуатації.

Проведений аналіз наукових праць, пов'язаних із питанням оцінювання рівня технічного стану та рівня технічної готовності автомобільної техніки, свідчить, що наявні підходи орієнтовані на старі та малоефективні методи. Технічний стан автомобільної техніки визначається за середньостатистичними показниками лише на момент перевірки та не дозволяє визначати ймовірність перебування зразка автомобільної техніки в такому стані певний проміжок часу. Прогнозування залишкового ресурсу відбувається на інтуїтивному рівні на основі даних пробігу зразка автомобільної техніки за час експлуатації та не враховує зміни умов експлуатації та інших зовнішніх факторів.

Досліджена закономірність покладена в основу прогнозування залишкового ресурсу автомобіля по сумарній витраті пального: під час використання за призначенням автомобіля ресурс агрегатів зменшується настільки, наскільки збільшується сумарна витрата пального.

Доведено гіпотезу, що функція розподілу підкоряється експоненціальному закону. Запропоновано формулу для визначення залежності ймовірності безвідмовної роботи від сумарної витрати пального.

Ключові слова: *автомобільна техніка, технічний стан, сумарна витрата пального, щільність розподілу, оцінювання технічного стану, умови експлуатації.*

Постановка проблеми. Серед основних складників використання автомобільної техніки (АТ) за призначенням є її технічний стан (ТС) – сукупність властивостей об'єкта, що змінюються у процесі експлуатації та характеризуються в певний момент ознаками, встановленими технічною документацією. Технічний стан автомобіля і його елементів визначається кількісними показниками конструктивних параметрів.

Можливість безпосереднього вимірювання конструктивних параметрів багатьох виробів без часткового або повного розбирання вузла найчастіше обмежена. Для цих виробів при визначенні технічного стану користуються непрямими величинами, так званими діагностичними параметрами, пов'язаними із конструктивними параметрами, і дають про них певну інформацію [1]. Так, про технічний стан двигуна можна судити зі зміни його потужності, витрати мастила на чад, компресії, вмісту продуктів зносу в мастилі. Це може впливати на зміни середнього та сумарного розходу пального.

У процесі роботи автомобіля показники його технічного стану змінюються від початкових, відповідних новому виробу, до гранично допустимих, а потім і до граничних, значення яких відповідає стану, за якого його подальше використання недоцільне (потребує капітального ремонту або списання).

Нині одним із невирішених питань є можливість точного оцінювання технічного стану АТ.

Для більш якісного оцінювання зміни технічного стану АТ рекомендується використовувати інтегральний показник, який враховує різноманіття факторів, що впливають на технічний стан АТ. Замість пробігу до капітального ремонту КР і часу експлуатації більш доцільно використовувати сумарну витрату пального [1].

Тому задача визначення залежності ймовірності безвідмовної роботи АТ від сумарної

витрати пального з урахуванням індивідуальних особливостей та умов експлуатації є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання оцінювання рівня технічного стану та рівня технічної готовності АТ розглядаються у низці наукових праць. У роботі [2] для оцінювання технічного стану системи пропонується застосовувати комплексні показники надійності, такі як коефіцієнт оперативної готовності ($К_{ог}$), коефіцієнт готовності ($К_г$), коефіцієнт технічного використання ($К_{тв}$), та ін., що включають середній час відновлення ($Т_в$), але вони зворотно пропорційні інтенсивності відновлення і не враховують найбільш значущих факторів, від яких залежить час відновлення.

Пізніше було запропоновано аналітичну модель визначення ресурсу автомобіля за сумарною витратою пального [3; 4]. У загальному вигляді для ЗІЛ-130 вона записується так:

$$L_{кр} = 2.92 \cdot 10^7 \cdot \delta / Q \text{, км}$$

де δ – максимальний знос циліндрів двигуна (0.34 ... 0.35) мм;

Q – фактична експлуатаційна витрата пального в л/100 км.

При $\delta \approx 0.35$ мм – $L_{кр} \approx 102 \cdot 10^5 / Q$ км.

Це була перша енергетична модель розрахунку фізичного ресурсу ТЗ. Добуток $L_{кр} \cdot Q$ можна вважати для таких умов роботи величиною постійною ($const = 102 \cdot 10^5$ л). Ця модель пізніше отримала подальший розвиток в роботі [4].

Розробка досить точних моделей, що відображають зміни ресурсів агрегатів автомобілів за різних умов експлуатації, є найважливішою науковою та практичною задачею. Тривалі експериментальні дослідження вимірювання ресурсів за стабільних умов експлуатації практично неможливі, тому необхідно створювати досконалі розрахункові аналітичні методи. Вони можуть бути широко використані у проектуванні автомобілів і створенні нормативної бази для автотранспортних підприємств.

Отже, аналіз літературних джерел свідчить, що наявні підходи до оцінювання зміни технічного стану та прогнозування залишкового ресурсу орієнтовані на старі та малоефективні методи. Технічний стан АТ визначається за середньостатистичними показниками лише на момент перевірки та не дозволяє визначати ймовірність перебування зразка АТ у такому стані певний проміжок часу. Прогнозування залишкового ресурсу відбувається на інтуїтивному рівні на основі даних пробігу зразка АТ за час експлуатації та не враховує зміни умов експлуатації та інших зовнішніх факторів.

Мета статті – отримання й доведення залежності ймовірності безвідмовної роботи автомобільної техніки від сумарної витрати пального.

Виклад основного матеріалу дослідження. При експлуатації за певних умов вироблений ресурс АТ за певний період часу можна оцінювати за сумарною витратою пального, що відповідає пробігу автомобіля, за якого відбувається повне вичерпання ресурсу агрегатів АТ. Отже, множення пробігу автомобіля, за якого агрегати потребують капітального ремонту, на витрату пального у л/100 км є сумарною витратою пального. Ця величина для конкретного типу АТ буде постійною [1; 7; 8]. Під час використання за призначенням автомобіля ресурс агрегатів зменшується настільки, наскільки збільшується сумарна витрата пального. Саме ця закономірність покладена в основу прогнозування залишкового ресурсу автомобіля за сумарною витратою пального [7].

Значення сумарної витрати пального для базових вантажних автомобілів представлені в табл. 1 [7]. Наведені результати відображають середню сумарну витрату пального груп основних найпоширеніших зразків АТ до капітального ремонту в літрах залежно від індивідуальних особливостей конкретного автомобіля. Витрата пального є одним із узагальнюючих параметрів впливу на інтенсивність зношування сполучень вузлів та агрегатів ряду таких експлуатаційних і конструктивних факторів, як дорожні умови, передавальні числа коробки передач і головної передачі, технічний стан агрегатів трансмісії, якість палива та мастил, регулювання системи живлення та запалювання, конструктивні особливості та ін.

З метою визначення залежності пробігу та сумарної витрати пального від умов експлуатації було проведене дослідження двох груп вантажних машин [7; 8]. Спостереження за контрольною партією із 40 автомобілів ЗІЛ-130 (Самоскид), які експлуатувалися за важких умов (5 категорія), проводилося від початку експлуатації до виходу у капітальний ремонт (КР) (відповідно до середнього терміну експлуатації 4,2 роки, ресурсу

Таблиця 1

Значення сумарної витрати пального для автомобілів

Марка автомобіля	ЗІЛ-130	КамАЗ-5320	МАЗ-53371	КрАЗ-5233Н2
Сумарна витрата пального, л	88 300	74 500	112 500	85 900

близько 200 тис. км. та сумарної витрати пального близько 88 300 л.) [8; 9], табл. 2. Ці автомобілі застосовувалися для перевезення сипучих будівельних матеріалів із кар'єрів.

Також було проведене дослідження групи автомобілів ЗІЛ-130 (Кунг) у кількості 15 шт., які експлуатувалися в середньому протягом 7 років і перевозили людей та обладнання з метою виконання аварійних робіт комунальними службами в межах міста.

Ця група автомобілів експлуатувалася за легких умов експлуатації (1 категорія) та мала напрацювання в середньому близько 284 тис. км., а сумарну витрату пального – близько 88 000 л (табл. 3).

Середнє напрацювання до КР для груп автомобілів, що експлуатувалися за важких і легких умов, мають відмінність 30%.

Таким чином, залежно від умов експлуатації за різного напрацювання в КР автомобілі потрапляли, маючи приблизно однакову витрату пального. Середня сумарна витрата пального до КР для груп досліджуваних автомобілів, які експлуатувалися за більш важких і легких умов, мають відмінність близько 300 л. Це означає, що похибка вимірювання становить близько 0,3% [9; 10].

Для групи автомобілів, які експлуатувалися за легких умов, були отримані статистичні дані про відмови. Кожен автомобіль розглядався як система, що складається з чотирьох окремих елементів (підсистем). Це двигун, трансмісія, електрообладнання, ходова частина.

Сумарна витрата пального 13 автомобілів до відмов за час експлуатації 7 років становить:

$$\sum_{k=1}^{52}\sum_{k=1}^{52} Q_{\Sigma} k, i = 162181 \text{ л}$$

Виникає необхідність визначити кількісні характеристики безвідмовності агрегату і, як наслідок, закон розподілу сумарної витрати пального на безвідмовну роботу підсистеми автомобіля

Визначаємо статистичний ряд сумарної витрати пального на безвідмовну роботу підсистеми автомобіля [11; 12].

Для цього весь діапазон витрати пального між відмовами ділимо на інтервали

$$\Delta Q_{\Sigma i} = Q_{\Sigma i} - Q_{\Sigma i-1}$$

За статистичними даними підраховуємо кількість відмов $\varnothing n_i$, які припадають на кожний розряд $\Delta Q_{\Sigma i}$ і визначаємо частоту відмов $N*_i$ кожного розряду:

$$N*_i = \frac{\Delta n_i}{\sum_{k=1}^{n} n_k},$$

де $\varnothing n_i$ – кількість відмов на інтервалі $\Delta Q_{\Sigma i}$

$\sum_{k=1}^{n} n_k = \sum_{k=1}^{52} n_k = 70$ – сумарна кількість відмов.

Отримуємо статистичний ряд сумарної витрати пального на безвідмовну роботу підсистеми автомобіля (табл. 4).

Представимо отриманий статистичний ряд сумарної витрати пального на безвідмовну роботу підсистеми автомобіля у вигляді гістограми (рис. 1).

Для цього по вісі абсцис позначимо послідовно всі інтервали витрати пального і на кожному з них як на основі побудуємо прямокутник, площа якого дорівнює частоті $N*_i$ цього інтервалу, а висота – величині $f*_i$:

$$f*_i = \frac{\Delta n_i}{\Delta Q_{\Sigma i} \sum_{k=1}^{n} n_k}$$

Результати розрахунків $f*_i$ наведені в табл. 5.

Таким чином, побудований експериментальний графік щільності розподілу сумарної витрати пального на безвідмовну роботу підсистеми автомобіля за даними його експлуатації.

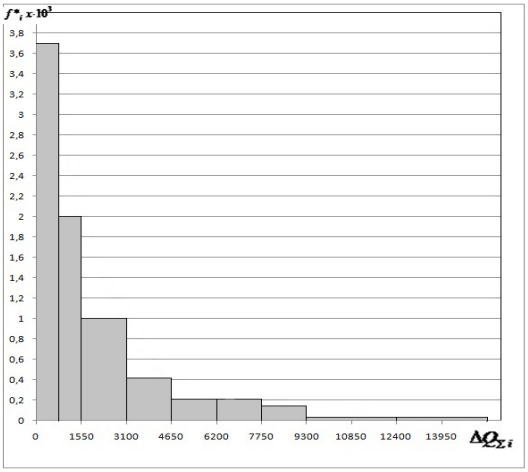

Рис. 1. Гістограма щільності розподілу сумарної витрати пального на безвідмовну роботу підсистеми автомобіля

Таблиця 2

Результати спостереження за партією автомобілів ЗІЛ-130 за важких (5 категорія) умов експлуатації

Марка авт.	Кільк. машин	Період спостереж., років	Сер. пробіг і початку експл. до КР, км	Сер. сумарна витрата пального з поч. експл. до КР, л
ЗІЛ-130 (Самоскид)	40	4,2	200 000	88 300

При збільшенні обсягу статистичних даних і числа інтервалів цей графік буде наближатися до теоретичної функції щільності розподілу сумарної витрати пального на безвідмовну роботу підсистеми автомобіля $f\left(Q_{\Sigma}\right)$.

$$f\left(Q_{\Sigma}\right) = \lambda_{сер} \exp\left(-\lambda_{сер} t\right),$$

де $\lambda_{сер}$ – середнє значення інтенсивності відмов агрегату.

За допомогою теоретичної функції щільності розподілу сумарної витрати пального на безвідмовну роботу підсистеми автомобіля $f\left(Q_{\Sigma}\right)$ проведемо згладжування статистичного ряду (табл. 5) [13; 15].

Приймаємо припущення: інтенсивність відмови теоретичного розподілу $\lambda_{сер}$ дорівнює середньому значенню інтенсивності відмов $\lambda^{*}_{сер}$.

$$\lambda_{сер} = \frac{\sum_{k=1}^{n} n_k}{\sum_{k=1}^{n} \cdot \sum_{i=1}^{n_k} Q_{\Sigma k,i}} = \frac{\sum_{k=1}^{52} n_k}{\sum_{k=1}^{52} \cdot \sum_{i=1}^{70} Q_{\Sigma k,i}} = \frac{70}{150366} = 0,00047$$

Визначаємо значення теоретичної функції $f\left(Q_{\Sigma}\right)$

Будуємо теоретичну функцію розподілу сумарної витрати пального на безвідмовну роботу підсистеми автомобіля.

$$f\left(Q_{\Sigma}\right) = \lambda_{сер} \cdot e^{\lambda_{сер} Q_{\Sigma}} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-3,6 \cdot 10^{-3} Q_{\Sigma}}$$

На рисунку видно, що теоретична крива $f\left(Q_{\Sigma}\right)$ добре узгоджується з даними випробувань (рис. 2). Однак необхідна перевірка узгодженості за допомогою критерію академіка Колмогорова [13–15].

Для цього необхідно визначити статистичну функцію розподілу $F^{*}\left(Q_{\Sigma}\right)$ часу безвідмовної

Таблиця 3

Результати спостереження за партією автомобілів ЗІЛ-130 за легких (1 категорія) умов експлуатації

№ з/п	Марка автомобіля	Середній термін спостереження, років	Державний номер	Рік випуску	Пробіг із початку експлуатації до КР, км	Сумарна витрата пального з початку експлуатації до КР, л
1.	ЗІЛ-130 (Кунг)	7	в7712ха	1995	280 900	88 559
2.			е2368хе	1996	275 300	87 530
3.			д3571хі	1994	291 155	87 954
4.			б7816хк	1998	286 697	88 463
5.			в2687хк	1997	281 937	88 225
6.			а7813ха	1999	287 525	87 497
7.			г6598хі	1997	279 985	88 580
8.			д1462хе	1997	287 745	88 112
9.			б5415хе	1996	288 170	87 864
10.			б4163хк	1995	285 520	87 985
11.			в2546хі	1998	282 230	87 490
12.			б1973ха	1994	284 460	88 357
13.			и8579хк	1996	286 456	88 295
14.			д4931хі	1995	284 550	88 050
15.			б7856хе	1998	276 880	87 194
Середнє значення					283 967	88 010

Таблиця 4

Статистичний ряд сумарної витрати пального на безвідмовну роботу підсистеми автомобіля

Характеристика	Результати розрахунків								
$Q_{\Sigma i-1}$, $Q_{\bullet i}$, л.	0–775	775–1550	1550–3100	3100–4650	4650–6200	6200–7750	7750–9300	9300–12400	12400–15500
$\Delta Q_{\Sigma i} = Q_{\Sigma i} - Q_{\Sigma i-1}$, л.	775	775	1550	1550	1550	1550	1550	3100	3100
$\varnothing n_i$	26	14	14	6	3	3	23	1	1
N^{*}_{i}	0,37	0,2	0,2	0,86	0,043	0,043	0,029	0,014	0,014
$f^{*}_{i}\ x \cdot 10^{3}$	3,7	2,0	1,0	0,43	0,215	0,215	0,145	0,036	0,036

Таблиця 5

Статистичний ряд сумарної витрати пального на безвідмовну роботу підсистеми автомобіля

Характеристика	Результати обчислень										
$Q_{\Sigma 0i}$, л	0	388	775	1550	3100	4650	6200	7750	9300	12400	15500
$f(Q_{\Sigma 0i})$	3,6	3,0	2,52	1,75	0,85	0,41	0,2	0,1	0,05	0,03	0,01

Таблиця 6

Результати розрахунків функцій $F^*(Q_\Sigma)$ і $F(Q_\Sigma)$

Характеристика	Результати розрахунків										
$Q_{\bullet 0i}$, л	0	1550	3100	4650	6200	7750	9300	10850	12400	13950	15500
$F^*(Q_{\Sigma i})$	0	0,57	0,77	0,856	0,899	0,942	0,971	0,985	0,999	0,999	1,000
$F(Q_{\Sigma i})$	0	0,514	0,763	0,884	0,944	0,972	0,98	0,99	0,995	0,999	0,999

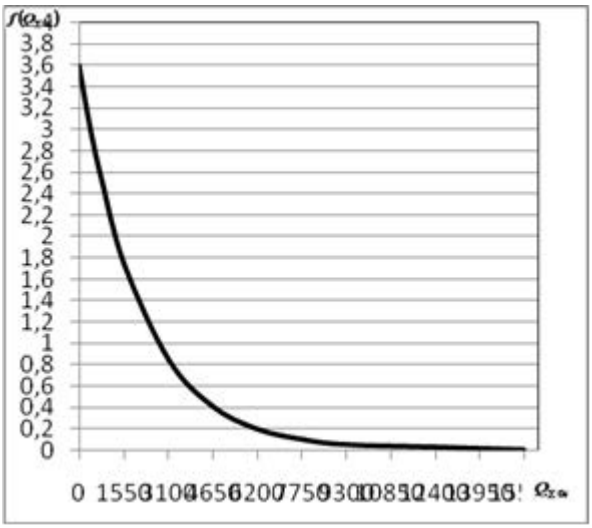

Рис. 2. Графік щільності розподілу сумарної витрати пального на безвідмовну роботу підсистеми автомобіля

роботи підсистеми та теоретичну функцію розподілу $F(Q_\Sigma)$.

$F^*(Q_\Sigma)$ визначається за даними статистичного ряду (табл. 5):

$$F^*(Q_{\Sigma 0}) = 0;$$

$$F^*(Q_{\Sigma 1}) = N^*_1 = 0,57$$

$$F^*(Q_{\Sigma 2}) = N^*_1 + N^*_2 = 0,57 + 0,2 = 0,77$$

$$F^*(h) = 0,57 + 0,2 + 0,086 + 0,043 + 0,043 + 0,029 + 0,029 = 1 = \sum_{i=1}^{h} Q^*_i$$

Теоретична функція розподілу:

$$F(Q_\Sigma) = 1 - e^{-\lambda_{сер} Q_{\Sigma 0i}}$$

Результати розрахунків функцій $F^*(Q_\Sigma)$ і $F(Q_\Sigma)$ наведені в табл. 6.

Максимальне значення модуля різниці між статистичною і теоретичною функцією розподілу:

$$D = \max\left|F^*(Q_\Sigma) - F(Q_\Sigma)\right| = 0,57 - 0,514 == 0,056$$

$$\lambda_D = D\sqrt{n} = 0,056\sqrt{70 = 0,468}$$

Знаходимо ймовірність

Таким чином, гіпотеза, що функція розподілу підкоряється експоненціальному закону, правильна.

Пристосовуючи цю функцію розподілу до вищезазначених математичних моделей, отримаємо її такий вигляд:

$$F(Q_\Sigma) = 1 - e^{-\frac{Q_{i\Sigma}}{Q_{\Sigma\,норм.}}}$$

де, $F(Q_\bullet)$ – ймовірність відмови; $Q_{i\Sigma}$ – сума витрата пального на 100 км; $Q_{\bullet\,норм.}$ – нормативна сумарна витрата пального.

Тоді ймовірність безвідмовної роботи матиме такий вигляд

$$P(Q_\Sigma) = e^{-\frac{Q_{i\Sigma}}{Q_{\Sigma\,норм.}}}$$

P(Q∑) – ймовірність безвідмовної роботи автомобіля за умови, що він відпрацював безвідмовно певний період витрати пального та витратив кількість пального Q∑.

Висновки. За результатами дослідження отримано і доведено залежність ймовірності безвідмовної роботи автомобіля від сумарної витрати пального.

Доведено гіпотезу, що функція розподілу підкоряється експоненціальному закону.

Сформульовано формулу для визначення залежності ймовірності безвідмовної роботи від сумарної витрати пального.

Середня сумарна витрата пального до КР для груп досліджуваних автомобілів, які експлуатувалися за більш важких і легких умов, мають відмінність близько 300 л. Це означає, що похибка вимірювання становить близько 0,3%.

Список літератури:

1. Варфоломеев В.Н. Научные основы построения и реализации технологии поддержания автомобилей в работоспособном состоянии на базе диагностической информации : дис. … докт. техн. наук. Харьков, 1992. 360 с.
2. Форнальчик Є.Ю., Оліскевич М.С., Мастикаш О.Л. Технічна експлуатація та надійність. Львів : Афіша. 2004. 125 с.
3. Говорущенко Н.Я. Основы управления автомобильным транспортом. Харьков : Вища школа, 1978. 225 с.
4. Лебедев А.Т., Подригало М.А., Полянский А.С., Абрамов Д.В., Плетнев В.Н., Тесля В.О. Оценка наработки мобильных машин по выполненной двигателем механической работе. *Механіка та машинобудування.* 2011. № 2. С. 295.
5. Авдонькин Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей : учебное пособие. Москва : Транспорт, 1985. 215 с.
6. Харазов А.М., Кривенко Е.И. Диагностирование легковых автомобилей на станциях технического обслуживания : учебное пособие. Москва : Высшая школа, 1987. 272 с.
7. Бажинов А.В. Прогнозирование остаточного ресурса автомобильного двигателя. Харьков : ХГАДТУ, 2001. 95 с.
8. Ротенберг Р.В. Основы надежности системы водитель – автомобиль – дорога – среда. Москва : Машиностроение, 1986. 216 с.
9. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. Москва : Астрель, 2006. 991 с.
10. Любченко Е.А., Чуднова О.А. Планирование и организация эксперимента: учеб. пособие для студентов специальностей «Стандартизация и сертификация», «Управление качеством». Ч. 1 / под ред. Г.В. Орловской. Владивосток : ТГЭУ, 2010. 156 с.
11. Березин Н.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. Москва : Физматгиз, 1962. 244 с.
12. Крутов В.И., Грушко И.М., Попов В.В. Основы научных исследований : учебное пособие / под ред. В.И. Крутова, В.В. Попова. Москва : Высшая школа, 1989. 400 с.
13. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Москва : Физматгиз, 1962. 564 с.
14. Шошин А.И. Методы экспертных оценок. Москва : МГУ, 1987. 79 с.
15. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.В. Надежность машин. Москва : Высшая школа, 1988. 238 с.

Ivanchenko O.V., Ivanchenko A.O. THE INFLUENCE OF TOTAL FUEL CONSUMPTION ON THE CHANGE OF THE TECHNICAL CONDITION OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT

The technical condition of the car and its elements is determined by quantitative indicators of design parameters. The ability to directly measure the design parameters of many products is often limited. To determine the technical condition use diagnostic parameters associated with design parameters.

It is proposed to use the integrated indicator of total fuel consumption to assess the change in the technical condition of automotive equipment, taking into account a variety of factors, instead of mileage before overhaul and service life.

The analysis of scientific works related to the assessment of the level of technical condition and, accordingly, the level of technical readiness of automotive equipment shows that the existing approaches are focused on old and inefficient methods. The technical condition of automotive equipment is determined by the average indicators only at the time of inspection and does not allow to determine the probability of a sample of automotive equipment in this condition for a certain period of time. Residual resource forecasting is performed on an intuitive level based on the mileage data of a sample of automotive equipment during operation and does not take into account changes in operating conditions and other external factors.

The studied pattern is the basis for forecasting the residual life of the car on the total fuel consumption, namely, that when used for the purpose of the car resource of the units decreases by as much as the total fuel consumption increases.

The hypothesis that the distribution function obeys the exponential law is proved. A formula for determining the dependence of the probability of failure-free operation on the total fuel consumption is proposed.

Key words: *automobile equipment, technical condition, total fuel consumption, distribution density, technical condition assessment, operating conditions.*