

УДК 629.113.004.67

С.В.ШУМИК, д-р техн. наук,
С.С.КУЧУР, канд. техн. наук,
А.С.САВИЧ (БПИ)

**ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСИИ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ
НА НОРМИРОВАНИЕ ИХ РАСХОДА**

Случайный поток отказов при эксплуатации автомобилей является нестационарным и характеризуется меньшим ресурсом R_z деталей автомобиля, установленных после отказа из числа запасных, по сравнению с ресурсом R_1 деталей (начальных элементов), установленных на заводе-изготовителе, а также дисперсией фактического ресурса одноименных деталей по группе автомобилей.

Уменьшение ресурса R_z запасных деталей для целей нормирования их расхода предложено учитывать коэффициентом нестационарности потока замен K_H [1]. Коэффициент K_H учитывает фактическое снижение ресурса деталей с каждой последующей их заменой и равен пределу среднего значения этого снижения:

$$K_H = \lim_{z \rightarrow n} \frac{R_{z+1}}{R_z} \rightarrow \text{const.} \tag{1}$$

В (1) z – порядковый номер замены детали; n – количество замен одноименных деталей за срок L эксплуатации автомобиля; R_{z+1} , R_z – ресурсы деталей соответственно при последующей и предшествующей их заменах.

Оценка влияния дисперсии фактического ресурса деталей на нормирование их расхода нуждается, на наш взгляд, в дальнейшем уточнении.

Показано [2], что функция восстановления $H(t)$ стареющих элементов, равная среднему числу отказов к моменту времени t , удовлетворяет неравенству

$$t/T_0 - 1 \leq H(t) \leq t/T_0. \tag{2}$$

где T_0 – среднее время жизни элемента (ресурс детали).

Для рассматриваемого нестационарного потока с учетом уменьшения ресурса запасных деталей неравенство (2) принимает вид

$$(L - R_1)K_H/R_1 - 1 \leq H(L) \leq (L - R_1)K_H/R_1, \tag{3}$$

где L – средний нормативный ресурс автомобиля; $H(L)$ – среднее число замен запасных деталей за пробег автомобиля L , не считая замены начального элемента; $(L - R_1)/R_1$ – среднее предполагаемое количество замен деталей на пробеге $L - R_1$ без учета нестационарности потока, т.е. при условии $R_1 = R_z$.

Из (3) следует, что верхний h_v и нижний h_n пределы ожидаемого расхода запасных частей в интервале $[L - R_1, L]$ с учетом замены начального элемента

$$h_{\text{в}} = \frac{L - R_1}{R_1} K_{\text{н}} + 1; \quad h_{\text{н}} = \frac{L - R_1}{R_1} K_{\text{н}}. \quad (4)$$

Доверительный интервал ожидаемого расхода запасных частей $[h_{\text{н}}, h_{\text{в}}]$ и определяется дисперсией случайной величины — ресурса деталей по группе автомобилей.

В случае выбора $h_{\text{опт}}$ в качестве оптимальной нормы расхода запасных частей i -го наименования величина $h_{\text{опт}} - h_{\text{н}}$ будет характеризовать недопроизводство деталей, и потери в этом случае составят

$$C'_i = (\Pi D_i + S_1) (h_{\text{опт}} - h_{\text{н}}),$$

где Π — суточная прибыль от эксплуатации автомобиля; D_i — продолжительность простоя автомобиля из-за отсутствия запасных частей i -го наименования, сут; S_1 — затраты, связанные с производством или приобретением недостающих запасных частей.

Поскольку $h_{\text{в}}$ превышает оптимальную норму расхода деталей, соответствующие потери составят

$$C''_i = S_2 (h_{\text{в}} - h_{\text{опт}}),$$

где S_2 — затраты на приобретение и хранение запасных частей i -го наименования.

Из условия равенства C'_i и C''_i можно найти оптимальную норму расхода запасных частей. Однако в связи с практической трудностью получения статистической информации по экономическим потерям, связанным с заменой деталей, возникает необходимость приближенной оценки уровня дисперсии ресурса этих деталей [3–5].

В табл. 1 представлены результаты расчета нормы расхода запасных частей на примере фланца переднего карданного вала автомобиля МАЗ-7313. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 1, поправки к нормам, учитывающие дисперсию ресурса деталей, весьма значительны (более 50 %).

Анализ фактического расхода запасных частей по результатам подконтрольной эксплуатации автомобилей показывает, что нормы расхода деталей, полученные по уравнениям, приведенным в табл. 2, завышены на 10–26 %.

Более строго предел среднего ожидаемого расхода запасных частей с учетом всех возможных значений случайной величины — ресурса деталей R — можно определить по формуле полной вероятности

$$h = \int_0^L h(R) f(R) dR,$$

где $f(R)$ — плотность вероятности распределения ресурса детали.

Дисперсию ресурса R каждой из деталей необходимо учитывать на основе оценки вероятности их отказа $P\{R \leq (L - R_1)\}$ в интервале $[L - R_1, L]$:

$$P\{R \leq (L - R_1)\} = \int_0^{L - R_1} f(R) dR. \quad (5)$$

Табл. 1. Результаты расчета нормы расхода запасных частей

Расчетное уравнение	Литературный источник	Расход на 100 автомобилей в год	
		норма	в том числе на учет дисперсии: ресурса
$h = \frac{100n}{T} \left(\frac{L - R_1}{R_1} + 0,5(1 + v_z^2) \right)$	[5]	35	19
$h = \frac{100n}{T} \left(\frac{v}{z} Z_q + 0,5q(L) \right)$	[4]	29	14
$h = \frac{100n}{T} \left(\frac{L - R_1}{R_z} + U_a \frac{\sigma\sqrt{L}}{\sqrt{R_z^3}} \right)$	[3]	34	18

Табл. 2. Исходные данные для расчета нормы расхода запасных частей

Показатель	Обозначение	Значение
Средний пробег автомобиля до списания	L	120 тыс. км
Средний срок службы	T	3 года
Средний ресурс детали (начального элемента)	R_1	83 тыс. км
Закон распределения ресурса	$f(R_1)$	Нормальный
Среднеквадратичное отклонение ресурса	σ_1	24 тыс. км
Коэффициент вариации ресурса	v_1	0,29
Средний ресурс запасной детали	R_z	73,7 тыс. км
Уровень доверительной вероятности достоверной оценки R_z	a	0,9
Квантиль нормального распределения	U_a	1,281
Вспомогательная величина	Z_q	1,328
Коэффициент вариации ресурса запасной детали	v_z	0,34
Количество рассматриваемых деталей на автомобиле	n	1
Коэффициент нестационарности потока замен деталей	K_H	1,126

Из уравнений (4) и (5) следует, что

$$h_B = h_H + \Delta h \Big|_{P = P\{R \leq (L - R_1)\}} \quad (6)$$

Известно, что при $t_0 > 1,5$ ($t_0 = L/R$) $H(t)$ — линейная функция, практически не зависящая от закона распределения ресурса R_1 начального элемента. Поэтому средний ожидаемый расход запасных частей в интервале $[L-R_1, L]$ с учетом замены начального элемента будем определять как среднее арифметическое верхнего и нижнего пределов ожидаемого расхода деталей:

$$h = 0,5(h_B + h_H), \tag{7}$$

На основании формул (6) и (7)

$$h = h_H + 0,5\Delta h \Big|_{P=P\{R \leq (L-R_1)\}} \tag{8}$$

С учетом (4) уравнение (8) для определения среднего ожидаемого расхода запасных частей примет вид

$$h = (L-R_1)K_H/R_1 + 0,5\Delta h \Big|_{P=P\{R \leq (L-R_1)\}} \tag{9}$$

Определим усредненную вероятность отказа элемента по группе автомобилей в интервале $[L-R_1, L]$. При нестационарном потоке отказов необходимый ресурс деталей, обеспечивающий надежную эксплуатацию N автомобилей, удовлетворяет условию

$$\sum_{k=1}^N \sum_{z=1}^n R_{kz} \geq NL,$$

где z — количество замен деталей данного наименования на k -м автомобиле.

Согласно предельной теореме вероятностей, величина $\sum_{k=1}^N \sum_{z=1}^n R_{kz}$ распределена по нормальному закону. Как видно из рис. 1, среднее значение ресурса элемента R_z соответствует медианному значению плотности вероятности распределения $f(R)$ и вероятности возникновения отказа $P(R) = 0,5$. Поэтому для запасных деталей с ресурсом $R_{z=1}, R_{z=2}$ имеет место объединенный резерв.

По теореме Лапласа вероятность отказа элемента в интервале $[R_z, R_{z+1}]$

$$P\{R_z \leq (R_z + R_{z+1})\} = \Phi\left(\frac{(R_z + R_{z+1}) - R_z}{\sigma_z} - \frac{1}{2}\right), \tag{10}$$

где Φ — нормированная функция Лапласа.

Уравнение (10) характеризует вероятность попадания случайной величины R_z в интервал R_{z+1} , что и создает объединенный резерв деталей. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке нормативов потребности в запасных частях. Показано, что объединение резервов отдельных машин существенно повышает надежность группы [2].

Известно, что при $z \geq 5$ поток отказов при эксплуатации автомобилей

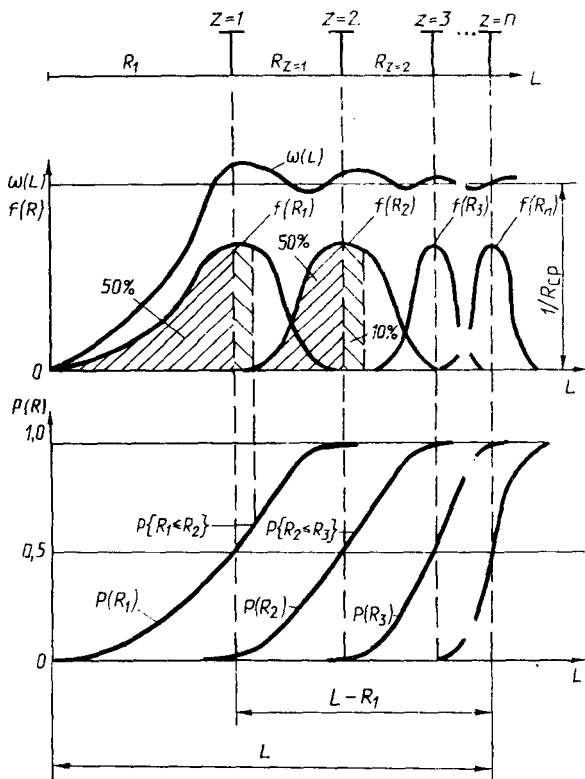


Рис. 1. Общая схема нестационарного потока замен деталей при эксплуатации автомобилей:

$\omega(L)$ — распределение значений параметра потока отказов деталей i -го наименования по группе N автомобилей

стабилизируется [3]. В этой связи для определения числителя первого слагаемого в правой части уравнения (10) выразим средний ресурс R_z запасных деталей через ресурс начального элемента и коэффициент нестационарности потока замен K_H ($R_z = R_1/K_H$).

На основании формул (10) и (9) получаем расчетное уравнение для определения норм расхода запасных частей

$$h = \frac{100n}{T} \left(\frac{L - R_1}{R_1} K_H + 0,5\Delta h \right) \quad P = \Phi(R_1 / (\sigma_1 K_H) - 0,5) \quad (11)$$

Для рассмотренного выше примера уравнение (11) дает норму расхода запасных частей 25 шт. на 100 автомобилей в год, причем доля ее, учитывающая дисперсию ресурса деталей, составляет 32%. Этот результат более точно согласуется с фактическим расходом запасных частей при подконтрольной эксплуатации автомобилей.

Предлагаемая методика позволяет упростить расчет норм расхода запасных частей, а также повысить точность получаемых результатов.

Список литературы

1. Шумик С.В., Флерко И.М., Кучур С.С. Методы нормирования расхода запасных частей при эксплуатации автомобилей. Мн., 1983. Деп. в БелНИИНТИ 3.01.83, № 529Бе-Д83.
2. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М., 1965.
3. Блюдов Е.П. Исследование соотношений расхода металла на изготовление запасных частей и производство автомобилей: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1972.
4. Методика разработки нормативов потребности в запасных частях и агрегатах к автомобилям, тракторам и сельскохозяйственным машинам на ремонтно-эксплуатационные нужды / ГосНИТИ. М., 1974.
5. Тельнов Л.С. Инженерные методы расчета средних нормативов потребности запасных частей // Тракторы и сельхозмашины. 1976. № 8.

УДК 629.113.004

М.М.БОЛБАС, Е.Л.САВИЧ,
кандидаты техн. наук,
В.В.ШЛОВЕНЕЦ (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГАЗОВОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА

В последние годы значительно расширилось применение газобаллонных автомобилей (ГБА), работающих на сжатом природном газе (СПГ). Наряду со снижением эксплуатационных затрат использование природного газа в качестве моторного топлива приводит к уменьшению выбросов токсичных компонентов отработавших газов (ОГ). Низкий уровень токсичности ОГ в значительной степени связан с условиями смесеобразования и сгорания газоздушнoй смеси.

Вместе с тем, как показали исследования, проведенные на кафедре "Техническая эксплуатация автомобилей" БПИ, экономичность и экологическая чистота работы газового автомобильного двигателя зависят от технического состояния топливоподающей аппаратуры (ТПА), в первую очередь редуктора низкого давления (РНД) и карбюратора-смесителя (КС).

Одним из режимов, характеризующих работу двигателя, является режим минимальной частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу. По оценкам специалистов, он составляет в условиях движения по улицам большого города до 30% всего времени нахождения автомобиля на линии.

Для изучения работы двигателей ГБА в режиме минимальной частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу проведена массовая проверка автомобилей ЗИЛ-138А, эксплуатируемых в грузовых автомобильных парках № 3 и 6 объединения "Минскгрузавтотранс", на топливную экономичность и токсичность отработавших газов. Установлено, что больше половины всех автомобилей работает с различными нарушениями регулировок газовой системы питания. Так, у 80% проверенных автомобилей минимальная частота вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу была выше рекомендуемой заводом-изготовителем. Наблюдались во многих случаях неустой-