

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630\*36.001.57

*В.И. КУЧЕРЯВЫЙ, В.Д. ЧАРКОВ*

Ухтинский государственный технический университет

Кучерявый Василий Иванович родился в 1953 г., окончил в 1977 г. Ленинградскую лесотехническую академию, в 1991 г. Ленинградский государственный университет, доктор технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики Ухтинского государственного технического университета. Имеет более 80 печатных работ в области разработки новых методов расчета прочности и прогнозирования надежности лесозаготовительных машин (ЛЗМ), вероятностного проектирования и статистической динамики конструкций ЛЗМ, моделирования на ПЭВМ ресурса деталей и прогнозирования их потребности.



Чарков Владимир Дмитриевич родился в 1939 г., окончил в 1964 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики Ухтинского государственного технического университета. Имеет более 40 научных трудов по численным методам расчета прочности конструкций.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ  
ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОЛЕСОВОЗОВ**

Применена детерминированная формула оценки обобщенного ресурса деталей двигателя по критерию износа как функция ресурсов на четырех типичных режимах. Методом компьютерного статистического моделирования найдено распределение обобщенного ресурса, показатели надежности и требуемое число запасных частей с учетом условий эксплуатации.

The determinate formula for estimating the generalized resource of engine details according to the wear criterium has been ap-

plied as the resource function for four typical modes. Method of computer modelling was used for determining the distribution of the generalized resource, reliability indices and the required number of spare parts taking into account the operation conditions.

Автолесовозы работают в сложных дорожных условиях, что приводит к снижению ресурса работы их двигателей по сравнению с двигателями автомобилей общего назначения. Показатели надежности двигателя невозможно получить сбором статистических данных по отказам, так как на практике автолесовозы работают при различных режимах и условиях эксплуатации.

В соответствии с [1] режим работы двигателя по износу делится на четыре типа: I – легкий (равномерное движение автомобиля), II – средний (неравномерное движение автомобиля), III – тяжелый (запуск двигателя), IV – весьма тяжелый (движение автомобиля по запыленным дорогам). Ресурсы деталей на выделенных режимах обозначены как  $t_I$ ,  $t_{II}$ ,  $t_{III}$  и  $t_{IV}$ . По совокупности однотипных деталей, из-за множества факторов, влияющих на износ, ресурсы на типичных режимах – величины случайные  $\tilde{t}_j$  ( $j=I, \dots, IV$ ).

Поскольку при эксплуатации типичные режимы сочетаются, то обобщенный ресурс (ОР) детали двигателя (наработка в тысячах километров пробега) – это функция четырех случайных аргументов [1, 3]:

$$t_0 = 1 / \left( \gamma_I / t_I + \gamma_{II} / t_{II} + \gamma_{III} / t_{III} + \gamma_{IV} / t_{IV} \right), \quad (1)$$

где  $\gamma_I, \dots, \gamma_{IV}$  – относительное время работы двигателя на типичных режимах,

$$\text{причем } \sum_{j=1}^4 \gamma_j = 1, \quad \gamma_j \geq 0.$$

Величины  $\gamma_I, \dots, \gamma_{IV}$  в (1) количественно характеризуют условия эксплуатации и вносят различие в интенсивность износа. Допускаем, что в (1) ресурсы на каждом  $j$ -м режиме подчинены логнормальному распределению с плотностью вероятности

$$p(t_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} t_0 b_j} \exp \left[ - \frac{(\ln t_j - a_j)^2}{2 b_j^2} \right]. \quad (2)$$

Параметры  $a_j$  и  $b_j$  определяем по формулам

$$\begin{aligned} a_j &= \ln \bar{t}_j - \frac{1}{2} \ln \left( \frac{s_j^2}{\bar{t}_j^2} + 1 \right), \\ b_j &= \sqrt{\ln \left( \frac{s_j^2}{\bar{t}_j^2} + 1 \right)} \bar{t}_j, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\bar{t}_j$ ,  $s_j$  – математическое ожидание (МО) и стандартное отклонение (СО) ресурса на каждом  $j$ -м типичном режиме ( $j = I, \dots, IV$ ).

При этих допущениях ставится задача: найти статистическое распределение  $\tilde{t}_0$  по условию (1). Так как этот случай не имеет аналитического решения, то применяли статистическое моделирование [2], реализация которого возможна на ПЭВМ.

Описание алгоритма. Вычислительная программа составлена на языке Турбо-Бейсик. Последовательность случайных чисел (СЧ)  $\{r_i\}_n$ , равномерно распределенных от 0 до 1, генерировали с помощью оператора  $RND(x)$ . Затем попарно вычисляли последовательность нормированных нормальных СЧ:

$$\begin{aligned} z_i &= \sqrt{-2 \ln r_i} \cos(\pi r_{i+1}) \\ z_{i+1} &= \sqrt{-2 \ln r_i} \sin(\pi r_{i+1}) \end{aligned} \quad i = 1, 3, 5 \dots \quad (4)$$

где  $n$  – объем смоделированной выборки.

С учетом (3) и (4) моделирующая формула возможных значений ресурсов на каждом  $j$ -м типичном режиме принимает вид

$$t_j^{(j)} = \exp \left[ \mu_j + \sigma_j z_j \right] \quad (5)$$

Подставляя (5) в (1), получаем общий вид моделирующей формулы возможных значений ОР:

$$R_j = 1 / \left( \gamma_I / t_j^{(j)} + \gamma_{II} / t_{II}^{(j)} + \gamma_{III} / t_{III}^{(j)} + \gamma_{IV} / t_{IV}^{(j)} \right) \quad (6)$$

Проведем реализацию алгоритма для поршня двигателя ЯМЗ-238 автолесовоза МАЗ-5434 в составе с прицепом-ропуском ГКБ-9362 для условий эксплуатации Боровского и Каджеромского леспромхозов АО «Комилеспром».

Исходные данные для Боровского ЛПХ:  $\gamma_I = 0,51$ ;  $\gamma_{II} = 0,37$ ;  $\gamma_{III} = 0,02$ ;  $\gamma_{IV} = 0,10$ ; для Каджеромского ЛПХ:  $\gamma_I = 0,46$ ;  $\gamma_{II} = 0,39$ ;  $\gamma_{III} = 0,03$ ;  $\gamma_{IV} = 0,12$ . Ресурсы поршня на типичных режимах вычисляем по формуле

$$t_j = m_j / k_j,$$

где  $m_j$  – допустимый износ (принимаем по [4]) ;

$k_j$  – линейная интенсивность изнашивания (принимаем по [2]).

Поскольку значения  $k_j$  имеют разброс, то по правилу  $3\sigma$  находили МО и СО ресурсов на типичных режимах в тысячах километров пробега. В результате получено:  $\bar{t}_I = 240$ ,  $s_I = 19,2$ ;  $\bar{t}_{II} = 120$ ,  $s_{II} = 9,6$ ;  $\bar{t}_{III} = 80$ ,  $s_{III} = 6,4$ ;  $\bar{t}_{IV} = 60$ ,  $s_{IV} = 4,8$ .

По (3) вычисляем параметры логнормального распределения:  $a_I = 5,447$ ,  $b_I = 0,0799$ ;  $a_{II} = 4,784$ ,  $b_{II} = 0,0798$ ;  $a_{III} = 4,379$ ,  $b_{III} = 0,0798$ ;  $a_{IV} = 4,091$ ,  $b_{IV} = 0,0798$ .

После этого по выражению (5) смоделированы две случайные последовательности  $\{t_{oi}\}_n$  объемом  $n = 3000$  значений каждая для условий Боровского и Каджеромского ЛПХ. Их проверяли на согласие по следующим теоретическим распределениям:  $\beta$ -,  $\chi^2$ -, Эрланга, показательному, Фишера,  $\gamma$ -, логнормальному, нормальному, Стьюдента, треугольному, равномерному на интервале, Вейбулла. В обоих вариантах наибольшая вероятность согласия  $P$  получена для логнормального распределения  $\tilde{t}_0$  по (1), она выше допустимой 0,05.

Приводим численные значения параметров, полученных в результате моделирования (Боровской ЛПХ):  $\chi_1^2 = 11,5$  при числе степеней свободы

$t_0$	$p(t_0)$	$F(t_0)$	$R(t_0)$	$h(t_0)$
Боровской леспромхоз				
112,9	0,0011	0,0032	0,9968	0,0001
118,6	0,0045	0,0177	0,9823	0,0005
124,3	0,0129	0,0657	0,9344	0,0014
130,0	0,0249	0,1734	0,8266	0,0029
135,7	0,0343	0,3456	0,6544	0,0049
141,4	0,0354	0,5493	0,4507	0,0070
147,1	0,0282	0,7337	0,2663	0,0091
152,9	0,0179	0,8657	0,1343	0,0110
158,6	0,0093	0,9417	0,0583	0,0127
164,3	0,0040	0,9782	0,0219	0,0141
170,0	0,0015	0,9928	0,0072	0,0153
175,7	0,0005	0,9979	0,0021	0,0163
Каджеромский леспромхоз				
107,0	0,0013	0,0036	0,9964	0,0002
109,9	0,0029	0,0094	0,9906	0,0003
115,6	0,0101	0,0437	0,9563	0,0012
121,3	0,0227	0,1358	0,8642	0,0027
127,0	0,0347	0,3023	0,6977	0,0049
132,7	0,0379	0,5154	0,4846	0,0075
138,4	0,0309	0,7161	0,2839	0,0099
144,1	0,0195	0,8604	0,1396	0,0122
149,9	0,0097	0,9422	0,0577	0,0142
155,6	0,0039	0,9796	0,0204	0,0159
161,3	0,0014	0,9938	0,0062	0,0173
167,0	0,0004	0,9984	0,0016	0,0185

$\nu_1 = 21$ , вероятность согласия  $P_1 = 0,951961$ ; выборочное среднее ОР  $\bar{t}_{01} = 140,5$  тыс. км, выборочное СО  $s_{01} = 11,1$  тыс. км;  $a_{01} = 4,942$ ,  $b_{01} = 0,0791$ ; Каджеромский ЛПХ:  $\chi_2^2 = 13,7$ ,  $\nu_2 = 20$ ,  $P_2 = 0,843434$ ;  $t_{02} = 132,7$  тыс. км,  $s_{02} = 10,5$  тыс. км;  $a_{02} = 4,885$ ,  $b_{02} = 0,0791$ .

По этим данным спрогнозированы следующие показатели надежности: функция распределения ОР –  $F(t_0)$ , вероятность безотказной работы –  $R(t_0)$  и интенсивность отказов –  $h(t_0)$  в интервале наработки  $(0, t_0, \text{ тыс. км})$  по формулам

$$F(t_0) = \Phi \left[ \frac{t_0 - a_0}{b_0} \right] \quad (7)$$

$$R(t_0) = 1 - \Phi \left[ \frac{t_0 - a_0}{b_0} \right] \quad (8)$$

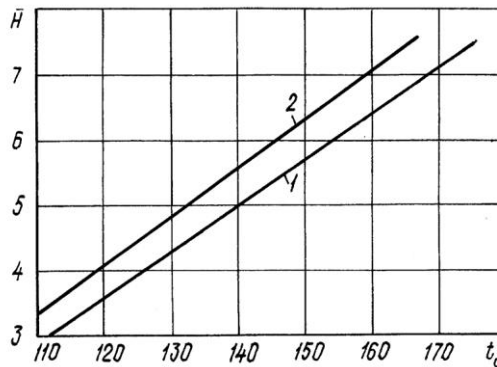
$$h(t_0) = \frac{1}{b_0} \phi \left[ \frac{t_0 - a_0}{b_0} \right] \quad (9)$$

где  $\Phi\left[\frac{y}{\sigma}\right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y \exp\left(-\frac{\tau^2}{2}\right) d\tau$  – интеграл вероятностей (вычисленный по специальной подпрограмме);  
 $y$  – его аргумент;  
 $\phi$  – плотность нормированного нормального распределения.

Значения функций (2), (7) – (9) приведены в таблице, где  $t_0$  – наработка, тыс. км пробега. Используя известную асимптотическую зависимость теории восстановления, можно спрогнозировать МО числа замен поршней в интервале наработки  $(0, t_0)$ :

$$\bar{N} = t_0 / \bar{t}_0 + \left( \frac{\sigma_0^2}{\bar{t}_0^2} - 1 \right) \quad (10)$$

Формула (10) справедлива для простого процесса замен, когда параметры ресурса начального и замененного поршней одинаковы. График изменения  $\bar{N}$  от  $t_0$  по (10) показан на рисунке (1 – для Боровского, 2 – для Каджеромского ЛПХ).



Аналогично моделируем показатели надежности и для остальных деталей двигателя, подверженных износу. Методику использовали для разработки дифференцированных по условиям эксплуатации норм расхода запасных частей для двигателей автолесовозов АО «Комилеспром».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Егоров В.И. Прогнозирование надежности и долговечности лесозаготовительного оборудования. - М.: Лесн. пром-сть, 1976. - 112 с. [2]. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Статистическое моделирование. - М.: Наука, 1982. - 296 с. [3]. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. - М.: Высш. шк., 1991.- 319 с. [4]. Херсонский С.Г., Майборода В.В. Ремонт автомобилей-лесовозов МАЗ-509 и КрАЗ-255Л. - М: Лесн. пром-сть, 1975. - 260 с.

Поступила 19 июня 1995 г.