

Расчет оптимальной стратегии ремонта при неизвестном распределении функции случайного аргумента

М. А. Мазуркевич¹

Петрозаводский государственный университет

В статье приводятся методологические основы расчета оптимальной стратегии ремонта при неизвестном распределении функции случайного аргумента.

Ключевые слова: оптимизация, стратегия ремонта, функции распределения.

Анализ работы лесных машин в процессе эксплуатации показывает, что в большинстве случаев отказу предшествует тот или иной вид накопления повреждений. К таким видам относятся, в частности, процессы изнашивания, накопления усталостных повреждений в виде макро- и микротрещин, а также все процессы разрегулирования. В этих случаях либо путем непосредственного наблюдения за изменяющимся параметром, либо путем математического моделирования физического процесса накопления повреждения можно получить необходимые данные для составления оптимальной программы ТО и своевременного восстановления элементов конструкции.

Профилактическое обслуживание лесозаготовительной техники включает в себя проведение операций текущего ремонта (ТР) и профилактического ремонта (ПР). Следовательно, необходимо создать такой профилактический режим, который обеспечивал бы поддержание надежности системы на протяжении назначенного срока на приемлемом уровне [1]. Стратегия обслуживания определяется выбором оптимальной периодичности проведения ТР и ПР. Одним из возможных методов обоснования оптимальной стратегии является анализ функции распределения прогнозирующего параметра, которая может описываться линейной (или нелинейной) функцией случайного аргумента.

Для решения поставленной задачи введем критерий, определяющий средние удельные затраты, приходящиеся на единицу времени безотказной работы системы [2].

$$\bar{C}(T) = \sum_{i=1}^N \frac{C_i T_i + C_H T_H}{M t_i} \quad (1)$$

В нашем случае он несколько изменится за счет конкретизации некоторых коэффициентов. Так, например, учитывая конкретный вид затрат, вместо коэффициентов C_i должны использоваться C_a и C_n , учитывающие стоимость аварийных и предупредительных ремонтов. Кроме того, для учета вероятности обнаружения дефекта при том или другом виде контроля, следует ввести соответствующие коэффициенты $C_{кз}$ и $C_{кэ}$ - затраты на заводской и эксплуатационный контроль, которые будут разными. Поскольку процесс носит вероятностный характер, то и величина затрат будет связана с вероятностями пребывания системы в том или ином состоянии. Запишем данный показатель с учетом высказанных замечаний в виде удельных затрат за цикл

$$\bar{C} = \frac{P_{12(B)} C_a + P_{13(B)} [C_{n(B)} + C_k]}{M_{1(B)}} \quad (2)$$

где C_a - стоимость аварийного ремонта (или замены элементов);

C_n - стоимость предупредительного ремонта;

C_k - стоимость контроля (заводского "з" или эксплуатационного "э").

Для расчета оптимальной стратегии проведения ремонтных работ, в частности по замене отдельных деталей, выберем промежуточный вал коробки передач (износ зубьев шестерни первой передачи). Необходимые расчетные данные для обоснования оптимальной периодичности проведения профилактических работ сведем в таблицу 1.

Согласно данным таблицы, на рис. 1 схематично показаны зависимости износа шестерни от наработки с различной скоростью изнашивания. Значение U_n соответствует предельному значению изменения прогнозирующего параметра (износа), значение D - допускаемому значению, при достижении которого происходит плановая замена промежуточного вала коробки передач. Пунктирными линиями показаны реализации износа вала, при установленном межремонтном периоде t_m . При достижении предельного износа валы дают отказы в процессе эксплуатации, что приводит к вынужденному простоям (аварийному ремонту). Остальную часть валов, реализация износа которых показана сплошными линиями, заменяют при ремонте, если износ превысил допустимое значение. Допустимое значение D сильно влияет на показатели безотказности работы. Однако в данном исследовании оптимизация значения параметра D не проводилась, а мы воспользовались методикой определения данного параметра, изложенной в работе [3].

¹ Автор - заведующий кафедрой тяговых машин
© М. А. Мазуркевич, 1999

Таблица 1

U_0	U_n	D	M_{vu}	σ_{vu}	C_a	C_p	C_x	M_t, km
6,761	6,641	6,661	0,003	0,00056	86000	36000	28000	52000

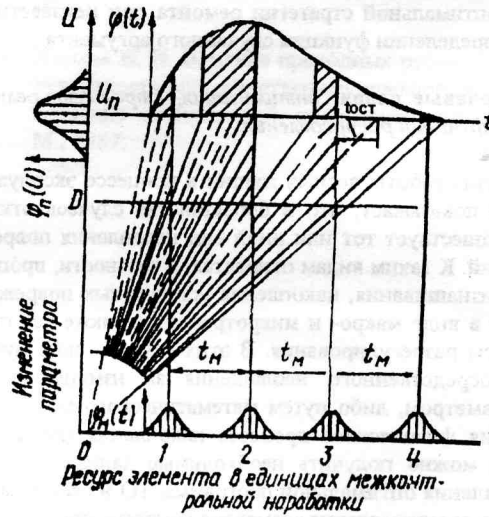
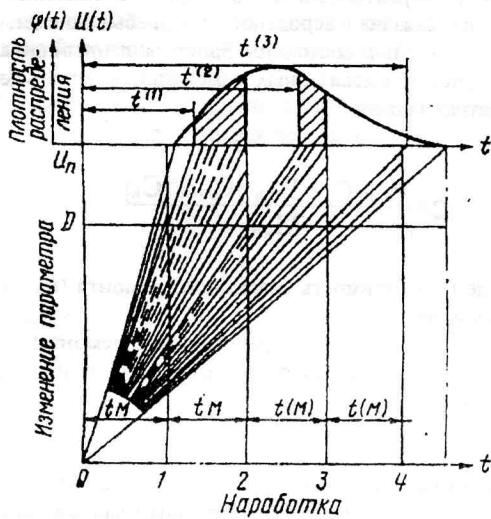


Рис. 1. Изменение скорости изнашивания от наработки

Функция плотности распределения отказов подчиняется закону α -распределения (3) с параметрами $B1$ и A , а функция плотности распределения профилактических работ имеет вид (4) с параметрами $B2$ и A .

$$f1(t) = \frac{B1C}{t^2 \sqrt{2\pi}} \exp(-0,5((B1/t) - A)^2) \quad (3)$$

$$B1 = (U_0 - U_n) / \sigma_{vu} = 214,286,$$

$$f2(t) = \frac{B2C}{t^2 \sqrt{2\pi}} \exp(-0,5((B2/t) - A)^2) \quad (4)$$

$$B2 = (U_0 - D) / \sigma_{vu} = 178,571$$

$$A = M_{vu} / \sigma_{vu} = 5,357,$$

$$Z1(U_n) = [(U_0 - U_n) / \sigma_{vu} t] - A, \quad (5)$$

$$P1(t) = 1 - \Phi(Z1), \quad (6)$$

$$Z2(D) = [(U_0 - D) / \sigma_{vu} t] - A, \quad (7)$$

$$P2(t) = \Phi(Z2). \quad (8)$$

Изменения функции плотности распределения представлены на рис. 2.

Периодичность проведения профилактических работ t_M (замены вала) примем равной от 20 000 км до 39 000 км.

Полученные данные по формулам (4-8) сведем в таблицу 2.

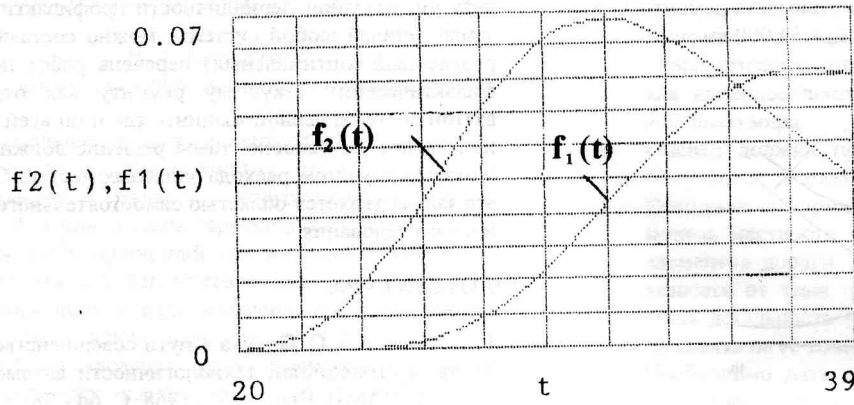


Рис. 2. Изменение функции плотности распределения $f_1(t)$ и $f_2(t)$ от периодичности профилактических работ

Таблица 2

t_m	$Z_1(t)$	$P_1(t)$	$Z_2(t)$	$P_2(t)$	C_1	C_2	C
20000	5,357	0	3,571	0,9998	0	1,23052	1,23052
21000	4,847	0	3,146	0,9991	0	1,22966	1,22966
22000	4,383	0	2,760	0,997	0	1,22708	1,22708
23000	3,96	0	2,407	0,991	0	1,21969	1,21969
24000	3,571	0,0002	2,083	0,9812	0,00033	1,20763	1,20763
25000	3,214	0,0007	1,786	0,9633	0,00116	1,18560	1,18676
26000	2,885	0,0026	1,511	0,9345	0,00430	1,15015	1,15445
27000	2,579	0,0054	1,257	0,8962	0,00893	1,10302	1,11195
28000	2,296	0,0110	1,020	0,8461	0,01819	1,04135	1,05954
29000	2,032	0,0205	0,800	0,7881	0,03390	0,96997	1,00387
30000	1,786	0,0375	0,595	0,7257	0,06202	0,89317	0,95519
31000	1,555	0,0606	0,403	0,6554	0,10022	0,80665	0,90687
32000	1,339	0,0901	0,223	0,5871	0,14901	0,72258	0,87159
33000	1,136	0,1272	0,054	0,5199	0,21037	0,63988	0,85025
34000	0,945	0,1724	- 0,105	0,4404	0,28512	0,54203	0,82715(*)
35000	0,765	0,2221	- 0,255	0,4106	0,36732	0,50535	0,87267
36000	0,595	0,2760	- 0,397	0,3457	0,45646	0,42548	0,88194
37000	0,434	0,3322	- 0,531	0,2981	0,54941	0,36689	0,91630

Примечание. $C_1 = (P1(t) C_a) / M_t$;
 $C_2 = [P2(t) [(C_p + C_k)]] / M_t$; $C = C_1 + C_2$;
 C^* - удельная оптимальная стоимость ремонтных и профилактических работ при $t_m = 34\ 000$ км.

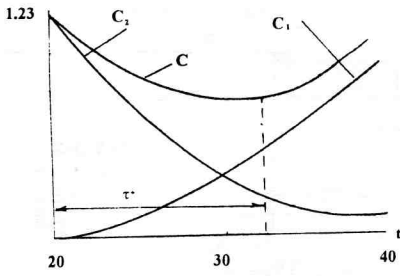


Рис. 3. Изменения стоимости ремонтных и профилактических работ от периодичности t_m

Анализируя данные таблицы 2 и рис. 3, видим, что при периодичности профилактической замены промежуточного вала равной 34 000 км, при ресурсе вала 52 000 км, мы имеем наименьшие удельные стоимостные затраты, равные 827,15 руб/км.

При этом вероятность отказа за данную наработку составит 0,1724. Таким образом, имея данные по расчету оптимальной периодичности профилактических замен деталей любой системы, можно составить определенный (оптимальный) перечень работ по профилактическому текущему ремонту как отдельно взятой системы лесной машины, так и по всей машине в целом. Безусловно, такое решение должно приниматься с учетом расхода запасных частей. Однако эта задача является областью самостоятельного научного исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Е. С. Оценка и пути совершенствования эксплуатационной технологичности автомобилей // Тр. НАМИ. Вып. 1. М., 1968. С. 64 - 78.
2. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. М.: Высшая школа, 1982. 228 с.
3. Смирнов Н. Н., Мулкиджанов И. К. Эксплуатационная технологичность транспортных самолетов. М.: Транспорт, 1986. 207 с.