

## Определение периодичности технических воздействий на основе средневзвешенной вероятности отказа парка восстанавливаемых объектов

А. В. Питухин<sup>1</sup>  
В. Н. Шиловский  
Н. И. Серебрянский

*Петрозаводский государственный университет*

### АННОТАЦИЯ

Изложена методика определения оптимальной периодичности технических воздействий на восстанавливаемые объекты на основе средневзвешенной вероятности отказа парка машин на определенном интервале по балансу стоимости диагностических работ и потерь от простоя машин в ремонте по устранению аварийных отказов.

**Ключевые слова:** запасные части, вероятность отказа, ремонт, проверка, стоимостные потери.

### SUMMARY

The article expounds the methods of determination of the optimal periodicity of technical influence on restorable objects on the basis of weighted average probability of the failure of the machine base on definite interval by the balance of value of diagnostic works and losses owing to standing idle of machines under repair on removal of emergency failures.

**Keywords:** spare parts, probability of failure, repair, testing, loss of cost.

В условиях рыночной экономики, при которых выполнение технического обслуживания и ремонта техники перестало подвергаться былой плановой регламентации, в том числе по причине устаревания ранее действующей и отсутствия новой научно-технической и нормативной документации, необходимы другие подходы к организации технических воздействий на элементы лесозаготовительных машин, основанные на экономических параметрах.

По принятой в прежние годы системе организации технического обслуживания и ремонта лесозаготовительных машин (ЛЗМ) работы по проверке элементов ЛЗМ приурочиваются к очередному техническому обслуживанию (ТО), то есть выполняются с регламентированной заводом-изготовителем периодичностью ТО и являются их элементом.

В нынешних условиях, когда автотракторная техника эксплуатируется на предприятиях и в фирмах различных форм собственности и типоразмеров, работоспособное состояние техники поддерживается чаще устранением возникших в процессе эксплуатации отказов в виде текущего ремонта, включая замену достигших предельного состояния узлов и агрегатов без их капитального ремонта (КР). При этом исчезает понятие нормативного срока эксплуатации до КР или до списания и поэтому методики определения периодичности технических воздействий, основанные на конкретном нормативном ресурсе объекта, становятся неприменимы. Основным определяющим элементом технического воздействия должна стать диагностика.

В статье рассматривается методика определения периодичности технических воздействий на восстанавливаемые объекты в условиях их реальной эксплуатации, когда возникшие отказы устраняются и объекты возвращаются в систему эксплуатации или заменяются новыми. Таким образом, парк машин количественно остается неизменным, качественно постоянно и неравномерно во времени обновляется. В любой момент времени одновременно эксплуатируются объекты с различной наработкой, следовательно, с различной вероятностью отказа. Техническое состояние парка объектов оценивается вероятностью отказа на определенном интервале эксплуатации – средневзвешенной вероятностью отказа системы машин.

Вопрос определения средневзвешенной вероятности отказа парка восстанавливаемых объектов рассмотрен в работах [1, 2]. Для решения задачи рассматриваемый период эксплуатации делится на интервалы и принимается допущение, что в пределах интервала вероятность отказа единичного объекта постоянна и все отказавшие объекты восстанавливаются одновременно в конце интервала. Вероятность отказа системы машин на определенном интервале определяется по формуле [1]:

$$q_n = F_n - \sum_{i=1}^{n-1} q_i \cdot (F_n - F_{n-1}), \quad (1)$$

где  $q_n$  – вероятность отказа системы машин на определенном интервале;

$F_n$  – вероятность отказа единичного объекта при наработке  $L$ , равной сумме наработок первых  $n$  интервалов, определенная без учета замен на основе закона распределения наработки до первого отказа.

Как показывают результаты расчетов, проведенных на кафедре технологии металлов и ремонта, средневзвешенная вероятность отказа системы машин стабилизируется по времени эксплуатации и принимает определенное значение, зависящее от принятой величины интервала [2]. Чем короче интервал, тем чаще

<sup>1</sup> Авторы – профессора кафедры технологии металлов и ремонта

© Питухин А. В., Шиловский В. Н., Серебрянский Н. И., 2005

восстанавливаются объекты системы, вероятность отказа парка машин на интервале ниже. И наоборот. По условию ранее указанного допущения естественно принять интервал при определении средневзвешенной вероятности отказа парка за периодичность проведения технических воздействий. Задача сводится к определению оптимальной вероятности отказа на интервале по экономическим критериям и по формуле (1) к переходу к оптимальной величине интервала.

В системе машин одновременно эксплуатируются объекты с различной кинетикой изнашивания деталей и старения машины в целом во всем диапазоне износа, который задан законом распределения наработки до первого отказа. Это определяет необходимость проверки контролируемого параметра всех объектов системы, то есть количество проверок в конце каждого интервала равно числу эксплуатируемых машин.

Операция по техническому обслуживанию или ремонту выполняется по машинам, контролируемый параметр которых вышел за пределы допустимого значения. Количество таких объектов определяется средневзвешенной вероятностью отказа системы машин:

$$M = q_n \cdot N, \quad (2)$$

где  $M$  – количество машин, подлежащих техническому воздействию в конце интервала;

$N$  – количество эксплуатируемых объектов.

Примем допущение, что машина подвергается проверке и регулировке за достаточно малое время по сравнению с устранением аварийного отказа, произошедшего по причине несвоевременного выявления вызвавшей его причины. Выявленная причина отказа, ее устранение операциями по техническому обслуживанию и ремонту исключают аварийный отказ и эксплуатационные стоимостные потери от простоя машины в ремонте. Таким образом, затраты на проведение проверок можно приравнять к стоимости ремонта части эксплуатируемых объектов.

Обозначим:

$C_1$  – стоимость выполнения проверки одного объекта;

$C_2$  – средняя стоимость выполнения одного аварийного ремонта.

Тогда:

$$W_1 = C_1 \cdot N, \quad (3)$$

$$W_2 = C_2 \cdot N \cdot q_n, \quad (4)$$

где  $W_1$  – затраты на проведение проверок  $N$  эксплуатируемых объектов;

$W_2$  – затраты на ремонт объектов в конце каждого интервала.

Можем написать:

$$W_1 = W_2$$

$$\text{или } C_1 \cdot N = C_2 \cdot N \cdot q_n.$$

Отсюда:

$$q_n = \frac{C_1}{C_2}. \quad (5)$$

По формуле (5) определяется средневзвешенная вероятность отказа системы машин, соответствующая балансу стоимости одной проверки и потерь от невыявленной неисправности, приводящей к аварийному отказу.

Решение задачи сводится к определению величины интервала, на котором вероятность отказа парка машин равна рассчитываемой по соотношению (5). Без вывода и применения аналитической зависимости величины интервала от  $q_n$  задача решается численным методом. Варьируя величиной интервала, рассчитывается средневзвешенная вероятность отказа до приближения ее значения к определению по формуле (5).

Рассмотрим определение оптимальной периодичности проведения технических воздействий по восстанавливаемым объектам на конкретном примере. По условию примера определяется периодичность проведения технических воздействий по тракторам, скорость изменения контролируемого параметра которых соответствует распределению Вейбулла.

Примем:

- стоимость проведения одной проверки

$$C_1 = 1500 \text{ рублей};$$

- стоимость проведения аварийного ремонта

$$C_2 = 15000 \text{ рублей}.$$

По формуле (5) определим вероятность отказа системы машин на интервале:

$$q_n = \frac{1500}{15000} = 0,1.$$

Период эксплуатации разбит на интервалы через 100 моточасов работы тракторов (100, 200, 300 и далее до 1000 моточасов). Расчет выполнен на ЭВМ с применением программы, составленной на кафедре технологии металлов и ремонта ПетрГУ. Для выполнения расчета в компьютер вводится количество объектов, опытная средняя наработка до первого отказа, среднее квадратическое отклонение наработки, вид закона

распределения опытных наработок, величина интервала и их количество.

По алгоритму программы при распределении Вейбулла вначале рассчитывается коэффициент вариации как отношение среднего квадратического отклонения к средней наработке до первого отказа, затем выбираются по коэффициенту вариации значения коэффициента распределения  $K_V$  и параметра формы  $b$ , рассчитывается параметр масштаба  $a$  как отношение средней наработки до первого отказа к коэффициенту распределения. Рассчитывается плотность распределения  $f(L_i)$  и функция распределения  $F(L_i)$  на каждом интервале по формулам:

$$f(L_i) = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{L_i}{a}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{L_i}{a}\right)^b},$$

$$F(L_i) = \sum_{i=1}^n f(L_i).$$

Затем по формуле (1) рассчитывается вероятность отказа системы машин на каждом  $i$ -м интервале. Ре-

зультаты расчетов установившихся на интервалах значений  $q_n$  приведены в таблице 1.

По результатам счета видно, что оптимальная периодичность проведения технических воздействий, соответствующая рассчитанной вероятности отказа парка машин на интервале, составляет 550 моточасов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Питухин А. В. Оценка среднего числа отказов и вероятности их появления для восстанавливаемых объектов на основе закона распределения наработки до первого отказа / А. В. Питухин, В. Н. Шиловский, Н. И. Серебрянский // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Вып. 3. Петрозаводск, 2001. С. 80-82.
2. Питухин А. В. Определение числа постов по ремонту агрегатов машин на предприятиях технического сервиса / А. В. Питухин, В. Н. Шиловский, Н. И. Серебрянский // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Вып. 4. Петрозаводск, 2003. С. 92-94.

Таблица 1

Вероятность отказа системы машин на каждом интервале

Интервал	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$q_n$	0,055	0,030	0,060	0,080	0,090	0,115	0,130	0,150	0,167	0,187