

А.А. Соломашкин инженер,
ГНУ ГОСНИТИ, Россельхозакадемии
В.А.Александров к.т.н.,
ГНУ ГОСНИТИ, Россельхозакадемии
E-mail: gosniti4@mail.ru
т/ф (499)174-81-50

Определение вероятности отказа и среднего фактического ресурса деталей машин при ненормативном значении межконтрольной наработки

Аннотация

Предлагаемая методика определения вероятности отказа детали машины и его среднего фактического ресурса, позволяет определять значения этих параметров не только при нормативной межконтрольной наработки, установленной в нормативно-технической документации, но и с учетом случайного отклонения их норматива, обусловленного реальными условиями эксплуатации машины

***Ключевые слова:** параметры технического состояния, плотность распределения ресурса, вероятность отказа, срок службы, межконтрольная наработка, допускаемое значение параметра*

В качестве параметра технического состояния, характеризующего текущее техническое состояние детали машины (узла, соединения), принимают или структурный параметр, т.е. износ детали U , соединения, или, связанный с этим структурным, диагностический параметр (температура, вибрация и т.д.), изменяющиеся во времени - t (от наработки) машины.

В целях предупреждения отказов и более полного использования ресурса детали при техническом обслуживании и ремонте машин, техническая документация содержит гостированный норматив для этих параметров технического состояния - допускаемый износ детали (отклонения параметров) - D , обеспечивающий ее работу с определенной безотказностью до следующего ТО и/или ремонта [1].

Существующая методика определения этого норматива характеризуется применением одного допускаемого износа D детали при заданной периодичности между ТО или ремонтами [2]. Упомянутый износ D находится в пределах между номинальным U_n и предельным U_p размерами детали (значениями параметра).

На рис. 1, в качестве примера, приведена случайная элементарная веерная функция изнашивания, примерно для 25 одноименных деталей машины, с одним допускаемым износом D , а так же плотность нормального распределения ресурса этих деталей, полученная, когда функция

изнашивания достигает своего предельного значения – U_p , т.е. 100% износа. На рисунке приняты следующие обозначения: t_M – наработка или время работы этих деталей между плановыми ТО (ремонтами), здесь $t_M = 500$ единиц наработки (мото·часов, тыс. км); участки, где наблюдаются отказы в первом и во втором периодах межконтрольной наработки, значения Q_1 и Q_2 – это вероятности отказов деталей на этих участках; не заштрихованные участки плотности распределения, характеризуют вероятности предупредительного ремонта или замены (восстановления) деталей.

Жирные штриховые наклонные линии (первые две) отражают момент начала отказа деталей машины в первом и втором периодах. Остальные линии (третья...шестая), пересекающие допустимый износ, отражают начало предупредительных замен (восстановления) деталей.

Когда износы деталей в моменты t_{M1} , t_{M2} и t_{M3} оказываются меньше D , их оставляют для дальнейшей работы. Но в связи с большой скоростью изнашивания определенная их часть достигает предельного износа и отказывает в процессе эксплуатации. По мере уменьшения скорости изнашивания вероятность отказа Q переходит в вероятность предупредительной замены (восстановления).

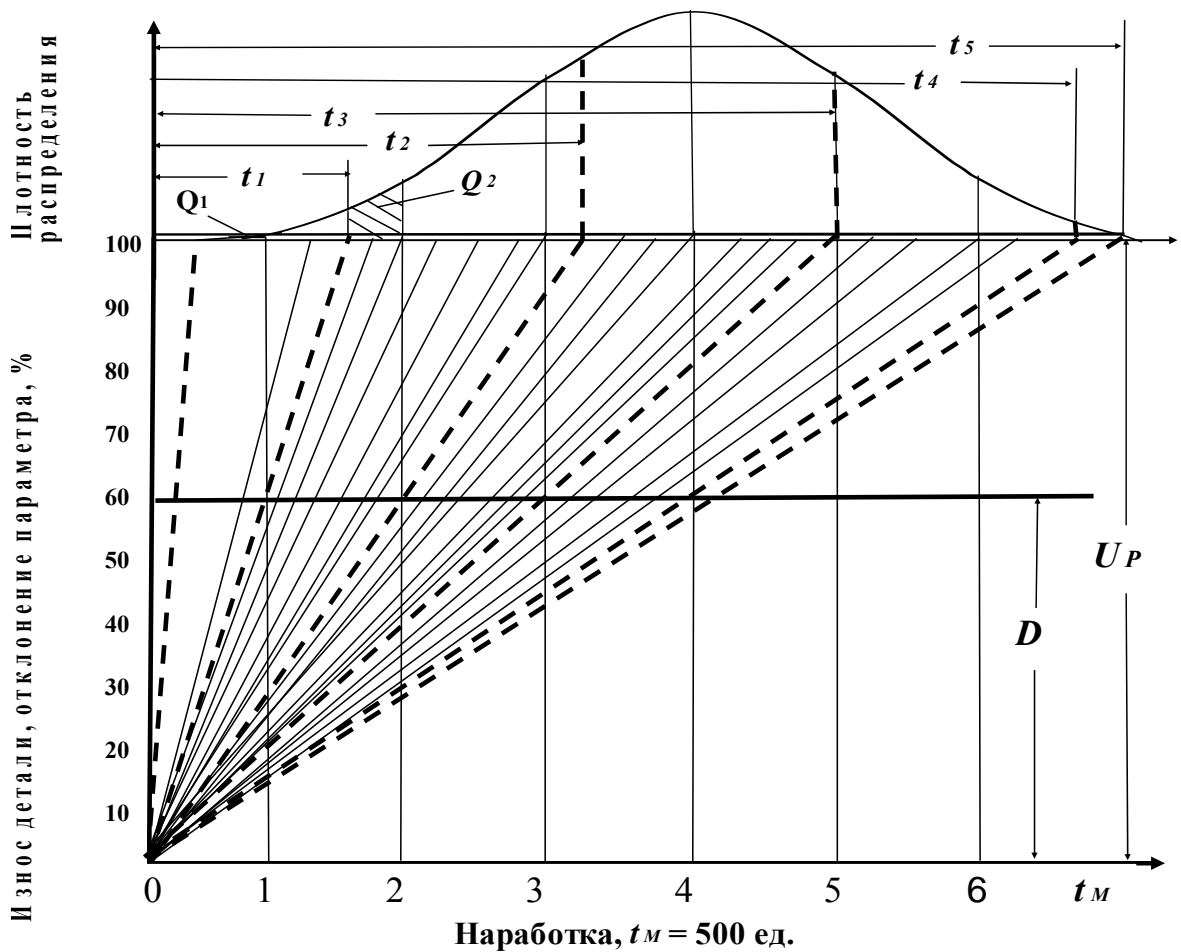


Рисунок 1 - Вероятности отказов - Q_1 и Q_2 при допустимом износе детали D , равном 60 % от предельного значения – U_p в первом -1(t_{M1}) и во втором -2 (t_{M2}) межконтрольных периодах

Уменьшая D (снижая горизонтальную линию), можно вероятность отказа Q свести к нулю, а увеличивая D до предельного отклонения U_p - к единице. В первом случае резко уменьшается фактический средний срок службы детали машины T_{cp} из-за увеличивающегося количества предупредительно восстанавливаемых деталей. Во втором случае ($D = U_p$) все детали во время работы выйдут из строя, т. е. наблюдается 100 % их отказ.

Таким образом, значение допуска D оказывает существенное влияние на вероятность отказа детали. При малых значениях допуска D вероятность отказа снижается, а при больших – возрастает [3].

Однако, кроме допуска, на вероятность отказа сильно влияет и величина межконтрольной наработки – t_M .

Рассмотрим, как изменение значений межконтрольной наработки t_M влияет на вероятность отказа детали Q и на ее средний фактический ресурс T_{cp} при постоянном допуске D . Для этого рассмотрим различные графики проведения проверок T_k технического состояния: $t_{M1}, t_{M2}, t_{M3}, \dots, t_{Mn}$ (Рис. 2). Здесь t_{Mi} – i -я проверка, длительностью t_{Mi} ед. наработки. Вариант 1 – межконтрольная наработка t_M постоянная и равна 500 ед. Варианты 2...4 наработка не постоянная и колеблется от 250 до 750 ед. График проведения проверок T_k - $t_{M1}, t_{M2}, t_{M3}, \dots, t_{M7}$.

Сравним, как изменятся при этом вероятность отказа детали Q и ее средний фактический ресурс T_{cp} для данного графика T_k .

Для этого рассмотрим пример со следующими исходными данными.

Исходные данные. Имеется деталь с предельным износом $U_p = 100$ %, показателем степени функции изнашивания детали $a = 1$ и допускаемым износом D , установленным по существующей методике, равным 60 % от предельного значения U_p , равном 100% (рис. 1). Коэффициент a является показателем степени функции изнашивания детали:

$$U(t) = U_H + v \cdot t^a, \quad (1)$$

где $U(t)$ – отклонение параметра технического состояния (износа), t – наработка (время работы) детали, v – показатель степени функции изменения параметра, U_H – номинальное значение параметра.

Установим, что при $D = U_p$ распределение ресурса детали подчиняется закону нормального распределения с параметрами: среднее значение данного закона распределения $T_{cp} = 2000$ мото·часов, среднее квадратическое отклонение $\sigma = 600$ мото·часов, вероятность безотказной работы – 99,7%. Плотность распределения ресурса подчиняется закону нормального распределения

$$v(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp\left[-\frac{(t - T_{cp})^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (2)$$

При этих исходных данных определим вероятности отказа Q_i и средний фактический ресурс T_{cp} детали.

Рассмотрим различные варианты графика проверок T_k .

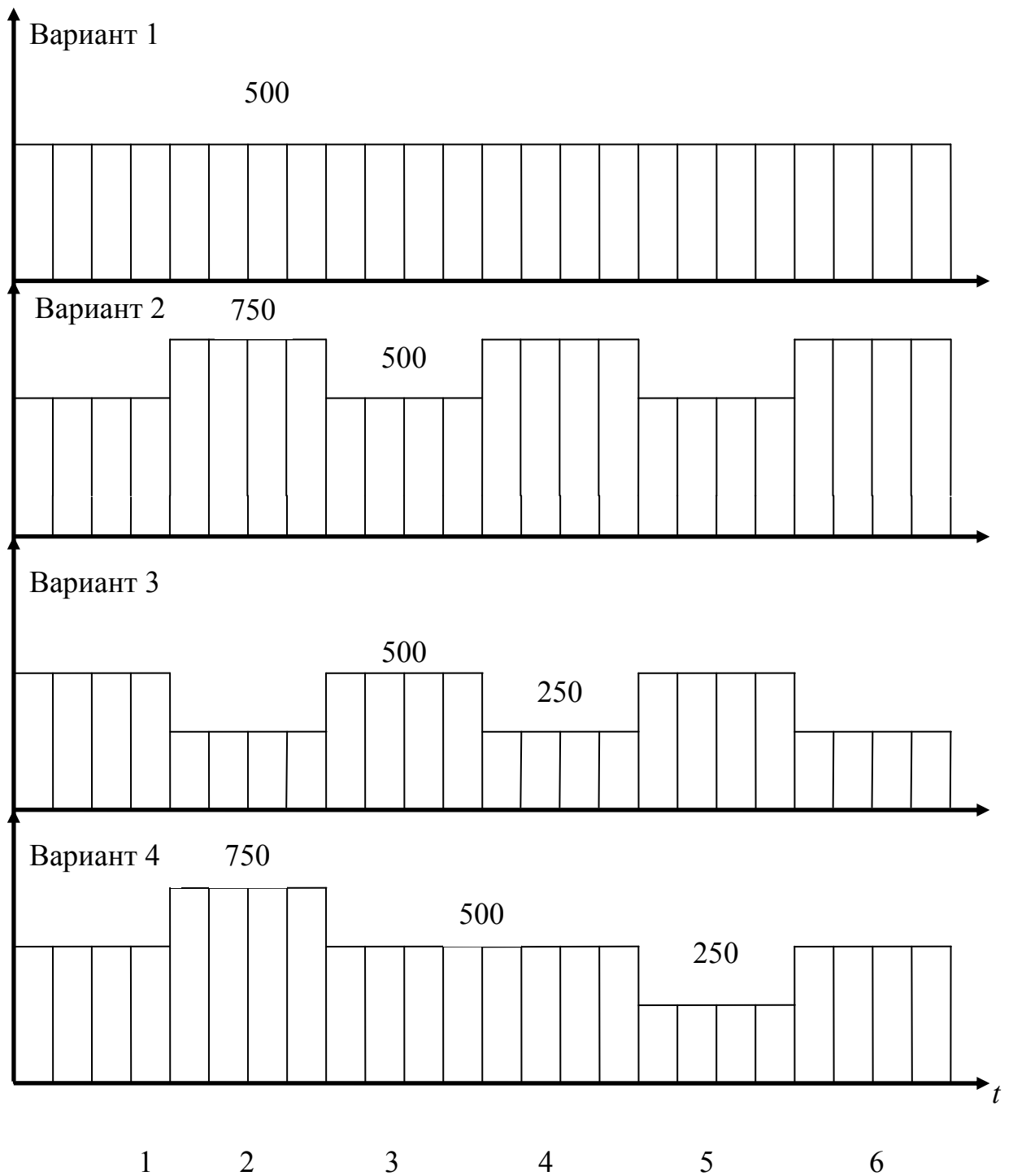


Рисунок 2 - Варианты графиков загрузки за время t

1, ..., 6 – номера загрузки; 250, 500, 750 – длительность загрузки в мото·часах;
 Вариант 1 - длительность загрузки постоянная, равная 500 мото·часов;
 Вариант 2 - длительность загрузки переменная - 500 и 750 мото·часов;
 Вариант 3 - длительность загрузки 250 и 500 мото·часов;
 Вариант 4 - длительность загрузки от 250 и 750 мото·часов.

Вариант 1.

Вероятности отказа при данном допуске D детали составят (рис 1):

$$Q_1 = \int_0^{t_{M1}} v(t)dt; \quad Q_2 = \int_{t_1}^{t_{M2}} v(t)dt. \quad (3)$$

Других отказов не будет. Следовательно, общая вероятность отказа детали будет равна сумме этих двух вероятностей:

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (4)$$

Значение t_1 определяют, используя соотношения D и U_p , при $a = 1$:

$$t_i = \sum_i t_{ii} \cdot \frac{U_p}{D}, \quad (5)$$

$$t_1 = 500 \cdot 100/60 = 833,33 \text{ мото·часов.}$$

Примем допущение, что погрешность измерения износа детали стремится к нулю.

Проинтегрировав выражения (3) при приведенных исходных данных, получим $Q_1 = 0,005781$, а $Q_2 = 0,021869$, следовательно, вероятности отказа при данном допуске детали $D = 0,6$ составит $Q = 0,02765$.

Средний фактически использованный ресурс $T_{ср}$ представляет собой сумму отрезков наработки до отказа и до предупредительной замены детали. Он имеет вид [1]:

$$T_{CP1}(D, t_M) = \int_0^{t_M} t\varphi(t)dt + t_M \int_{t_M}^{t_1} \varphi(t)dt + \int_{t_1}^{2t_M} t\varphi(t)dt + 2t_M \int_{2t_M}^{t_2} \varphi(t)dt + \sum_{i=2}^{i=5} it_M \int_{t_i}^{t_{i+1}} \varphi(t)dt. \quad (6)$$

Пределы интегрирования в уравнении (6) определяют, как и t_1 , используя формулу (5):

$$t_2 = (500+500) \cdot 100/60 = 1666,66 \text{ мото·часов,}$$

$$t_3 = (500+500+500) \cdot 100/60 = 2500 \text{ мото·часов,}$$

$$t_4 = (500+500+500+500) \cdot 100/60 = 3333,33 \text{ мото·часов,}$$

$$t_5 = (500+500+500+500+500) \cdot 100/60 = 4166,66 \text{ мото·часов.}$$

Поскольку $4166,66 > T_{ср} + 3 \cdot \sigma = 2000 + 3 \cdot 600 = 2000 + 1800 = 3800$, принимаем $t_5 = 3800$ мото·часов.

$$t_{5+1} = \infty.$$

Ниже приведен суммарный фактически использованный ресурс элемента $T_{ср}$:

$$T_{CP1}(D, t_M) = 1,97 + 9,856 + 20,198 + 241,467 + 762,621 + 378,388 + 29,561 = 1444$$

Таким образом, при допуске $D = 0,6$ вероятность отказа детали составила $Q = 0,02765$, а средний фактически использованный ресурс - 1444 мото·часов при среднем ресурсе распределения в 2000 мото·часов, когда $D = U_p$.

Вариант 2.

Вероятности отказа составят

$$Q_1 = \int_0^{t_{M1}} v(t)dt; \quad Q_2 = \int_{t_1}^{t_{M2}} v(t)dt. \quad (7)$$

Других отказов не будет. Следовательно, общая вероятность отказа детали будет равна сумме этих двух вероятностей:

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (8)$$

$Q_1 = 0,005781$, а $Q_2 = 0,079729$. Следовательно, общая вероятность отказа

$$Q = 0,08551.$$

По аналогии с ф. 6 находим суммарный фактически использованный ресурс элемента $T_{ср}$.

$$T_{ср1}(D, t_M) = 1,97 + 9,856 + 86,014 + 561,977 + 667,598 + 154,835 = 1482$$

Вариант 3.

По аналогии с Вариантом 1 и 2 получим

$$Q = 0,005781$$

$$T_{ср1}(D, t_M) = 1,97 + 9,856 + 59,797 + 561,977 + 363,661 + 378,388 + 25,572 + 1,152 = 1402$$

Вариант 4.

$$Q = 0,08551$$

$$T_{ср1}(D, t_M) = 1,97 + 9,856 + 86,014 + 561,977 + 363,661 + 378,388 + 32,407 = 1434$$

Сравнительные результаты проверок приведены в таблице 1.

Варианты проверок	Вероятность отказа, %	Средний ресурс, мото-ч
1	2,765	1444
2	8,551	1482
3	0,578	1402
4	8,551	1434

Выводы

1. С увеличением длительности наработки (вариант 2) средняя вероятность отказа возрастает, средний ресурс также возрастает.
2. С уменьшением длительности наработки (вариант 3) средняя вероятность отказа уменьшается, средний ресурс также уменьшается.
3. С колебанием длительности наработки (вариант 4) вокруг среднего значения (вариант 1), средняя вероятность отказа увеличивается, средний ресурс незначительно уменьшается.

Следовательно, указанная методика позволяет контролировать вероятность отказа детали Q и ее средний фактически использованный ресурс $T_{ср}$ при ненормативном значении межконтрольной наработки t_M .

Предлагаемая методика особенно перспективна при внедрении ее на современных машин, оборудованных компьютерными бортовыми системами диагностирования с автоматической регистрацией значений износа и наработки деталей и соединений, значений рабочих характеристик машин с помощью сканеров и других устройств.

Библиографический список

1. Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники, - М.: -Колос, - 1984, 331 с.
2. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ, № 2010614049, «Определение допустимых значений параметра при его нормативных показателях», зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 22 июня 2010г.
3. Соломашкин А. А. Обоснование ресурсосберегающих технических требований при ТО и ремонте // Машинно-технологическая станция. – 2010. – №3. с. 12-13.

Definition of probability of refusal and average actual resource of details of cars at substandard value of an intercontrol operating time

Summary

The offered technique of definition of probability of refusal of a detail of the car and its average actual resource, allows to define values of these parameters not only at the standard intercontrol operating time established in the specifications and technical documentation, but also taking into account a casual deviation of their specification caused by real service conditions of the car.

Keywords: parameters of a technical condition, density of distribution of a resource, probability of refusal, service life, the intercontrol operating time, supposed value of parameter