

## СЕКЦИЯ 1

# РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 621.7

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСКАЕМЫХ ИЗНОСОВ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН

Дорогой В.Н., инженер, Михлин В.М., д.т.н., профессор

*Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский  
технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка  
(ГНУ ГОСНИТИ), г. Москва, Российская Федерация*

Одними из основных составляющих технологий ТО и ремонта машин являются допускаемые износы деталей, соединений, отклонения параметров, технических характеристик (далее износы деталей), подвергающихся в процессе эксплуатации постепенным отказам. При превышении износа допускаемого значения при контроле состояния машины ремонтники заменяют деталь новой или ремонтируют ее. Это обеспечивает работу деталей с определенной безотказностью в течение межконтрольного периода до следующего одноименного диагностирования, ТО и/или ремонта.

Существующие в настоящее время технические требования на допускаемые износы деталей характеризуется применением только одного допуска одноименных деталей при заданной периодичности между ТО или ремонтом.

Однако один допускаемый износ имеет принципиальный недостаток. Износ деталей машины в процессе эксплуатации в течение определенной наработки или календарного времени не одинаков из-за различной скорости изнашивания деталей. Рассеивание значений износа одноименной детали за одинаковый период работы машин определенной марки характеризуется законом непрерывного распределения ресурса (нормальным или другим) со значительным коэффициентом вариации в интервале 0,20...0,6. В этой связи использование одного постоянного допускаемого износа при различных скоростях изнашивания оказывается целесообразным только для определенной части деталей с малым рассеиванием скорости изнашивания. Для остальных деталей такой постоянный норматив оказывает отрицательное влияние – увеличиваются отказы в первоначальный период эксплуатации при большой скорости изнашивания и необоснованные отбраковки деталей при ТО и ремонте при малой скорости изнашивания на конечном этапе работы.

В качестве иллюстрации изложенного на рисунке 1 приведена случайная прямолинейная функция изнашивания одноименной детали машин с допускаемым одним износом  $D$ , равным 60% предельного износа –  $U_P$ , при котором наступает отказ машины. Значение  $D$  и  $U_P$  на графике представлены горизонтальными линиями. Для остальных показателей приняты следующие обозначения:  $t$  – наработка или время работы;  $t_M$  – межконтрольный период до первого ТО или ремонта и между последующими. Вероятности отказов  $Q_1$ ,  $Q_2$  представлены заштрихованными участками в 1-м и во 2-м периодах работы.

Одноименные детали в течение их работы отказывают, все детали – в случае  $D = U_P$ . При установлении одного допускаемого износа меньше  $U_P$ :  $D < U_P$  распределение ресурса становится дискретно-непрерывным. Дискретность появляется в результате предупредительной замены деталей с износом  $U(t) > D$ . Вероятность предупредительных замен наблюдается в начале интервалов –  $i \cdot t_M$ , где  $i = 2, 3$  и др. На рисунке 1 они характеризуется не заштрихованными площадями под кривой плотности распределения по интервалам. Жирные штриховые наклонные линии характеризуют моменты начала отказов, начала и конца предупредительных замен деталей. Слева от этих линий до конца первого и второго периодов показаны износы отказывающих деталей.

Из рисунка 1 видно, как от величины  $D$  зависят вероятности отказа и предупредительной замены (ремонта) деталей. Например, в начале 3-го периода предупредительно заменяют свыше 50% деталей (от  $t_2$  до  $t_3$ ). При этом больше половины из них могли надежно работать не только в 3-м, но и 4-м межконтрольном периоде.

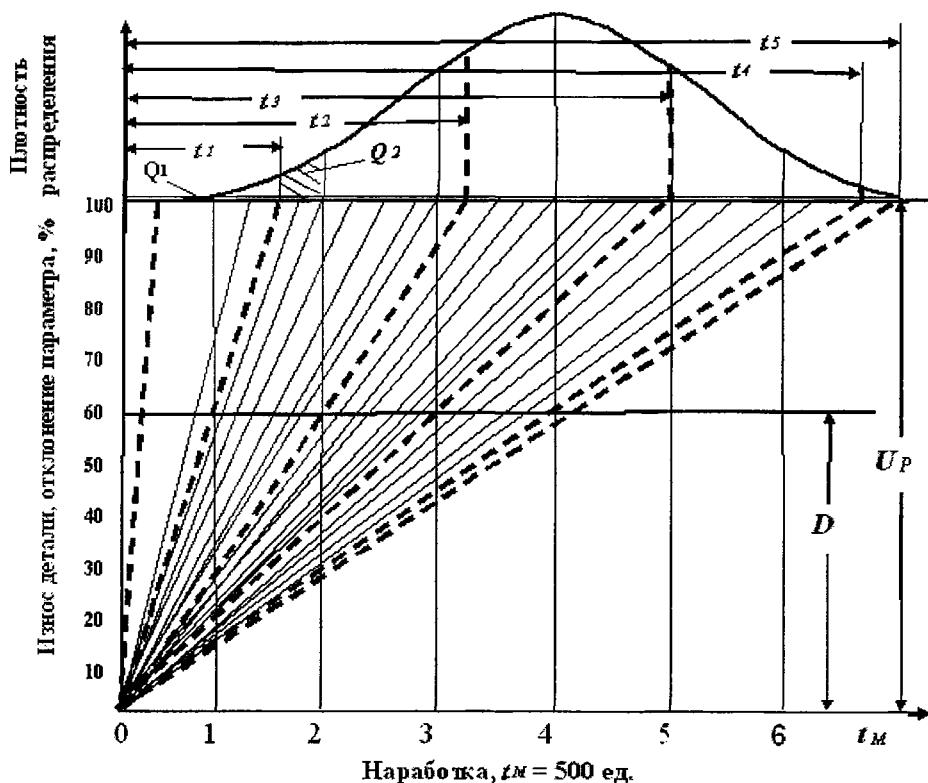


Рисунок 1 – Вероятности отказа деталей  $Q_1, Q_2$  и предупредительной их замены при одном допускаемом износе  $D$

Для устранения описанного противоречия между одним допускаемым износом деталей и многими их скоростями изнашивания были проведены исследования по разработке новой методики определения допускаемых износов деталей. Решение указанной задачи достигается применением не одного, а нескольких допускаемых износов для одноименных деталей (рисунок 2).

Предупредительную замену, ремонт деталей при превышении допуска осуществляют перед каждым межремонтным периодом, охватывая изнашиваемые детали в этом периоде. Замена этих деталей отражена жирной горизонтальной линией. Крайняя правая кривая изнашивания заканчивается предельным износом в конце рассматриваемого межремонтного периода. Поэтому в предлагаемых технических требованиях допускаемый износ для  $i$ -го меж-

контрольного периода определяют как ординату точки пересечения функции изнашивания детали с абсциссой времени (наработки) при условии, что достижение функцией предельного износа произойдет в момент окончания  $i$ -го межконтрольного периода. Как показали расчеты, безотказность детали в процессе работы в зависимости от числа периодов может увеличиться и в несколько раз по сравнению с существующей методикой определения допускаемого износа детали.

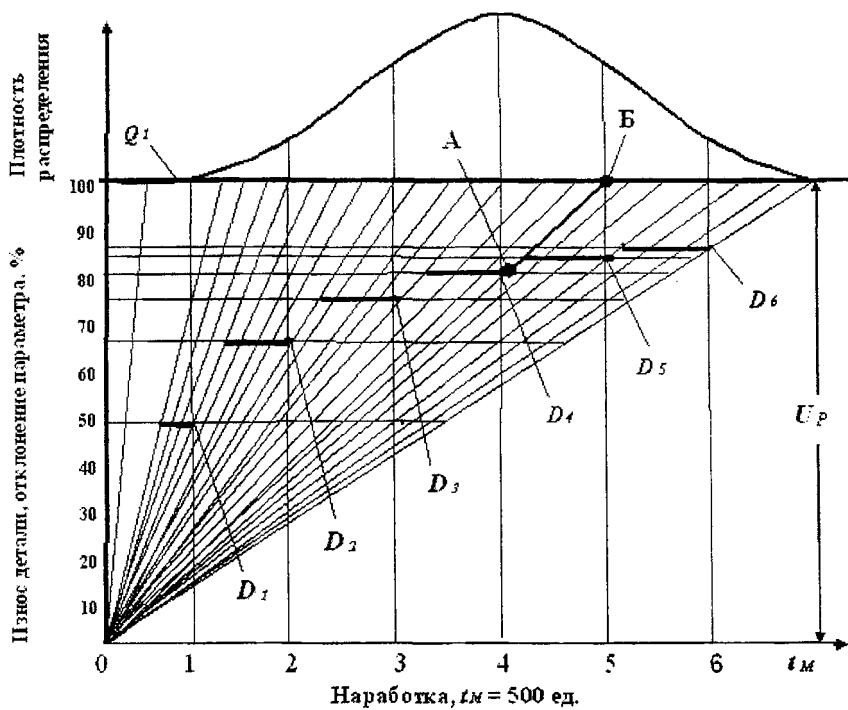


Рисунок 2 – Вероятности отказа деталей  $Q_1$  и предупредительной их замены при нескольких допускаемых износах ( $D_1 \dots D_6$ )

При износе детали, характеризуемой случайной гладкой степенной функцией, значение  $D_i$  для  $i$ -го межконтрольного периода определяют по формуле:

$$D_i = \left( \frac{t_M \cdot i}{t_M(i+1)} \right)^\alpha \cdot U_P, \quad i > 1, \quad (1)$$

где  $t_M$  – межконтрольный период работы, перед которым контролируют износ;  $i$  – номер межконтрольного периода;  $\alpha$  – показатель степени функции изнашивания;  $U_P$  – значение предельного износа.

В случае, когда происходит износ детали, отклонения параметра характеризуются случайной ломаной функцией, ее приводят к усредненной гладкой функции с учетом среднеквадратического отклонения  $\sigma_i$  от фактического износа. Значение  $D_i$  допускаемого износа для  $i$ -го межконтрольного периода при этом определяют по формуле:

$$D_i = \left( \frac{t_M \cdot i}{t_M(i+1)} \right)^\alpha \cdot U_P \pm B \cdot \sigma_i, \quad i > 1, \quad (2)$$

где  $B$  – квантиль нормального распределения с заданной доверительной вероятностью безотказности детали. Знак «+» применяют, когда поверхность трущихся детали (параметр состояния) по мере наработки уменьшается (система – вал). Знак «–» применяют, когда

поверхность трущшейся детали (параметр состояния) по мере наработки увеличивается (система – отверстие).

Установление нескольких допускаемых износов детали обеспечивает учет скорости изнашивания в каждом межконтрольном периоде работы детали машины.

На рисунке 2 представлено графическое изображение вероятности отказа в первом периоде и предупредительных восстановлений, замен одноименных деталей в зависимости от нескольких допускаемых износов  $D_i$ , определяемых по каждому  $t_M$  согласно формулам (1) и (2). Число допускаемых износов равно количеству межконтрольных периодов, охватывающих распределение ресурса данной детали машин от  $t_{M1}$  до  $t_{M6}$  (рисунок 2). Для любой функции значение допускаемого износа  $D_i$  для  $i$ -го межконтрольного периода, как отмечалось, определяют как ординату точки А пересечения функции изнашивания с абсциссой времени или наработки  $i$ -го межконтрольного периода при условии, что достижение функцией предельного значения произойдет в момент окончания этого периода в точке Б (рисунок 2).

Показатель степени функций  $\alpha$  устанавливают различными методами по данным ряда реализаций изнашивания одноименных деталей. Он также берется и из литературных источников, посвященных изнашиванию машин [1].

В настоящее время на новых отечественных и импортных машинах наблюдается интенсивное применение непрерывного мониторинга (контроля встроенным датчиками) технического состояния наиболее важных составных частей машин, в том числе с применением сканера. Результаты мониторинга являются прекрасной исходной базой для определения показателей, в том числе и  $\alpha$ , в целях применения нескольких допускаемых значений износа одноименных деталей.

Сравним результаты применения существующей и предлагаемой методик.

**Исходные данные.** При  $D = U_P$  распределение ресурса детали подчиняется нормальному закону с параметрами: среднее значение  $t_{CP} = 2000$  часов, среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 600$  часов. Межконтрольные периоды работы  $t_M = 500$  моточасов (рисунки 1 и 2).

**Решение.** Вначале определим суммарную вероятность отказа при одном допускаемом износе детали. На рисунке 1 наблюдается два участка, численно равные вероятностям отказа в 1-м и во 2-м периодах работы. В 1-м периоде вероятность отказа равна площади от 0 до  $t_M$ . Во 2-м периоде – от  $t_1$  до  $2t_M$ . Вероятности отказа при одном допуске износа детали составят:

$$Q_1 = \int_0^{t_M} \phi(t) dt; \quad Q_2 = \int_{t_1}^{2t_M} \phi(t) dt. \quad (3)$$

Примем допущение, что погрешность измерения износа деталей стремится к нулю. Проинтегрировав выражения (2), получим:

$$Q_1 = 0,00621; \quad Q_2 = 0,02191; \quad Q_1 + Q_2 = 0,02811.$$

Фактический ресурс представляет сумму отрезков наработки до отказа и до предупредительной замены детали. Проведенный расчет показал, что фактически использованный ресурс при одном допуске составил 1291,5 моточаса (таблица 1).

Определим значения упомянутых показателей при применении не одного, а нескольких допускаемых износов. Вероятности отказа в этом случае будут наблюдаться только в первом периоде в связи с тем, что в начале первого периода невозможно определить скорость изнашивания (деталь новая). Эта вероятность отказа составит, как и ранее,  $Q_1 = 0,00621$ .

Допускаемые износы детали при нескольких допусках определяют по формуле (1). Фактически использованный ресурс также представляет собой сумму отрезков наработки до предупредительной замены детали. Отличительная особенность при этом заключается в

том, что предупредительная замена в связи с несколькими  $D_i$  каждый раз будет затрагивать только один период. В остальных периодах  $D_i$  согласно (1) увеличивается по мере сокращения скорости изнашивания детали. Это повышает суммарный фактически использованный ресурс.

Данные расчета показателей при нескольких допусках приведены в таблице 2.

Таким образом, при существующем одном допускаемом износе:

- Вероятность отказа за срок службы детали – 0,02811.
- Фактически использованный ресурс детали – 1291,5 часа.
- Средняя вероятность отказа за межконтрольный период:  
 $0,02811/(1291,5:500) = 0,01088$ .

При нескольких допускаемых износах (таблица 2) имеем:

- Вероятность отказа детали за срок ее службы – 0,00621.
- Фактически использованный ресурс детали – 1751,6 часа.
- Средняя вероятность отказа за межконтрольный период:  
 $0,00621/(1751,6:500) = 0,00177$ .

Таблица 1 – Показатели работы деталей при одном допускаемом износе

Период работы $i$	Допускаемый износ детали, %	Нижний предел интегрирования, мото-ч	Верхний предел интегрирования, мото-ч	Вероятности отказа (1, 2-й периоды) и предупредительной замены	Наработка по периодам работы деталей, мото-ч
1	60	0	$t_M=500$	<u>0,00621</u>	2,1 (отказ)
2		$t_M=500$	$t_1=833$	0,01968	9,8 (замена)
2		$t_1=833$	$2t_M=1000$	<u>0,02190</u>	20,4 (отказ)
3 и 4		$2t_M=1000$	$t_2=1667$	0,24166	87,1 (замена)
4 и 5		$t_2=1667$	$t_3=2500$	0,50822	762,3 (замена)
6 и 7		$t_3=2500$	$t_3=3333$	0,18858	378,4 (замена)
7 и 8		$t_4=3333$	$t_5=4167$	0,01375	33,5 (замена)
		Итого		1,0000	<u>1293,6</u>

Таблица 2 – Показатели работы деталей при нескольких допускаемых износах

Период работы $i$	Допускаемый износ детали по формуле (1), %	Нижний предел интегрирования, мото-ч	Верхний предел интегрирования, мото-ч	Вероятности отказа (1-й период) и предупредительной замены	Наработка (время) по периодам работы деталей, часы
1	0	0	500	<u>0,00621</u>	2,1 (отказ)
2	$D_1=50,0$	$t_1=500$	$t_2=1000$	0,04158	20,8 (замена)
2	$D_2=66,7$	$t_2=1000$	$t_3=1500$	0,15454	154,5 (замена)
3	$D_3=75,0$	$t_3=1500$	$t_4=2000$	0,29767	446,5 (замена)
4	$D_4=80,0$	$t_4=2000$	$t_5=2500$	0,29767	595,3 (замена)
5	$D_5=83,3$	$t_5=2500$	$t_6=3000$	0,15434	385,9 (замена)
6	$D_6=85,7$	$t_6=3000$	$t_7=3500$	0,04158	124,7 (замена)
7	$D_7=87,5$	$t_7=3500$	$t_8=4000$	0,00578	20,2 (замена)
8	$D_8=88,9$	$t_8=4000$	$t_9=4500$	0,00041	1,6 (замена)
	Итого			1,0000	<u>1751,6</u>

Средняя безотказность детали за межконтрольный период во 2-м случае оказалась в  $0,01088/0,00177 = 6,15$  раза больше.

Предложенная методика определения допускаемых износов деталей, отклонений параметров состояния машин при диагностировании, ТО и ремонте представляется прорывной в части повышения безотказности и фактически использованного ресурса элементов машин. Об этом свидетельствуют расчеты по ряду деталей, в которых получены значительные технические результаты – повышение безотказности в 2-3 и более раз при одновременном увеличении фактически использованного ресурса на 30-40%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Михлин, В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1984 – 295 с.

## Аннотация

### Ресурсосберегающая методика определения допускаемых износов элементов машин

Рукопись посвящена определению размера деталей при ремонте. Впервые вместо одного размера идентичных деталей применено несколько – при каждом ремонте. Это устраняет главное противоречие между одним размером тех же самых деталей и многочисленными скоростями процесса изнашивания, что уменьшает число отказов деталей в несколько раз с одновременным увеличением фактически используемого ресурса в среднем на 35 процентов.

## Abstract

### Resource – saving method of determining the allowable depreciation of machinery

The manuscript is devoted to definition of the size of details at repair. For the first time instead of one size of identical details are applied a little – at each repair. It eliminates the main contradiction between one size of the same details and numerous speeds of process of wear process. It reduces number of refusals of details in some times with simultaneous increase in actually used resource on the average by 35 percent.

УДК 629.114

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРЕННЕЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

**Ярошевич В.К.**, д.т.н., профессор, **Гурский А.С.**, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Современное автомобилестроение огромными темпами внедряет инновационные технологии в системах управления. Общая тенденция в области автоматизации автомобилей состоит в замене традиционной централизованной системы управления на распределенную систему управления путем соединения блоков управления интеллектуальных дат-