

## Лабораторная работа

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Цель работы: освоить методику и приобрести навыки определения ресурса детали и сопряжения по результатам микрометража.

Оборудование рабочего места: Изношенные детали сельскохозяйственных машин, мерительный инструмент, технические условия.

Задачи работы: Произвести измерения износов деталей и сопряжения (по указанию преподавателя), определить остаточный ( $T_{до}$ ), полный ( $T_{п}$ ) ресурс и их доверительные границы с доверительной вероятностью  $\beta = 0,80$ .

#### Порядок выполнения работы

1. Определить размеры деталей и зазоры в сопряжениях в местах наибольшего износа.
2. Пользуясь результатами измерений и техническими условиями, рассчитать:
  - величину остаточного ресурса детали ( $T_{до}$ ) или сопряжения ( $T_{со}$ );
  - нижнюю и верхнюю доверительные границы остаточного ресурса  $T_{до}^H$  и  $T_{до}^B$ ;
  - полный ресурс деталей и сопряжения  $T_{п}$  и доверительные границы  $T_{п}^H$  и  $T_{п}^B$ .
3. Выводы.

#### 1. Общие положения

В общем случае связь величины износа детали с ее наработкой носит характер степенной функции вида

$$U(t) = Vt^\alpha \quad (6.1)$$

где  $V$  — коэффициент пропорциональности (скорость износа);

$\alpha$  — показатель степенной, определяющий характер изменения скорости изнашивания в различные периоды эксплуатации машины;

$t$  — наработка.

На тех участках кривой износа, где скорость изнашивания остается постоянной, показатель степени ( $\alpha$ ) равен единице, величина износа  $U$  прямо пропорциональна наработке  $t$ . А на участках кривой износа, где  $\alpha < 1$  или  $\alpha > 1$ , скорость изнашивания имеет другой характер.

При расчёте ресурса деталей и сопряжений измеренную величину износа, а также скорость изнашивания следует относить к категории случайных величин и применять к ним вероятностные методы обработки с определением среднего, значения (математического ожидания) и доверительных границ прогнозируемого ресурса.

#### 2. Методика расчёта ресурсов деталей и сопряжений

Величина износа детали с учетом рассеивания ее ресурса, но без учета зоны приработки показана на рис. 1. Как видно из этой схемы полный ресурс детали можно условно разбить на два самостоятельных участка: от начала эксплуатации и до момента измерения, от момента измерения и достижения предельного состояния (предельного износа  $U_{пр}$ ).

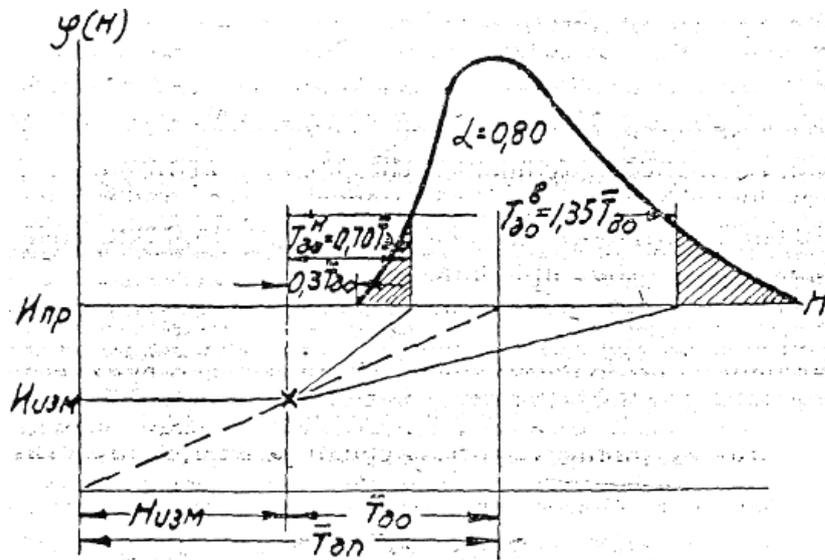


Рис. 1. Схема расчета ресурса, детали

Установить, действительный характер кривой, нарастания износа, конкретной детали на первом участке, (до момента измерения) не представляется возможным, да это и не нужно при расчете ресурса детали.

2.1. При расчете ресурса необходимо определить среднюю скорость изнашивания детали на этом участке ее работы по уравнению:

$$\bar{V}_D = \frac{U_{\text{изм}}}{t_{\text{изм}}}, \quad (6.2)$$

где  $U_{\text{изм}}$  - износ детали к моменту измерения, без учёта зоны приработки:

- для отверстия  $U_{\text{изм}} = D_{\text{изм}} - D_{\text{макс}}$
- для валов  $U_{\text{изм}} = d_{\text{мин}} - d_{\text{изм}}$

где  $d_{\text{изм}}$  и  $D_{\text{изм}}$  – измеренные диаметры, соответственно вала и отверстия;  
 $d_{\text{мин}}$  и  $D_{\text{макс}}$  - соответственно нижний и верхний предельные размеры вала и отверстия (по чертежу);  
 $t_{\text{изм}}$  – наработка до момента измерения износа.

Уравнение применительно к средней скорости изнашивания детали до измерения основано на сделанном допущении о прямо пропорциональной зависимости средней величины износа от наработки ( $\alpha = 1$ ).

После микрометражных измерений деталь вновь устанавливают на машину, где она продолжает работать и изнашиваться до величины предельного износа.

2.2. Произвести однозначный расчет величины остаточного ресурса детали  $T_{\text{до}}$  от момента измерения до появления предельной величины износа не представляется возможным по указанным выше причинам.

В связи с этим расчет величины остаточного ресурса детали производится вероятностным методом с учетом возможной величины его рассеивания. Допустим, что среднестатистическая скорость изнашивания детали на втором участке ее работы также равна  $V_D$ , тогда средняя величина остаточного ресурса детали  $T_{\text{до}}$  определится как (рис. 1)

$$\bar{T}_{до} = \frac{U_{пр} - U_{изм}}{\bar{V}_д} \quad (6.3)$$

Величина возможного рассеивания остаточного ресурса характеризуется нижней  $T_{до}^п$  и  $T_{до}^в$  доверительными границами при выбранной величине доверительной вероятности  $\alpha$  (см. рис. 1).

Как показали износные испытания в масштабах одного хозяйства, рассеивание ресурса одноименных деталей и сопряжений тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин в большинстве случаев подчинено закону распределения Вейбулла с коэффициентом вариации  $V = 0,4$ .

2.3. Учитывая величину смещения начала рассеивания  $T_{см} = 0,30 T_{до}$  и задаваясь значением  $V = 0,40$ , определим табулированные значения параметров распределения Вейбулла:

$$b = 2,7;$$

$$c_b = 0,36;$$

$$\sigma = V \cdot (\bar{T}_{до} - T_{см}) = 0,40 \cdot 0,7 T_{до} \approx 0,28 T_{до} ;$$

$$t_0 = \frac{\sigma}{C_b} = \frac{0,28 \bar{T}_{до}}{0,36} \approx 0,78 \bar{T}_{до} \quad (6.4)$$

Приняв величину доверительной вероятности  $\alpha = 0,80$  и пользуясь таблицей показателей распределения Вейбулла, определим доверительные границы рассеивания остаточного ресурса детали:

$$T_{до}^н \approx 0,70 \bar{T}_{до} \quad (6.5)$$

$$T_{до}^в \approx 1,35 \bar{T}_{до} \quad (6.6)$$

2.4. Полный (средний) ресурс детали  $T_{дп}$  может быть определен двумя способами.

Для детали, у которой известны наработки до измерения  $t_{изм}$  и величина остаточного ресурса  $\bar{T}_{до}$ , полный ресурс определяется по уравнению:

$$\bar{T}_{дп} = t_{изм} + \bar{T}_{до} . \quad (6.7)$$

Для детали, микрометраж которой ещё не производился, полный ресурс определяется по уравнению:

$$\bar{T}_{дп} = \frac{U_{пр}}{\bar{V}_д}, \quad (6.8)$$

где  $\bar{V}_д$  - средняя скорость изнашивания одноименных деталей.

2.5. В тех случаях, когда отсутствует микрометражная информация, необходимая для определения  $\bar{V}_д$  в данных почвенно-климатических условиях, допускается производить определение средней скорости изнашивания детали по техническим условиям типовой технологии ремонта тракторов и сельскохозяйственных машин, пользуясь уравнением:

$$\bar{v}_D = \frac{U_{\text{ПР}} - U_{\text{ДР}}}{T_{\text{МР}}} \quad (6.9)$$

где  $U_{\text{ДР}}$  – допустимая величина износа детали;  
 $T_{\text{МР}}$  – межремонтный ресурс машины или агрегата;  
 $U_{\text{ПР}}$  – предельная величина износа детали, равная:  
для валов

$$U_{\text{ПР}} = d_{\text{мин}} - d_{\text{пр}}, \quad (6.10)$$

для отверстий

$$U_{\text{ПР}} = D_{\text{пр}} - D_{\text{макс}} \quad (6.11)$$

Так, например, предельный износ зубьев шестерни равен:

$$U_{\text{ПР}} = h_{\text{мин}} - h_{\text{пр}}, \quad (6.12)$$

где  $h_{\text{мин}}$  – наименьшая толщина зуба шестерни (по чертежу);  
 $h_{\text{пр}}$  – предельная толщина зуба шестерни (по техническим условиям).

Предельный износ подшипников качения определяется по величине радиального зазора:

$$U_{\text{пр}} = r_{\text{пр}} - r_{\text{п.макс}} \quad (6.13)$$

где  $r_{\text{пр}}$  – предельный радиальный зазор по техническим условиям;  
 $r_{\text{п.макс}}$  – наибольший начальный радиальный зазор.

Значения  $d_{\text{мин}}$ ,  $D_{\text{макс}}$ ,  $d_{\text{пр}}$ ,  $h_{\text{мин}}$ ,  $h_{\text{пр}}$ ,  $r_{\text{пр}}$  и  $r_{\text{п.макс}}$  указаны в соответствующих альбомах типовой технологии ремонта тракторов и сельскохозяйственных машин.

Полный ресурс детали  $T_{\text{ДП}}$  является средней величиной. Поэтому необходимо, наряду с величиной полного ресурса конкретной детали, рассчитывать его доверительные границы.

2.6. Расчёт доверительных границ полного ресурса детали производится по той же схеме, что и остаточного. При доверительной вероятности  $\beta = 0,80$  нижняя  $T_{\text{ДП}}^{\text{н}}$  и верхняя  $T_{\text{ДП}}^{\text{в}}$  доверительные границы полного ресурса соответственно равны:

$$T_{\text{ДП}}^{\text{н}} = 0,70 \bar{T}_{\text{ДП}}; \quad (6.14)$$

$$T_{\text{ДП}}^{\text{в}} = 1,35 \bar{T}_{\text{ДП}} \quad (6.15)$$

2.7. Все сказанное выше о расчёте ресурсов детали, полностью распространяется на счёт ресурсов сопряжения, схема расчёта которого показана на рис. 1. Расчёт ресурсов сопряжения также может быть проведен или на основе непосредственных микрометражных измерений, или на основе средней скорости изнашивания сопряжения, определяемой по значениям предельного  $S_{\text{ПР}}$  и допустимого  $S_{\text{ДР}}$  зазоров и межремонтного ресурса деталей машин  $T_{\text{МР}}$ , указанных в типовой технологии ремонта.

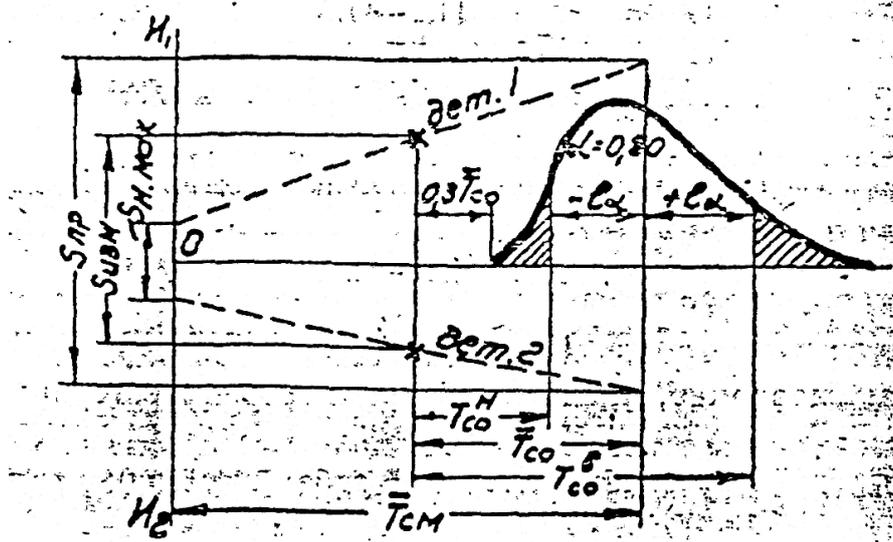


Рис. 1. Схема расчёта ресурсов сопряжения.

В первом случае величина измеренного зазора в сопряжении определяется по разности измеренных в месте наибольшего износа диаметров отверстия и вала:  $S_{изм} = D_{изм} - d_{изм}$ , а средняя скорость изнашивания сопряжения по уравнению:

$$\bar{V}_C = \frac{S_{изм} - S_{н.макс}}{t_{изм}} \quad (6.16)$$

где  $S_{н.макс}$  – наибольший начальный зазор в сопряжении (по чертежу).

2.8. Расчёт ресурсов сопряжения, а также доверительных границ производится по уравнениям:

остаточный ресурс сопряжения (по данным микрометража):

$$\bar{T}_{CO} = \frac{S_{np} - S_{изм}}{\bar{V}_C}; \quad (6.17)$$

$$\bar{T}_{СП}^{му} = \frac{S_{np} - S_{н.макс}}{\bar{V}_C}; \quad (6.18)$$

полный ресурс сопряжения (по данным микрометража):

$$T_{СП}^M = t_{изм} + \bar{T}_{CO} \quad (6.19)$$

доверительные границы остаточного ресурса:

$$T_{CO}^H = 0,70\bar{T}_{CO}; \quad (6.20)$$

$$\bar{T}_{CO} = 1,35\bar{T}_{CO} \quad (6.21)$$

доверительные границы полного ресурса:

$$T_{СП}^H = 0,70 \bar{T}_{СП}^M; \quad (6.22)$$

$$T_{СП}^6 = 1,35 \bar{T}_{СП}^M \quad (6.23)$$

Величина рассеивания остаточного ресурса детали или сопряжения в количественном выражении приравнивается величине абсолютной погрешности расчёта  $\pm 1\alpha$  (рис. 1).

Величина возможной ошибки (рассеивание) при определении ресурса будет тем меньше, чем меньше величина остаточного ресурса детали  $T_{ДО}$  или сопряжения  $T_{СО}$ , или, что одно и то же, чем больше наработка детали или сопряжения от начала эксплуатации до момента измерения  $t_{изм}$ .

В предельно благоприятном случае, когда  $t_{изм} = T_{ДП}$ , погрешность  $\alpha = 0$ .

Отсюда следует важная практическая рекомендация для проведения микрометражных работ: измерение деталей и определение величины их износа следует производить в возможно поздний период эксплуатации машины, когда её наработка по величине приближается к полному ресурсу контролируемой детали или сопряжения, а износ детали – к предельному значению.

### 3. Расчёт допустимых и предельных износов и размеров деталей сопряжений

Как указывалось выше, расчёт ресурсов сопряжения производится с учётом измеренного  $S_{изм}$ , а также допустимого и предельного зазоров указанных в технических условиях.

Однако в ряде практических случаев для непосредственных измерений оказывается доступна только одна из деталей, образующих сопряжение.

Расчёт ресурса одной из двух деталей сопряжения производится аналогично как для детали, а определение допустимой  $U_{ДР}$  и предельной  $U_{ПР}$  величин износа детали – по одной из расчётных схем.

Из расчётной схемы видно, что:

$$\frac{U_{ПР}}{U_{СП}} = \operatorname{tg} \alpha; \quad (6.24)$$

подставив значения  $\operatorname{tg} \alpha$  и  $\bar{T}_{СП}$ , получаем окончательно:

$$U_{ПР} = \frac{S_{ПР} - S_{н.макс}}{\bar{V}_C} \bar{V}_D. \quad (6.25)$$

По известной предельной величине износа детали  $U_{ПР}$  допустимую величину износа ( $U_{ДР}$ ) определяем из уравнения:

$$U_{ДР} = U_{ПР} = T_{МР} \bar{V}_D. \quad (6.26)$$

Значения  $S_{ПР}$ ,  $S_{н.макс}$  и  $T_{МР}$  определяются из технических условий на дефектовку (табл. приложения).

Значения скоростей изнашивания деталей  $\bar{V}_D$  и сопряжения  $\bar{V}_C$  определяются, как показано выше.

На основании анализа полученных результатов при решении поставленной задачи сделать вывод о целесообразности дальнейшего использования данной детали или сопряжения.

### 4. Содержание отчета

- 4.1. В отчёте привести: наименование, цель и задания к лабораторной работе.
- 4.2. Результаты расчётов с изложением методики в соответствии с заданием.
- 4.3. Представить с схему расчёта ресурса заданного сопряжения.
- 4.4. Сделать анализ полученных результатов и заключение о целесообразности дальнейшего использования данной детали или сопряжения.

## **5. Заключение**

Результаты выполненных лабораторных работ представляются в виде расчётно-пояснительной записки оформленной в соответствии с требованиями, предъявляемыми к расчётно-пояснительным запискам. Все приводимые расчёты должны быть выполнены в соответствии с исходными данными заданными преподавателем.

Приводимые в работах формулы, таблицы и графики нумеруются в пределах соответствующей работы. Каждая выполненная работа представляется преподавателю для контроля и после исправления замечаний защищается.