

©Мовшович А.Я., Ищенко М.Г., Ищенко Г.И.

## **НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ УНИВЕРСАЛЬНО–СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ. КРИТЕРИИ НАДЕЖНОСТИ**

### **1. Введение**

Теоретическое исследование вопросов надежности и долговечности системы универсально-сборочных приспособлений (УСП) для изготовления корпусных деталей энергетического оборудования основывается на современных положениях и математических методах теории надежности, использовании статистических методов исследования и применении основ теории вероятности.

Система УСП для механической обработки деталей состоит из большого числа взаимосвязанных между собой элементов. Элементы УСП соединены между собой таким образом, чтобы получить единое целое (компоновку) и обеспечить выполнение одной или нескольких технологических операций.

Поскольку система УСП предназначена для эксплуатации в условиях индивидуального и мелкосерийного производства, то компоновки УСП работают относительно короткий промежуток времени, после чего разбираются на составные части для приспособлений новой конструкции.

Одновременно с их разборкой производится профилактическое обслуживание, во время которого детали проверяются на точность, при необходимости элементы перешлифовываются.

Заявляемый период износа основных элементов УСП составляет 10-12 лет. Поэтому вопрос надежности и долговечности имеет большую роль в соответствии заявленным параметрам.

## 2. Критерии надежности системы УСП

Надежность системы УСП обуславливается безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью компоновок и входящих в них элементов, способностью обеспечить сохранение ее эксплуатационных показателей в заданных пределах.

Опыт эксплуатации УСП показал, что даже хорошо и правильно собранные компоновки, совершенная технология изготовления элементов, нормальные условия эксплуатации не исключают полностью возникновения отказов.

Для качественного определения надежности системы УСП необходимы критерии надежности. Критерии надежности – это признак, по которому оценивается надежность системы УСП.

В качестве количественных критериев надежности выбраны следующие характеристики:

1. Безотказность работы;
2. Частота отказов;
3. Интенсивность отказов;
4. Среднее время безотказной работы;
5. Коэффициент готовности;
6. Коэффициент отказов;
7. Относительный коэффициент отказов элементов;
8. Коэффициент расхода элементов.

*Безотказность работы* системы УСП для механической обработки деталей определяется вероятностью того, что в определенных условиях эксплуатации в пределах заданной продолжительности работы отказов не последует.

Обозначим эту характеристику –  $P(\tau)$ .

Время  $\tau$ , в течение которого требуется определить безотказность работы системы УСП, обычно равно среднему времени работы одной компоновки УСП.

$$P(\tau) = \frac{N_0 - n(\tau)}{N_0}, \quad (1)$$

где  $N_0$  – число испытываемых компонок;

$n(\tau)$  – число отказов за время  $\tau$ .

В качестве характеристики надежности системы УСП можно использовать вероятность неисправной работы или вероятность отказов –  $Q(\tau)$

$$Q(\tau) = 1 - P(\tau)$$

$$Q(\tau) = 1 - \frac{N_0 - n(\tau)}{N_0} = \frac{n(\tau)}{N_0}. \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы  $P(\tau)$ , как количественная характеристика надежности, характеризует изменения надежности во времени.

Вместе с тем, она характеризует надежность системы УСП только до первого отказа, а поэтому является достаточно полной характеристикой надежности только систем разового использования, т.е. компонок УСП.

Безотказность работы  $P(\tau)$  не позволяет определить зависимость между временными составляющими цикла эксплуатации. Это не дает возможности установить, будет ли готова система УСП к действию в данный момент.

Частотой отказов будем считать отношение числа отказавших компонок УСП в единицу времени к числу компонок, первоначально участвующих в испытаниях при условии, что отказавшие компоновки УСП не ремонтируются или заменяются новыми.

$$a(\tau) = \frac{\Delta n(\tau)}{N_0 \cdot \Delta \tau}, \quad (3)$$

где  $a(\tau)$  – частота отказов;

$\Delta \tau$  – интервал времени;

$\Delta n(\tau)$  – число компонок отказавших в интервале времени от  $\left(\tau - \frac{\Delta \tau}{2}\right)$

до  $\left(\tau + \frac{\Delta \tau}{2}\right)$ .

Между частотой отказов, вероятностью безотказной работы и вероятностью отказов при любом законе распределения времени возникновения отказов существует следующая зависимость.

$$P(t) = \int_t^{\infty} a(\tau) d\tau = 1 - \int_0^t a(\tau) d\tau; \quad (4)$$

$$Q(t) = \int_0^t a(\tau) d\tau. \quad (5)$$

Частота отказов наиболее полно характеризует такое случайное явление, как время возникновения отказов. В этом ее большое достоинство как характеристики надежности.

*Интенсивность отказов* – это отношение отказавших компонентов УСП в единицу времени и среднему числу компонентов, исправно работающих в данный отрезок времени при условии, что отказавшие компоненты не восстанавливались и не заменялись поправками.

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n}{N_{cp} \cdot \Delta \tau}, \quad (6)$$

где  $N_{cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$  – среднее число исправно работающих компонентов УСП в интервале  $\Delta \tau$ ;

$N_i$  – исправно работающих компонентов в начале интервала;

$N_{i+1}$  – неисправно работающих компонентов УСП в конце интервала;

Таким образом

$$\lambda(t) = \frac{2\Delta n}{(N_i + N_{i+1}) \Delta \tau}. \quad (7)$$

Зависимость между интенсивностью отказов, вероятностью безотказной работы и частотой отказов выражаем следующей зависимостью

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}; \quad (8)$$

$$a \lambda \tau = \lambda \tau - \int_0^{\tau} \lambda \tau d \tau. \quad (9)$$

Выражение (9) является вероятностным определением интенсивности отказов.

Интенсивность отказов, являясь функцией времени, позволяет наглядно установить характерные участки работы компоновок УСП.

*Среднее время безотказной работы* определяется как математическое ожидание времени безотказной работы.

Как всякое математическое ожидание случайной величины, среднее время безотказной работы определяется зависимостью

$$\tau_0 = \int_0^{\infty} \tau_a \tau d \tau. \quad (10)$$

Определение среднего времени безотказной работы на статистических данных производится по формуле

$$\tau_0 = \frac{\sum_{i=1}^{\tau_K} n_i \tau_i}{N_0}, \quad (11)$$

где  $n_i$  – число образцов, отказавших в  $i$ -м интервале;

$\tau_i = \frac{\tau_{i-1} + \tau_i}{2}$  – среднее время  $i$ -го интервале;

$\tau_K$  – время, в течение которого отказали все  $N_0$  компоновок УСП;

$\Delta \tau$  – выбранная величина интервала времени.

Существует следующая аналитическая зависимость между  $\tau_0$  и рассмотренными ниже количественными характеристиками надежности

$$\tau_0 = \int_0^{\infty} P \tau d \tau \quad (12)$$

Из этого выражения видно, что среднее время безотказной работы есть площадь под кривой вероятности безотказной работы.

Подставить в выражение (12) вместо  $P$  его значения мы получили

$$\tau_0 = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^{\tau} \lambda d\tau} \cdot d\tau \quad (13)$$

Рассмотренные выше количественные характеристики дали возможность произвести оценку надежности системы УСП в процессе эксплуатации.

Однако они не учитывают временных составляющих цикла эксплуатации и, в частности, времени затрачиваемого на профилактические мероприятия и ремонты. Поэтому необходимы дополнительные показатели надежности.

С этой целью вводим следующие коэффициенты надежности.

*Коэффициент готовности системы УСП* определяется как отношение времени безотказной работы к сумме времени безотказной работы и восстановления, взятых за один и тот же период.

$$K_{\Gamma} = \frac{\tau_p}{\tau_p + t_b}, \quad (14)$$

где  $K_{\Gamma}$  – коэффициент готовности;

$\tau_p$  – время безотказной работы компонентов УСП;

$t_b$  – время восстановления, т.е. время затраченное на профилактику и ремонт;

В  $t_b$  не входит время, затраченное на сборку компонентов и ее хранение.

Из определения коэффициента готовности видно, что он зависит от времени эксплуатации, в течение которого определяется  $K_{\Gamma}$ .

Тогда 
$$\tau_p = \tau_{p1} + \tau_{p2} + \dots + \tau_{pn} = \sum_{i=1}^n \tau_{pi}$$

$$t_b = t_{b1} + t_{b2} + \dots + t_{bn} = \sum_{i=1}^n t_{bi}$$

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_{pi}}{\sum_{i=1}^n \tau_{pi} + \sum_{i=1}^n t_{bi}} \quad (15)$$

*Коэффициент отказов элементов системы УСП* есть отношение числа отказов компонок из-за выхода из строя элементов данного типа к общему числу отказов компонок УСП взятых за определенный период времени

$$K_0 = \frac{n_i}{n}, \quad (16)$$

где  $K_0$  – коэффициент отказов элементов;

$n_i$  – число отказов системы УСП из-за элементов данного типа за определенное время;

$n$  – общее число отказов системы УСП за тот же период времени.

При испытании нескольких компонок УСП формула (16) примет следующий вид:

$$K_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} n_{ij}}{\sum_{y=1}^{N_0} n_y}, \quad (17)$$

где  $n_{ij}$  – число отказов в  $j$ -й компоновке, вызванных отказами элементов  $i$ -20 типа за определенное время;

$n_y$  – общее число отказов  $y$ -ой компоновки за тот же период времени;

$N_0$  – общее число испытываемых компонок.

Коэффициент отказов  $K_0$  позволит определить, надежность каких элементов целесообразно повысить для повышения надежности системы УСП в целом.

В качестве количественной характеристики надежности системы УСП следует использовать относительный коэффициент отказа элементов.

*Относительный коэффициент отказа элементов* – это отношение процента отказов системы УСП из-за отказов элементов данного типа, взятых за определенный календарный срок, и процента этих элементов в комплекте.

$$K_{00} = \frac{\frac{n_i}{N_i}}{\frac{n}{N}} = \frac{n_i N}{N n_i} \quad (18)$$

В противоположность коэффициенту  $K_0$ ,  $K_{00}$  учитывает количеству элементов в комплекте УСП, а поэтому более полно характеризуют надежность системы в целом. Он не только характеризует надежность системы УСП, но и даст представление о структуре комплекта УСП.

*Коэффициент расхода элементов* определяется как отношение числа отказавших и изъятых в процессе профилактических осмотров и ремонтов элементов в единицу времени к общему числу данных элементов в системе УСП.

$$K_3 = \frac{n_i + n_{из.} i}{N_i \cdot \Delta \tau}, \quad (19)$$

где  $K_3$  – коэффициент расхода элементов;

$n_{из.} i$  – число элементов  $i$ -20 изъятых за время  $\Delta \tau$  в процессе осмотров и ремонтов.

$K_3$  позволяет определить число элементов, необходимое для нормальной эксплуатации комплекта УСП в течение определенного промежутка времени.

Зная  $K_3$  можно научно обосновать необходимый состав комплекта УСП.

## **Выводы**

Гибкое производство, как правило, используется для обработки широкой номенклатуры деталей в условиях часто меняющихся изделий. Приспособления, применяемые для оснащения данных производств должны обладать высокой гибкостью. Этому требованию в наибольшей степени отвечают универсально-сборные приспособления.

Такие приспособления, в отличие от специальных неразборных, позволяют базировать и закреплять изделия различной формы и размеров. Однако возникает не менее важный фактор – надежность комплекта УСП.

Предложенные методы позволяют дать оценку надежности системы УСП в процессе эксплуатации с учетом факторов, являющихся определяющими критериями. А также возможность научно обосновать необходимый состав комплекта УСП предприятия.

#### **Список использованных источников:**

1. Обратимая технологическая оснастка для ГПС / А. Я. Мовшович, Н. Д. Жолткевич, В. П. Горбулин [и др.]. – К. : Техника, 1992 – 216 с.
2. Жолткевич Н. Д. Универсально-сборные приспособления с пазами 8, 12, 16 мм / Н. Д. Жолткевич, А. Я. Мовшович, И. Ф. Приходько. – М. : ЦНИИ информации, 1982. – 68 с.
3. Стандартные детали и узлы универсально-сборных приспособлений. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 125 с.

*Мовшович А.Я., Ищенко М.Г., Ищенко Г.И.* «Надежность системы универсально-сборочных приспособлений. Критерии надежности».

Предложенные методы позволяют дать оценку надежности системы УСП в процессе эксплуатации с учетом факторов, являющихся определяющими критериями.

**Ключевые слова:** универсально-сборочное приспособление, надежность, критерии надежности, механическая обработка.

*Мовшович О.Я., Ищенко М.Г., Ищенко Г.И.* «Надійність системи універсально-збірних пристосувань. Критерії надійності».

Запропоновані методи дозволяють дати оцінку надійності системи УЗП в процесі експлуатації з врахуванням факторів, які є визначальними критеріями.

**Ключові слова:** універсально-збірні пристосування, надійність, критерії надійності, механічна обробка.

**Movshovich A.Y., Ishchenko M.G. Ishchenko G.I.** “Reliability of modular fixture system. Reliability criterions”.

Authors proposed methods that allows to assess the reliability of the modular fixture system during the operating period based on criterions of reliability.

**Key words:** modular fixture system, reliability, reliability criterions, machining.

Стаття надійшла до редакції 18 грудня 2012 р.