

УДК 687.05

**ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ  
МЕХАНИЗМОВ МАШИН ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**THE PROBABILITY OF FAILURE-FREE OPERATION  
OF MECHANISMS MACHINES OF LIGHT INDUSTRY**

*Ж. УСЕНБЕКОВ, Е. ТЕМИРБЕКОВ, Б. СЕИТОВ*  
*ZH. USENBEKOV, Y. TEMIRBEKOV, B. SEITOV*

(Алматинский технологический университет, Республика Казахстан)  
(Almaty Technological University, Republic of Kazakhstan)  
E-mail: zh.usenbekov@mail.ru, temirbekove@mail.ru, bulat.seitov@kaznu.kz

*В статье рассмотрена методика расчета надежности рычажных механизмов швейных машин по критерию точности. При этом расчет точности партии механизмов для характерных положений рекомендуется рассчитывать методом статистических испытаний. В качестве примера в работе приведены статистические параметры точности и вероятности безотказности.*

*The article considers the method of calculating the reliability of lever mechanisms of sewing machines under the criterion of accuracy. The calculation accuracy party mechanisms to specific provisions recommended by static tests count. In this paper gives examples of static parameters of accuracy and the probability of failure.*

**Ключевые слова:** работоспособность, поля рассеяния первичных ошибок, функция положения механизма, износ деталей, надежность, вероятность безотказности.

**Keywords:** working capacity, stray fields of primary errors, function of the position of the mechanism, wear of parts, reliability, the probability of failure.

Практика эксплуатации машин легкой и текстильной промышленности свидетельствует, что большая их часть теряет

работоспособность не вследствие поломок, а по причине износа рабочих поверхностей в подвижных соединениях [1], [2].

Изменение величины зазоров из-за износа сопрягаемых деталей нарушает их взаимную координацию и вызывает дополнительные погрешности на выходе механизмов. Поэтому необходимо учитывать изменения поля рассеяния первичных ошибок с учетом износа деталей подвижных соединений.

Поля рассеяния ошибок размеров сопрягаемых деталей механизма, подверженных износу, можно условно рассматривать как состоящие из двух частей:

$$\delta = \delta_k + \delta_{\text{и}},$$

где  $\delta_{\text{и}}$  – часть поля рассеяния, предусмотренная для сохранения требуемой точности механизма в процессе эксплуатации;  $\delta_k$  – часть поля рассеяния первичных ошибок, компенсирующая технологическую погрешность изготовления деталей.

Для создания надежной конструкции машин с назначением рациональных пределов рассеяния первичных ошибок деталей механизма необходимо знать характер изменения размеров сопрягаемых деталей во время эксплуатации и количественные закономерности данного процесса. Величина изменения размера изнашиваемой поверхности детали характеризуется скоростью износа  $\gamma(t)$ , которая в общем случае является функцией времени, а величина износа  $u_t$  представляет собой интегральную функцию скорости:

$$u_t = \int_0^t \gamma(t) dt,$$

где  $\gamma(t)$  – скорость износа, как случайный процесс, и при любом  $\gamma(t) \geq 0$ .

Первичная ошибка  $i$ -й детали механизма  $\Delta q_i$  с учетом ее износа в течение времени  $t$  имеет вид [2]:

$$\Delta q_{it} = \Delta q_{oi} + \int_0^t \gamma(t) dt. \quad (1)$$

Так как скорость износа  $\gamma(t)$  является случайным процессом, то на основании выражения (1) и известных методов из теории случайных функций можно получить выражения для математического ожидания  $M(\Delta q_{it})$  и дисперсии  $D(\Delta q_{it})$  первичной ошибки детали после эксплуатации в течение времени  $t$ :

$$M(\Delta q_{it}) = M(\Delta q_{oi}) + \int_0^t M(\gamma(t)) dt, \quad (2)$$

$$D(\Delta q_{it}) = D(\Delta q_{oi}) + \int_0^t \int_0^t K_{\gamma_i}(t, t) dt dt,$$

где  $M(\Delta q_{oi})$ ,  $D(\Delta q_{oi})$  – математическое ожидание и дисперсия случайной величины  $\Delta q_{oi}$ ;  $K_{\gamma_i}(t, t) = D(\gamma(t))$  – дисперсия скорости износа.

Из (2) следует, что рассеяние размеров деталей в партии при эксплуатации их в течение времени  $t$  отличается от рассеяния размеров новых деталей. Оно больше последнего на величину двойного

интеграла  $\int_0^t \int_0^t K_{\gamma_i}(t, t) dt dt$ . Вычисление

$D(\Delta q_{it})$  упрощается, если случайную функцию  $\gamma_i(t)$  представить в каноническом виде:

$$\gamma_i(t) = v_i \psi_i(t),$$

где  $v_i$  – случайная величина, не зависящая от времени;  $\psi_i(t)$  – не случайная функция времени.

Простейшее предположение относительно изменения величины износа  $u_t$  состоит в том, что он носит линейный характер [2]:  $\Delta q_{it} = \Delta q_{io} + v_i t$ . При эксплуатации однотипных машин влияние внешних факторов на все машины равнозначно. В этом случае в первом приближении можно считать, что все одноименные детали механизмов машин обнаруживают постоянную скорость износа [3].

При известных изменениях вероятностных характеристик распределения первичных ошибок во времени можно получить

выражения вероятностных характеристик для распределения ошибки положений ведомого звена механизма. Для этого считаем установленной связь между координатой  $j$ -го положения ведомого звена механизма и его первичными ошибками:

$$\begin{aligned} \Delta q_i, i=\overline{1, n}, \\ Z_j(q_i) = Z_j(q_{i0} + \Delta q_i), \\ i=\overline{1, n}, \end{aligned}$$

где  $q_i, q_{i0}$  – действительный и номинальный размер  $i$ -го звена механизма.

Функция положения механизма может быть построена методом треугольников, который заключается в последовательном расчете отдельных структурных групп [3...5]. Точность механизма в заданном положении  $j$  характеризуется ошибкой положения  $\Delta Z_j(\Delta q_i)$ , которая определяется разностью:

$$\Delta Z_j(\Delta q_i) = Z_j(q_i) - Z_j(q_{i0}),$$

где  $Z_j(q_i)$  – фактическое значение функции положения ведомого звена механизма;  $Z_j(q_{i0})$  – значение функции, для воспроизведения которой создан механизм.

Практическая предельная ошибка положения механизмов будет определяться по выражению:

$$\Delta Z_j = M[\Delta Z_j(\Delta q_{it})] \pm 3\sqrt{D \cdot \Delta Z_j(q_{it})}.$$

Статистические параметры практической предельной ошибки положения механизма рассчитываются методом статистических испытаний (Монте-Карло) [3], [5]. При этом вероятность безотказной работы сводится к сопоставлению по отдельным критериям расчетных параметров  $\Delta Z_j$  с их предельными величинами  $\Delta Z_{lim}$  – допуском на обработку  $[\epsilon]$ .

Предельные величины расчетных параметров критерия выбирают по нормативным или справочным данным или устанавливают расчетным путем. Работоспо-

собность механизма или узла по заданному критерию обеспечена, если расчетный параметр критерия  $\Delta Z_j$  меньше его предельного значения  $\Delta Z_{lim}$ . В общем случае параметр  $\Delta Z_j$  не должен выходить за предельное значение, то есть  $\Delta Z_j \leq \Delta Z_{lim}$ .

В настоящее время основное применение имеет расчет с помощью заранее задаваемых коэффициентов безопасности  $n$ , соответственно условие  $\Delta Z_j \leq \Delta Z_{lim} / n$ . С переходом на вероятностные методы расчета  $\Delta Z_j$  и  $\Delta Z_{lim}$  рассматривают как случайные величины, и мерилем надежности является вероятность безотказной работы  $P$  по заданному критерию. Расчетное условие для обеспечения заданной вероятности  $P$ :

$$\overline{\Delta Z_j} - \overline{\Delta Z_{lim}} = u_p \sigma_{\Sigma},$$

где  $\overline{\Delta Z_j}, \overline{\Delta Z_{lim}}$  – средние значения величин  $\Delta Z_j$  и  $\Delta Z_{lim}$ ;  $\sigma = \sqrt{\sigma_{lim}^2 + \sigma_{\Delta Z}^2}$  – среднее квадратическое отклонение разности двух случайных величин  $\Delta Z_{lim}$  и  $\Delta Z_j$ ;  $\sigma_{lim}, \sigma_{\Delta Z}$  – среднее квадратическое отклонение величин  $\Delta Z_j$  и  $\Delta Z_{lim}$ ;  $u_p$  – квантиль нормированного нормального распределения – функция от  $P$ .

Вероятность безотказной работы  $P$  по заданному критерию определяют в зависимости от квантили:

$$u_p = - \frac{\overline{\Delta Z_{lim}} - \overline{\Delta Z_j}}{\sqrt{\sigma_{lim}^2 + \sigma_{\Delta Z}^2}}.$$

Методика расчета легко реализуется на ЭВМ с использованием расчета точности механизмов методом статистических испытаний [5]. Результаты расчета точности положения некоторых механизмов швейных машин и вероятности безотказной работы при заданных из технологических условий допусках на обработки приведены в табл. 1.

Механизмы	Параметры распределения		Вероятность безотказности
	средняя статистическая ошибка партии механизма	среднее квадратическое отклонение ошибки партии механизмов	
Механизм иглы машины 876 кл.	1,221825	3,222142E-03	0,861
Механизм отклонения иглы швейной машины 852 кл. в крайнем положении	1,678420	6,8976578E-02	0,611
Механизм рейки швейной машины 852 кл.	2,456243	7,2756879E-01	0,873

## ВЫВОДЫ

Разработан метод расчета надежности деталей механизмов швейных машин, позволяющий рассчитывать вероятность безотказной работы партии однотипных машин, находящихся в эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Бездудный Ф.Ф. и др.* Расчет надежности производственных систем текстильной и легкой промышленности. – М., 1977.
2. *Зизюкин М.И.* Надежность текстильных и швейных машин. – М.: Машиностроение, 1973.

3. *Озол О.Г.* Аналитический метод треугольников в кинематике плоских механизмов – 13 кн., Анализ и синтез механизмов – 14 кн., 1966.

4. *Усенбеков Ж., Омарбекулы Т.* Решение инженерных задач на ЭВМ. – Тараз: Таразск. университети, 2003.

5. *Усенбеков Ж.* Моделирование точности позиционирования объектов обработки при сборке изделий легкой промышленности // Наука и образование Южного Казахстана. – Тараз, 2000, №20.

Рекомендована Научно-техническим советом.  
Поступила 05.05.15.