

УДК 519.873

Р.А. Приходько, канд. техн. наук, ассистент,**В.В. Казаков***Севастопольский национальный технический университет.**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: prikhodko-r@yandex.ru***МАКЕТ ОДНОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Разработан и исследован макет восстанавливаемой однокомпонентной системы с учетом проведения технического обслуживания. С помощью макета проверена адекватность соответствующей полумарковской модели.

При исследовании надежности технических систем трудность представляет проверка адекватности разрабатываемых аналитических моделей [1]. Производственный эксперимент дорогостоящ, а компьютерные имитационные модели не всегда убедительны.

Цель статьи – создать макет технической системы, отличающийся простотой и эффективностью.

Рассмотрим нить, перематываемую с одной катушки на другую (рисунок 1). При намотке на ведущую катушку нить образует спираль с переменным шагом и радиусом. За счет этого количество оборотов, совершаемых катушками до полной перемотки нити, случайное.

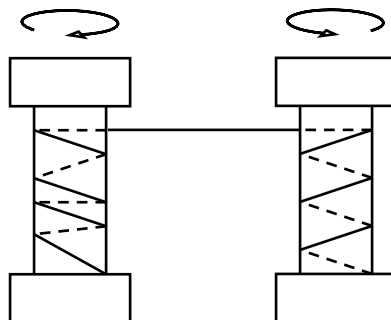


Рисунок 1 – Схема макета

Таким образом, система “катушка – нить – катушка” может служить генератором случайных чисел, а процесс перемотки нити с катушки на катушку – имитировать наработку системы на отказ. В этом случае отказ – это событие перемотки нити полностью с ведомой катушки на ведущую. Процесс восстановления заключается в перестановке местами ведущей и ведомой катушек. Для этого обе катушки должны быть одинаковы.

На рисунке 2 изображена фотография установки, реализованной по вышеописанному принципу. Перемотка производится вручную. Макет сделан так, что случайная величина (СВ) наработки на отказ α измеряется в зубьях зубчатого колеса выходного вала. Для перевода СВ α в секунды нужно разделить последнюю на угловую скорость. Допустим, фактическая угловая скорость перемотки не влияет на величину наработки на отказ. Тогда при расчете длительности перемотки скорость можно выбирать произвольно, при этом изменяя соотношение математических ожиданий $\frac{M\alpha}{M\beta}$. СВ восстановления β измеряется в секундах.

Эксперимент показал, что СВ α, β имеют усеченный нормальный закон распределения [2]. При изменении профиля катушки можно реализовать и другие законы распределения. Перематывая нить с катушки на катушку (данный процесс имитирует работоспособное состояние системы) и меняя катушки местами после полной перемотки (процесс замены имитирует восстановление – неработоспособное состояние системы), реализуем альтернирующий процесс восстановления. Техническое обслуживание (ТО) имитируется следующим образом: через определенные интервалы времени τ будем принудительно останавливать перемотку и возвращать систему в исходное положение (смаывать всю нить на одну катушку и в случае необходимости менять катушки местами). Длительность ТО – СВ $\beta_{ТО}$. При этом ТО проводится только в том случае, если к моменту его проведения система находится в работоспособном состоянии. Известна полумарковская модель (ПМ), описывающая функционирование подобной однокомпонентной системы с учетом проведения ТО [3]. Разработанный макет позволяет проверить адекватность данной модели.

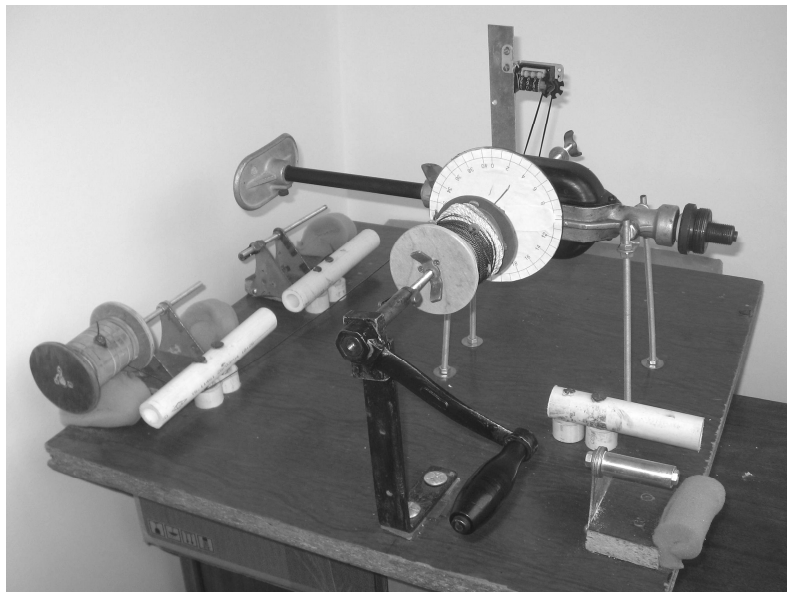


Рисунок 2 – Макет однокомпонентной системы с учетом проведения ТО

Согласно ПМ [3], средние стационарные времена наработки на отказ T_+ и восстановления T_- , а также коэффициент технического использования $K_{ми}$ для однокомпонентной системы определяются соответственно по формулам:

$$T_+ \approx \frac{\tau}{1 + H(\tau)}; \quad T_- \approx \frac{M\beta_{TO} + \int_0^{\tau} H(\tau - t)\bar{G}(t)dt}{1 + H(\tau)}; \quad K_{ми} \approx \frac{\tau}{\tau + M\beta + \int_0^{\tau} H(\tau - t)\bar{G}(t)dt}.$$

здесь $M\beta_{TO}$ – математическое ожидание СВ β_{TO} , $G(t)$ – функция распределения СВ β , $H(t)$ – функция восстановления СВ α , для усеченного нормального закона распределения [2] $H(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \Phi\left(\frac{t - k\mu}{\sqrt{k}}\right)$,

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\left(1 - \Phi\left(-\frac{m}{\sigma}\right)\right)} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} du.$$

В таблице 1 приведены математические ожидания и среднеквадратические отклонения СВ α , β , β_{TO} .

Таблица 1 – Исходные данные

Наработка на отказ α		Восстановление β		Длительность ТО β_{TO}	
$M\alpha$, с	σ_{α} , с	$M\beta$, с	σ_{β} , с	$M\beta_{TO}$, с	$\sigma_{\beta_{TO}}$, с
2787	110	27	6	27	6

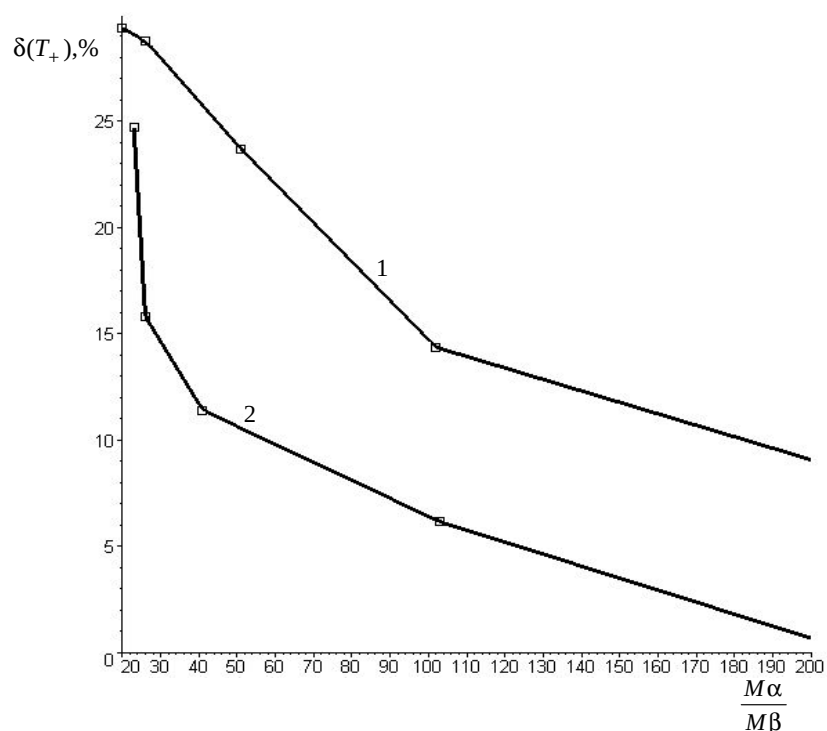
В таблицах 2 и 3 приведено сравнение результатов эксперимента ($\tau = M\alpha$) и описывающей его ПМ. Для сравнения представлены результаты имитационной модели, выполненной в Maple.

Таблица 2 – Сравнение результатов эксперимента, ПМ и имитационной модели при $\tau = M\alpha$

Характеристика	Макет	Полумарковская модель	Имитационная модель в Maple
T_+	1979,5	1857,7	1962,4
T_-	24,7	26,1	27,0
$K_{ми}$	0,9877	0,9862	0,9864

Таблица 3 – Сравнение результатов эксперимента и ПМ

τ		Макет	Полумарковская модель	Относительная погрешность, %
$\tau = 0,8M\alpha$	T_+	2123,0	2229,2	5,00
	T_-	27,9	27,0	3,23
	K_{mi}	0,9870	0,9880	0,10
$\tau = M\alpha$	T_+	1979,5	1857,7	6,15
	T_-	24,7	26,1	5,67
	K_{mi}	0,9877	0,9862	0,15
$\tau = 1,2M\alpha$	T_+	1577,3	1671,9	6,00
	T_-	25,8	27,0	4,65
	K_{mi}	0,9839	0,9841	0,02

Рисунок 3 – Зависимость погрешности определения T_+ от соотношения $\frac{M\alpha}{M\beta}$

при различных соотношениях $\frac{M\alpha}{\sigma_\alpha}$ ($\frac{M\alpha}{\sigma_\alpha} \approx 50$ для кривой 1 и $\frac{M\alpha}{\sigma_\alpha} \approx 25$ для кривой 2)

Приемлемая точность ПМ с распределенными по закону Эрланга СВ достигается при соотношениях $\frac{M\alpha}{M\beta} \geq 10$. Исследования показали, что при нормально распределенных СВ соотношение

$\frac{M\alpha}{M\beta}$, обеспечивающее нужную точность ПМ, зависит от соотношения $\frac{M\alpha}{\sigma_\alpha}$. С уменьшением $\frac{M\alpha}{\sigma_\alpha}$

пороговое соотношение $\frac{M\alpha}{M\beta}$ также уменьшается. На рисунке 3 изображены графики зависимости относительной погрешности определения среднего стационарного времени наработки на отказ от соотношения $\frac{M\alpha}{M\beta}$ при различных соотношениях $\frac{M\alpha}{\sigma_\alpha}$ ($\frac{M\alpha}{\sigma_\alpha} \approx 50$ для кривой 1 и $\frac{M\alpha}{\sigma_\alpha} \approx 25$ для кривой 2).

При $\frac{M\alpha}{\sigma_\alpha} \approx 25$ для обеспечения погрешности ПМ около 7% должно выполняться условие $\frac{M\alpha}{M\beta} \geq 100$.

Полученные результаты могут быть использованы при моделировании восстанавливаемых систем, а также в области машино- и приборостроения при эксплуатации автоматизированных производственных систем.

Таким образом, разработан и исследован макет восстанавливаемой однокомпонентной системы с учетом проведения ТО. Погрешность ПМ, описывающей функционирование данного макета, составляет около 6 процентов для средних стационарных времен наработки на отказ и восстановления и менее 1 процента для стационарного коэффициента технического использования.

Направление будущих исследований – создание макета пятикомпонентной системы переменной структуры с учетом ТО.

Библиографический список

1. Александровская Л.М. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем / Л.М. Александровская, А.П. Афанасьев, А.А. Лисов. — М.: Логос, 2003. — 234 с.
2. Байхельт Ф. Надежность техническое обслуживание. Математический подход: пер. с нем. / Ф. Байхельт, П. Франкен. — М.: Радио и связь, 1988. — 392 с.
3. Стационарные характеристики последовательной технологической системы с учётом профилактики / Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский, С.Г. Глеч, Р.А. Приходько // Оптимизация производственных процессов: сб. науч. тр. — Севастополь, 2004. — Вып. 7. — С. 157–165.

Поступила в редакцию 5.06.2008 г.