

УДК 681.5.09

А.И. Балакин, канд. техн. наук, доцент, В.Я. Копп, д-р техн. наук, профессор,

А.Н. Гаджибеков, канд. техн. наук, доцент

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: lehaba@rambler.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ С ВОЗВРАТОМ ПРОДУКЦИИ НА ПОВТОРНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ С УЧЕТОМ ЧИСЛА МНОГОКРАТНЫХ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Рассматриваются вопросы, связанные с моделированием автоматизированных производственных систем, реализующих технологические процессы, требующие возврата продукции на повторное обслуживание, использующие для повышения точности контроля многократные измерения. Приведены результаты моделирования таких систем.

Ключевые слова: автоматизированная производственная система, многократные измерения, производительность.

Постановка задачи исследований. Одним из критериев эффективности современного производства является обеспечения требуемой производительности при необходимом качестве продукции. Эти два компонента являются основными показателями функционирования автоматизированных линий (АЛ). Высокие требования к качеству продукции вызывают необходимость повышения точности измерений. Одним из методов повышения их точности при использовании имеющихся технических средств контроля является применение многократных измерений. При этом необходимо учитывать, что число измерений оказывает значительное влияние на производительность АЛ, так как время измерения будет увеличиваться при увеличении этого числа и как следствие уменьшается производительность АЛ в целом. Поэтому предлагается определять граничную оценку минимально необходимого числа многократных двухпараметрических измерений, при обеспечении требуемой точности на основе анализа дифференциальной энтропии двухпараметрической случайной величины, сосредоточенной на ограниченной области. Методика определения числа многократных измерений приведена в [1].

Моделирование АЛ с возвратом продукции осуществляется на основе построенных в [2] полумарковских моделей.

Цель статьи: проверка комплекса математических моделей приведенных в [1, 2], позволяющих за счет управления числом многократных измерений и возврата продукции на повторное обслуживание повысить производительность автоматизированных линий при обеспечении заданного качества продукции.

Изложение основного материала. В качестве изделия при моделировании рассмотрим оправку, для инструмента представленную на рисунке 1.



Рисунок 1 – Коническая оправка

Последними операциями в технологическом процессе ее изготовления являются операции шлифования: шлифование внутренней конической поверхности на технологической ячейке ($ТЯ_1$), шлифование наружной конической поверхности $ТЯ_2$, шлифование цилиндрической поверхности $ТЯ_3$.

Данная оправка имеет наружную конусность 7:24 типоразмер 30, внутренний конус Морзе номер 2 допуск на изготовление данных поверхностей по АТ6 составляет 10 мкм.

Произведем моделирование асинхронной автоматизированной линии состоящей из трех технологических ячеек, охваченных обратной связью, на основе модели приведенной в [2]. Предполагается что функции распределения (ФР) времени технологического обслуживания $F_1(t)$, $F_2(t)$, $F_3(t)$ и их математические ожидания $m\alpha_1$, $m\alpha_2$, $m\alpha_3$ известны. Число повторных обслуживаний на одной технологической ячейке не должно превышать трех. Технологические ячейки включают в свой состав измерительные системы, которые позволяют определять годность изделия после каждой операции.

Также предполагается что известны ФР времени одного измерения на соответствующей ячейке $R_1(t)$, $R_2(t)$, $R_3(t)$ и их математические ожидания $m\tau_1$, $m\tau_2$, $m\tau_3$. Окончательная ФР времени обслуживания на технологической ячейке $F_k'(t)$ определяется как свертка 2-го порядка ФР времени технологического обслуживания $F_k(t)$ и ФР времени измерения $R_k'(t)$. В зависимости от допуска на изготовления изделия на конкретной технологической операции и точности имеющегося средства измерительной техники определяется оптимальное число многократных измерений N . Тогда ФР времени измерения на k -ой ТЯ $R_k'(t)$ определим как свертку $(N+1)$ -го порядка ФР времени одного измерения $R_k(t)$.

На основании модели, приведенной в [2], необходимо определить производительность АЛ с учетом необходимого числа повторных измерений. При моделировании предполагалось, что времена обслуживания $F_k(t)$ и времена измерения $R_k(t)$ распределены по обобщенным законам Эрланга второго порядка. Функции распределения времени наработки на отказ и времени восстановления считались распределенными по экспоненциальному закону с математическими ожиданиями равными соответственно $m\beta_k$, $m\gamma_k$.

Для определения оптимального числа многократных измерений необходимо знать предельную погрешность средств измерительной техники (СИТ). Так как в качестве обрабатываемой детали рассматривается деталь конической формы, то для измерения конусности используются две измерительные скобы, для контроля диаметров, находящиеся на заданном расстоянии друг от друга.

Допуск на изготовления конуса Морзе 2 и конусов с конусностью 7:24 типоразмеров 30 и 35 по шестой степени точности составляет $AT_D = 10 \text{ мкм}$ на длине 49...64 мм [3]. Допускаемая погрешность измерения Δ_p может быть оценена в процентах к величине допуска на изготовления угла конуса AT_D , выраженного в линейных величинах. Тогда допускаемая погрешность измерения конусности будет равна $\Delta_p = 0,3 \cdot 10 = 3 \text{ мкм}$. Данная погрешность включает в себя следующие шесть составляющих: погрешность средства измерения, температурную погрешность, погрешность настройки, погрешность, связанную с изменением расстояния между измерительными скобами, погрешность объекта контроля и рабочего эталона.

Таким образом, допускаемая погрешность средства измерения не должна превышать $1/6$ допускаемой погрешности измерения, т.е. $\Delta_{p \text{ СИ}} = 3/6 = 0,5 \text{ мкм}$. Так как средство измерения предназначено для измерения угла конуса и включает в себя две измерительные скобы с отсчетными устройствами, то допускаемая погрешность для одной измерительной скобы составит $\Delta_{p \text{ СИ}_1} = 0,5/2 = 0,25 \text{ мкм}$.

Погрешность средства измерения в свою очередь состоит из погрешности вызванной отклонением от параллельности измерительных наконечников скобы и смещения оси детали, погрешности преобразователя и силовой погрешности.

Рассмотрим отдельные составляющие погрешности.

Погрешность преобразователя. В качестве измерительных преобразователей используются индуктивные соленоидного типа мод. 76503.

Согласно паспорта в диапазоне измерений $40 (\pm 20) \text{ мкм}$ нормируются три основные составляющие погрешности преобразователя с показывающим прибором, оснащенный индикацией на табло цифрового электронного блока: предельная погрешность показаний $\Delta_{\text{Д}} = 0,18 \text{ мкм}$; вариация показаний $\Delta_{\text{ВП}} = 0,07 \text{ мкм}$; дрейф нуля в течении 60 минут $\Delta_{\text{Д}} = 0,15 \text{ мкм}$.

Предельная погрешность показаний и вариация показаний носят случайный характер и подчиняются нормальному закону распределения, следовательно, систематические составляющие равны нулю, а случайные составляющие соответственно равны:

$$\sigma(\Delta_{II}) = \frac{\Delta_{II}}{2} = \frac{0,18}{2} = 0,09 \text{ мкм}, \quad \sigma(\Delta_{BII}) = \frac{\Delta_{BII}}{2} = \frac{0,07}{2} = 0,0035 \text{ мкм}.$$

Погрешность измерения связанная с дрейфом нуля (смещением уровня настройки) в течении 60 минут носит систематический функциональный характер $\Delta_{SD} = 0,15 \text{ мкм}$.

Погрешность, вызванная отклонением от параллельности измерительных наконечников скобы и смещением оси детали. Величина погрешности определяется из выражения

$$\Delta_H = a\varphi^2,$$

где a – смещение детали между наконечниками; $a = 0,1 \text{ мм}$; φ – отклонение от перпендикулярности наконечника к линии измерения, радиан, $\varphi = 0,0087 \text{ рад}$. С учетом этого получаем:

$$\Delta_H = 0,1 \cdot 0,0087^2 = 0,0000076 \text{ мм} = 0,0076 \text{ мкм}$$

Закон распределения погрешности нормальный:

– систематическая составляющая равна

$$\Delta_{SH} = 0;$$

– случайная составляющая равна

$$\sigma(\Delta_{CH}) = \frac{\Delta_H}{2} = \frac{0,0076}{2} = 0,0038 \text{ мкм}.$$

Силовая погрешность. Силовые погрешности средства контроля представляют собой переменную часть силовых деформаций, зависящую от колебания величины измерительного усилия.

Погрешность от изменения контактной деформации вследствие колебания измерительного усилия подсчитывается по формуле

$$\Delta_{сил} = 0,12K \frac{\Delta F_{cm} + \Delta F_g}{3 \sqrt{F_H \cdot r}}, \text{ мкм},$$

где K – коэффициент, выбираемый в зависимости от материалов контактирующих тел; $F_H = 4...8 \text{ Н}$ – измерительное усилие, в Н; r – радиус измерительного наконечника, в мм, $r = 2...4 \text{ мм}$; $\Delta F_{cm} = (0,1...0,2)F_H$ – максимальное колебание измерительного усилия (в статическом режиме), Н; ΔF_g – тоже в динамическом режиме, Н.

Так как вес подвижных частей не превышает 30 Н и скорость вращения детали менее 5 с^{-1} , величиной ΔF_g пренебрегаем. Тогда получаем:

$$\Delta F_{cm} = 0,2 \cdot 6 = 1,2 \text{ Н}, \quad \Delta_{сил} = 0,12 \cdot 1,3 \frac{1,2}{3 \sqrt{6 \cdot 3}} = 0,071 \text{ мкм}.$$

Закон распределения погрешности нормальный:

– систематическая составляющая равна

$$\Delta_{S_{сил}} = 0;$$

– случайная составляющая равна

$$\sigma(\Delta_{сил}) = \frac{\Delta_{сил}}{2} = \frac{0,071}{2} = 0,036 \text{ мкм}.$$

Суммарная предельная погрешность измерительной скобы. Величина погрешности измерительной скобы с учетом систематических и случайных составляющих определяется из выражения

$$\Delta_{СИ_1} = \Delta_{SD} \pm 2 \sqrt{\sigma(\Delta_{II})^2 + \sigma(\Delta_{BII})^2 + \sigma(\Delta_H)^2 + \sigma(\Delta_{сил})^2}.$$

Подставляя значения составляющих погрешности, находим:

$$\Delta_{СИ_1} = 0,15 \pm 2 \sqrt{0,09^2 + 0,0035^2 + 0,0038^2 + 0,036^2} = 0,15 \pm 0,194 \text{ мкм}.$$

$$\Delta_{СИ_1} = 0,344 \text{ мкм}.$$

Величина погрешности измерительной скобы $\Delta_{СИ_1}$ не удовлетворяет условию точности. Следовательно, для измерения данных конусов с заданной точностью принятыми средствами измерения, являющимися наиболее точными среди средств линейных измерений, необходимо использовать метод многократных измерений для сокращения случайных составляющих погрешностей измерения.

Воспользовавшись методикой, приведенной в [1], определим оптимальное число многократных измерений, чтобы с вероятностью 0,95 можно было утверждать, что измерения конусности выполнены правильно, т.е. определим количество многократных измерений необходимое для того, чтобы с вероятностью 0,95 можно было утверждать, что контролируемый параметр не выйдет за пределы $\pm 0,125 \text{ мкм}$, при предельной суммарной погрешности СИТ $\Delta_{\Sigma} = \pm 0,194 \text{ мкм}$. Расчеты показывают, что при $n = 5$, эта вероятность составит 0,978. При $n = 4$ эта вероятность составит 0,938. Следовательно, принимаем $n = 5$.

Определим математическое ожидание времени одного измерения, состоящее из времени подвода средства измерения на позицию измерения, времени снятия показания и времени отвода средства измерения на исходную позицию

Принимая скорость движения подводящего устройства равную 0,2 м/с, время подвода и отвода средства измерения на позицию измерения составит 0,5 с. Математическое ожидание времени снятия показания 0,01 с. Таким образом, математическое ожидание времени одного измерения $m\tau_k$ составляет 1,01 с. При многократных измерениях производится повторный подвод, и отвод измерительных наконечников, математическое ожидание времени которого равно 0,1 с. Таким образом, математическое ожидание времени пяти измерений равно 1,55 с.

Математические ожидания времен основных технологических операций определяется исходя из техпроцесса изготовления и для выбранного техпроцесса составляют соответственно $m\alpha_1 = 15 \text{ с}$, $m\alpha_2 = 15 \text{ с}$, $m\alpha_3 = 5 \text{ с}$.

Вероятность того что изделие на выходе $ТЯ$ будет годным принимаем равным $p = 0,98$.

Результаты моделирования приведены в таблице 1.

Рассмотрим еще один пример моделирования АЛ такого типа, для обработки центрирующего центра, представленного на рисунке 2.



Рисунок 2 – Центрирующий центр

Последними операциями в технологическом процессе изготовления также как и в предыдущем случае являются операции шлифования: шлифование наружной центрирующей конической поверхности на $ТЯ_1$, шлифование наружной установочной конической поверхности $ТЯ_2$, шлифование центрирующей конической поверхности на $ТЯ_3$ при базировании по другой конической поверхности. Наружный конус установочной поверхности представляет собой конус Морзе номер 2 допуск на изготовление которого по АТ6 составляет 10 мкм. Следовательно погрешность СИТ не должна превышать $\Delta_p \text{ СИ}_1 = 0,25 \text{ мкм}$. Следовательно количество многократных измерений будет равно как и в первом случае $n = 5$.

Математические ожидания времен основных технологических операций определяется, исходя из техпроцесса изготовления, и для выбранного техпроцесса составляют соответственно $m\alpha_1 = 20 \text{ с}$, $m\alpha_2 = 40 \text{ с}$, $m\alpha_3 = 20 \text{ с}$. Вероятность того, что изделие на выходе $ТЯ$ будет годным, принимаем равным $p = 0,95$.

Результаты моделирования приведены в таблице 1.

В таблице 1 приняты следующие обозначения m_k – число мест в накопителях; $П_{\text{лин}}$ – производительность АЛ; L_2, L_3 – средние длины очередей в накопителях.

Таблица 1 – Результаты моделирования

Параметры	Пример 1		Пример 2	
	без исправления брака	с возвратом продукции на повторное обслуживание	без исправления брака	с возвратом продукции на повторное обслуживание
n	-	5	-	5
p	-	0,98	-	0,95
mr_1 , ч	-	0,00043	-	0,0003
mr_2 , ч	-	0,00043	-	0,00043
mr_3 , ч	-	0,0003	-	0,0003
$m\alpha_1$, ч	0,0042	0,0042	0,0056	0,0056
$m\alpha_2$, ч	0,0042	0,0042	0,011	0,011
$m\alpha_3$, ч	0,0014	0,0014	0,0056	0,0056
m_k	20	20	20	20
$P_{\text{лин}}$, дет/ч	183,82	186,2	65,73	74,241
L_2 , дет	12,426	11,438	18,904	18,813
L_3 , дет	1,266	1,1728	1,829	1,799

Таким образом, анализ таблицы 1 показывает, что введение возврата продукции на повторное обслуживание при оптимальном выборе числа многократных измерений позволяет повысить производительность в плане выпуска годных деталей в первом случае на 1,3 %, а во втором – на 12,9 %.

Перспективы дальнейших исследований. В дальнейшем предполагается рассмотреть использование полученного подхода для моделирования более сложных производственных систем, таких как многопоточные автоматизированные линии.

Библиографический список использованной литературы

1. Копп В.Я. Теоретические и экспериментальные исследования двухпараметрических многократных измерений / В.Я. Копп, А.И. Балакин, Е.А. Волошина // Сб. науч. тр. СИЯЭП. — Севастополь, 2011. — Вып. 3 (39). — С. 122–128.
2. Балакин А.И. Аналитическое и имитационное моделирование асинхронной автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание / А.И. Балакин, В.Я. Копп, Г.Г. Макухина // Сб. науч. тр. Технологические комплексы, Изд-во Луцкого национального технического университета. — Луцк, 2011. — Вып. № 1 (3). — С. 32–36.
3. Справочник конструктора точного приборостроения / Веркович Г.А. [и др.]; под ред. К.Н. Явленского. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. — 792 с.

Поступила в редакцию 16.11.2012 г.

Балакин О.І., Копп В.Я., Гаджибеков О.Н. Моделювання гнучких виробничих систем з поверненням продукції на повторне обслуговування з урахуванням числа багаторазових двопараметричних вимірів

Розглянуто питання, пов'язані з моделюванням автоматизованих виробничих систем, які реалізують технологічні процеси, що вимагають повернення продукції на повторне обслуговування, та використовують для підвищення точності контролю багаторазові виміри. Наведено результати моделювання таких систем.

Ключові слова: автоматизовані виробничі системи, багаторазові виміри, продуктивність.

Balakin A.I., Kopp V.Ya., Gadzhibekov A.N. Modelling of flexible production systems with production return on repeated service taking into account number of repeated two-parametrical measurements

The questions connected with modeling of automated production systems, realizing the technological processes demanding return of production on repeated service, using for increase of accuracy of control repeated measurements are considered. Results of modeling of such systems are given.

Keywords: the automated production system, repeated measurements, productivity.