

УДК 658.51/52

И.В. Руженцев¹, С.В. Луцкий², В.П. Фетькив¹¹ Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков² Харьковский национальный автомобильный университет, Харьков

ДИСКРЕТНО-ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ МЕХАНООБРАБОТКИ

Рассматриваются основные положения системно-информационного подхода к моделированию процесса механообработки с использованием дискретно-вероятностных моделей для расчета суммарной погрешности.

Ключевые слова: технологическая система, деталь, параметр, размер, погрешность.

Введение

В современном обществе метрология как наука и область практической деятельности играет большую роль. Это связано с тем, что практически нет ни одной сферы человеческой деятельности, где бы не использовались результаты измерений. Измерения количественно характеризуют окружающий материальный мир, раскрывая действующие в природе закономерности.

Они являются основой научных знаний, служат для учета материальных ресурсов, обеспечения требуемого качества продукции, совершенствования технологии, автоматизации производства, стандартизации и т.д.

Особенностью современного периода является усиление роли информационных технологий, обеспечивающих высокий уровень машиностроительных технологий.

Изучение свойств объекта моделирования с помощью анализа аналогичных свойств его модели представляет собой процесс моделирования. Различают физические и математические методы моделирования. Физическое моделирование для исследования натуральных моделей подобия, воспроизводящих объект моделирования в меньшем масштабе. Математическое моделирование основано на том, что реальные процессы в объекте моделирования описывают определенными математическими соотношениями, устанавливающими связь между входными и выходными воздействиями.

В зависимости от метода получения математических соотношений различают модели: основанные, статистические на описании физических и химических явлений, и смешанные. Модели смешанного типа для решения технологических задач строят на основании описания физических процессов в объекте моделирования, однако ряд коэффициентов определяют экспериментально.

Информационное моделирование относится к математическому моделированию, в основе его ле-

жит описание состояния объекта через количество информации.

Анализ последних достижений и публикаций. Расчет погрешности обработки детали по данному параметру y (размеру, отклонениям, формы, расположения обрабатываемой поверхности и т.п.) состоит из трех этапов.

На первом этапе проводят схематизацию реальной операции.

На втором выполняют теоретический анализ операции, в результате которого устанавливают зависимости для расчета элементарных и суммарной погрешностей.

На третьем этапе экспериментально проверяют полученные соотношения.

При выборе расчетной схемы модели, обосновывают возможность учета факторов, которые наиболее заметно влияют на рассматриваемый параметр точности обработки. Так, при расчете погрешности базирования обычно пренебрегают отклонениями формы поверхности заготовки, служащей базой.

В случае обработки валов, например, устанавливаемых в люнете, погрешности формы поверхности, используемой в качестве базы, копируются на обработанном профиле детали, т.е. информация погрешности формы заготовки передается детали, поэтому расчетная схема должна учитывать эту информацию.

При анализе точности обработки технологическую систему обычно рассматривают как линейную динамическую систему.

Динамическая система обычно нелинейная, но поскольку исследуется точность обработки, при которой смещения невелики, то систему можно рассматривать как линейную [1]

$$I[y(t)] = I[Ax(t)] \quad (1)$$

где $I[y(t)]$ – информация выходной функции $y(t)$;

$I[Ax(t)]$ – информация входного вектора $x(t)$;

A – оператор – закон, по которому $x(t)$ соответствует $y(t)$.

Оператор A называют линейным, если при любых числах p, c, \dots, c_n и любых функциях $x_1(t), \dots, x_n(t)$ справедливо равенство

$$A \left\{ \sum_{r=1}^n c_r x_r(t) \right\} = \sum_{r=1}^n c_r A x_r(t), \quad (2)$$

которое отражает свойства однородности и независимости действия факторов (наложимости воздействия, суперпозиции, аддитивности).

Под выходными векторами $y(t)$ рассматриваются перемещения, напряжения и деформация элементов технологической системы. Под входными векторами $x(t)$ рассматриваются силы, воздействующие на технологическую систему и тепловые воздействия.

При этом подразумевают, что модуль упругости E и температурный коэффициент линейного расширения α не зависят от напряжения и температуры.

Действующие на технологическую систему воздействия в большинстве случаев имеют четко выраженный период колебания T .

Чаще всего силу представляют в виде конечной суммы гармонических составляющих (применяют разложение в ряд Фурье), раскладывая ее следующим образом:

$$P(t) = P_0 + \sum_{k=1}^n P_k \cos(k\phi + \phi_k). \quad (3)$$

Теория точности построена на сочетании дифференциального подхода к изучению отдельных типовых простейших элементов и обязательного комплексного охвата всех сторон, всех операций и переходов обработки заготовок при обработке, контроле заготовок и деталей.

Требование комплектности реализуется в нескольких направлениях: учетом совокупности основных факторов, расчетом всех параметров качества детали (изделия) необходимостью расчета процесса как единой последовательности переходов и операций, учетом возможности обработки многих партий деталей, использованием многих экземпляров оборудования, приспособлений, инструмента, решением вопросов точности и производительности, экономичности.

При обработке деталей на станке осуществляются нескольких рабочих процессов (резание, трение), воздействующих на упругую систему, вызывая смещение деталей, образующих подвижное соединение, в котором протекает рабочий процесс. При этом наблюдается, что смещение инструмента и за-

готовки изменяет глубину и силу резания. Поэтому динамическая система рассматривается как замкнутая система с отрицательной обратной связью. В замкнутой системе силы резания являются внутренними воздействиями.

Введение понятия о замкнутости системы являются основным при анализе виброустойчивости и других вопросов.

Применяемые при анализе математические методы зависят от вида системы: детерминированная система, которая на одно и то же входное воздействие отвечает определенным выходным воздействием; стационарная – в системе при любом сдвиге во времени выходного возмущения без изменения его формы выходное воздействие претерпевает такой же сдвиг во времени без изменения своей формы; недетерминированная – если при одном входном воздействии выходное воздействие различно, если это выходное воздействие подчиняется явно выраженным статистическим (вероятностным) закономерностям, систему называют стохастической.

Появление дополнительных смещений элементов технологической системы связано с действием на систему различных тепловых, силовых и иных факторов. Элементарные погрешности обработки характеризуют смещения одного или нескольких элементов технологической системы под влиянием одного или нескольких факторов. Расчетные соотношения оценки точности параметра устанавливают путем суммирования факторов, учитываемых при анализе данного параметра (размера, отклонения формы, расположения поверхностей). Закон суммирования определяется природой этих погрешностей.

Если исследуемый параметр детали Y определяется собой функцию нескольких переменных $X_n : Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, то для идеальных условий соответственно

$$Y_{10} = f(X_{10}, X_{20}, \dots, X_{n0}). \quad (4)$$

В реальных условиях значения параметров отличаются от идеальных (номинальных) т.е. присутствует абсолютная погрешность $\Delta_i = (x - x_0)_i$. Выходной параметр также может иметь некоторую погрешность.

При расчете линейных систем предполагается, что отклонения параметров малы и взаимно независимы на практике. Произведениями погрешностей пренебрегают [1]. Функцию $Y = a(X_i)$ в окрестностях номинальных значений параметров разложим в ряд Тейлора. Ограничиваясь учетом только погрешности в первой степени, получим выражения для расчета абсолютной погрешности выходного параметра Y :

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right) \Delta X_i. \quad (5)$$

Различают следующие основные погрешности:

ΔE_y – установки заготовок в приспособлении с учетом колебания размеров баз, контактных деформаций установочных баз заготовки и приспособления;

Δu – колебания упругих деформаций технологической системы под влиянием нестабильности нагрузок (сил резания, сил инерции и др.) действующих в системе переменной жесткости;

Δ_H – наладки технологической системы на выдерживаемый размер с учетом точностной характеристики применяемого метода наладки;

Δ_u – в результате размерного износа режущего инструмента;

$\sum \Delta_{cm}$ – станка, влияющие на выдерживаемый параметр, с учетом износа станка за период эксплуатации;

$\sum \Delta_T$ – колебания упругих объемных и контактных деформаций элементов технологической системы вследствие их нагрева при резании, трения подвижных элементов системы, изменения температуры в цехе.

Смещения отсчитывают от определенной базы - так называемой поверхности отсчета - в установленном направлении. Обычно систему отсчета связывают с номинальной обрабатываемой поверхностью. Погрешности линейного позиционирования станков с ЧПУ и других, рассчитывают с учетом неисключенных систематических и случайных погрешностей [3].

Методику определения суммарной погрешности устанавливают ДСТУ ГОСТ 8.207:2008.

Группу результатов прямых измерений с многократными наблюдениями подвергают статистической обработке:

исключают грубые погрешности (для результатов наблюдений которые можно считать принадлежащими нормальному распределению по методике, изложенной в ГОСТ 11.002-73) и известные систематические погрешности;

вычисляют среднеарифметическое значение исправленных результатов наблюдений, принима за результат измерения $M(X)$;

вычисляют оценку среднего квадратического отклонения $\delta(X)$ результата измерения:

$$\delta(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - M(X))^2}{n(n-1)}}. \quad (6)$$

где X_i – i -й результат наблюдения, $i = 1 \div n$.

Цель и постановка задачи. Разработка дискретно-вероятностных информационных моделей расчета суммарной погрешности механической обработки.

Дискретно-вероятностные информационные модели расчета погрешностей механической обработки

Расчет суммарной погрешности обработки на базе дискретно-вероятностных информационных моделией основывается на законе сохранения информации в замкнутой системе [2].

В замкнутой стационарной стохастической системе количество передаваемой и принимаемой информации свойствами системы между собой равно

$$\log_2 \sum_{i=1}^{\infty} n_i = \log_2 \sum_{j=1}^{\infty} m_j, \quad (7)$$

где $m_j = \frac{X_j}{\Delta x_j};$

$$n_i = \frac{Y_i}{\Delta y_i}.$$

Расчетные соотношения оценки точности параметра устанавливают путем суммирования передаваемой дискретно-вероятностной информации факторов воздействия, учитываемых при анализе данного параметра (размера, отклонения формы, расположения поверхностей).

Примем, что исследуемый параметр детали представляет номинальное значение, Y_H который имеет суммарную погрешность $\sum \Delta Y$.

Проявление изменения Y_H на $\Delta Y_i / \Delta x_j$ является порогом чувствительности к восприятию Δx_j факторов влияющих на изменение ΔY_i .

Дискретно-вероятностная информационная модель суммарной погрешности обработки имеет вид

$$\log_2 \left(\frac{Y_{Hi}}{\Delta y_1} + \dots + \frac{Y_{Hi}}{\Delta y_n} \right) = \log_2 \left(\frac{M_{x_1}}{\delta_{x_1}} + \dots + \frac{M_{x_m}}{\delta_m} \right), \quad (8)$$

где $\Delta y_i = \{ \Delta \epsilon_y, \Delta_y, \Delta_H \Delta_u, \sum \Delta_{cT}, \sum \Delta_T \};$

$\Delta x_j = \{ \delta_{x_j} \}$ – среднеквадратическое отклонение;

M_{x_m} – математическое ожидание параметров x_i ;

Δy_i – представляет собой реакцию Δy_i на проявление Δx_j .

В течение времени передачи ДВ информации между свойствами y_i и x_j замкнутой системы $\Delta y_i = \text{const}$ и $\Delta x_j = \text{const}$.

Значения под знаком логарифма (8) равны между собой:

$$\frac{y_n}{\Delta y_1} + \dots + \frac{y_n}{\Delta y_n} = \frac{M_{x_1}}{\delta_{x_1}} + \dots + \frac{M_{x_m}}{\delta_{x_m}}; \quad (9)$$

$$Y_{H_i} \left(\frac{1}{y_1} + \dots + \frac{1}{y_n} \right) = \frac{M_{x_1}}{\delta_{x_1}} + \dots + \frac{M_{x_m}}{\delta_{x_m}};$$

$$Y_{H_i} \left(\frac{y_1 + \dots + y_n}{y_1 \cdot \dots \cdot y_m} \right) = \frac{M_{x_1}}{\delta_{x_1}} + \dots + \frac{M_{x_m}}{\delta_{x_m}};$$

заменим

$$\sum \Delta y_i = \frac{y_1 \cdot \dots \cdot y_n}{y_1 + \dots + y_n},$$

тогда:

$$\frac{Y_{H_i}}{\sum \Delta y_i} = \frac{M_{x_1}}{\delta_{x_1}} + \dots + \frac{M_{x_m}}{\delta_{x_m}};$$

$$\frac{M_{x_1}}{\delta_{x_1}} + \dots + \frac{M_{x_m}}{\delta_{x_m}} = C_j;$$

$$\frac{Y_{H_i}}{\sum \Delta y_i} = C;$$

$$\sum \Delta y_i = \frac{Y_{H_i}}{C_j}.$$

Таким образом, суммарная погрешность $\sum \Delta y_i$ параметра Y_H равна суммарной чувствительности параметра на факторы воздействия на технологическую систему.

При этом допуск на размер T_i должен быть

$$T_i \geq \sum \Delta y_i. \quad (10)$$

Расчет суммарной погрешности обработки с использованием информационных моделей имеет следующую последовательность шагов.

1. Определение параметра для анализа суммарной погрешности обработки размера, отклонения формы расположения поверхностей.

2. Определение основных факторов технологической системы влияющих на погрешность обработки для выбранного параметра.

3. Определение закона распределения факторов ошибки параметров детали.

4. Определение математического ожидания и среднего квадратического отклонения факторов ошибки параметров детали.

5. Составление информационной модели суммарной погрешности обработки.

6. Определение суммарной погрешности параметров обработки.

Выводы

Использование информационных моделей при расчете суммарной погрешности механической обработки позволяет оптимизировать расчеты погрешности в сравнении с существующими методами за счет отсутствия в методике математических действий интегрирования и дифференцирования.

Список литературы

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. 656 с.
2. Луцкий С.В. Стратегия формирования концепции информационного подхода и его развитие. Машиностроение и техносфера XXI / С.В. Луцкий // Сборник трудов международной научно-технической конференции. - Донецк: ДонНТУ, 2007. – Т. 2. – С. 267-273.
3. Микропроцессоры в информационно-измерительных системах. Учеб. пособие / [Аврунин О.Г., Запорожец О.В., Носова Т.В., Руденко О.Г., Руженцев И.В., Семенов В.В., Токарев В.В.]. – Х.: ХНУРЭ, 2015. – 180 с.

Поступила в редколлегию 1.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ДИСКРЕТНО-ІМОВІРНІСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ СУМАРНОЇ ПОХИБКИ МЕХАНООБРОБКИ

І.В.Руженцев, С.В. Луцький, В.П.Фетків

Розглядаються основні положення системно-інформаційного підходу до моделювання процесу механообробки з використанням дискретно-імовірнісних моделей для розрахунку сумарної похибки.

Ключові слова: технологічна система, деталь, параметр, розмір, похибка

DISCRETE PROBABILISTIC INFORMATION MODEL OF MACHINING PROCESSING TOTAL ERROR CALCULATION

I.V. Ruzhentsev, S.V. Lutsky, V.B. Fetkiv

The basic position of the system-information campaign to the simulation of machining process using discrete probability models to calculate the total error.

Keywords: technological system, item, option, size error.