4. Пономаренко В.П., Панышева Г.Ф. Исследование устойчивости инерционной двухконтурной системы синхронизации псевдослучайного сигнала //Радиотехника и электроника. 1983. Т. 28. № 2. С. 304.

5. Белых В.Н., Максаков В.П. Статистическая динамика цифровой системы фазовой синхронизации первого порядка //Радиотехника и электроника. 1979. Т. 24. № 5. С. 695.

6. Белых В.Н., Лебедева Л.В. Исследование одного отображения окружности //Прикладная математика и механика. 1982. Т. 46. Вып.5. С. 771.

УДК 621.914.3

Ю.И.Городецкий, Г.А.Дроздова, Н.С.Киняпина,
И.А.Кузнецова, А.М.Преображенская

НИИ прикладной математики и кибернетики
при ГГУ им. Н.И.Лобачевского

ПОДСИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗАМКНУТЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Рассмотрен класс типовых моделей, описывающих колебания металлорежущих станков с учетом динамики процесса резания металлов. Приведена методика идентификации параметров указанных математических моделей по экспериментальным данным. Описаны структура и функциональные особенности подсистемы.

Построение математической модели замкнутой динамической системы станка (ЗДСС) относится к одному из наиболее ответственных этапов разработки методов расчета металлорежущих станков на собственные и вынужденные колебания, виброустойчивость и решения задач анализа их динамического качества и оптимизации. При этом, как правило, в силу определенной условности задания жесткости в стыках и коэффициентов демпфирования конструкции не следует надеяться на адекватность математической модели. В этом случае важно найти какой-либо реальный образец станка, получить на нем экспериментальные данные о собственных и вынужденных колебаниях, о предельных глубинах, на которых начинается возбуждение автоколебаний, и попытаться так откорректировать параметры модели, чтобы расчетные данные были близки к экспериментальным. Это довольно сложная задача, так как динамическая система станка является сложной, многосвязной.

Разработанная подсистема является частью АСНИ "Атлант-2", решающей задачу автоматизации экспериментальных исследований динамических характеристик резания и других конструкций для идентификации математических моделей замкнутых динамических систем металлорежущих станков.

Математическая модель ЗДСС [I] в классе изображений может быть записана в виде

$$(Mp^2+Np+R)q(p)+B_1\left\{\sum_{\nu=1}^{\tilde{z}}\left(\Gamma_\nu^{(1)}(p)-e^{-p\tau}\Gamma_\nu^{(2)}(p)\right)\right\}B_2 q(p)=\tilde{F}(p), \qquad (I)$$

где M, N, R – симметрические матрицы $(n \times n)$ (инерционных, диссипативных и жесткостных параметров упругой системы станка (УСС), B_1 и B_2 – матрицы преобразования $(n \times 6)$ и $(6 \times n)$ соответственно, $\Gamma_\nu^{(i)}(p)$, $i=1,2$ – матрицы (6×6) усредненных динамических характеристик многолезвийного процесса резания, $\tilde{z}$ – число режущих лезвий, $\tau = 1/n\tilde{z}$, n – число оборотов в минуту инструмента (детали), z – общее число лезвий, $q(p)=[q_1(p), q_2(p) \dots q_n(p)]^T$, $\tilde{F}=[\tilde{F}_1, \tilde{F}_2, \dots \tilde{F}_n]$ – векторы-столбцы обобщенных координат и сил.

В случае однолезвийной (токарной) обработки $\tilde{z}=z=1$, $\tau=1/n$.

Элементы матриц M, N, R являются функциями параметров конструкции станка, а матриц $\Gamma^{(1)}(p)$, $\Gamma^{(2)}(p)$ – функциями удельной силы резания K_{0ij} и постоянных времени стружкообразования T_{zij} инерционных T'_{ij} и диссипативных T''_{ij} свойств процесса резания.

Задача идентификации параметров замкнутой динамической системы станка сводится к идентификации параметров этой математической модели по экспериментальным данным. В качестве целевых функций, по которым осуществляется идентификация, выступают собственные частоты, резонансные амплитуды колебаний и виброустойчивость станка. Указанные критерии качества, как указывалось выше, являются противоречивыми в силу связности системы. Поэтому задача идентификации становится как многокритериальная, т.е. ведется поиск не одного глобального оптимума, а множества оптимальных по Парето решений.

Согласно разработанной методике процесс идентификации проводится в три этапа. На первом происходит отработка чувствительных, инерционных и жесткостных параметров консервативной системы $N=\tilde{F}=0$, $\Gamma^{(e)}=0$ путем минимизации рассогласования экспериментальных ω_i^* и расчетных значений ω_i низшего спектра собственных частот. Для этого рассчитываются собственные частоты и формы колебаний, находятся наиболее чувствительные параметры, формируются функции цели

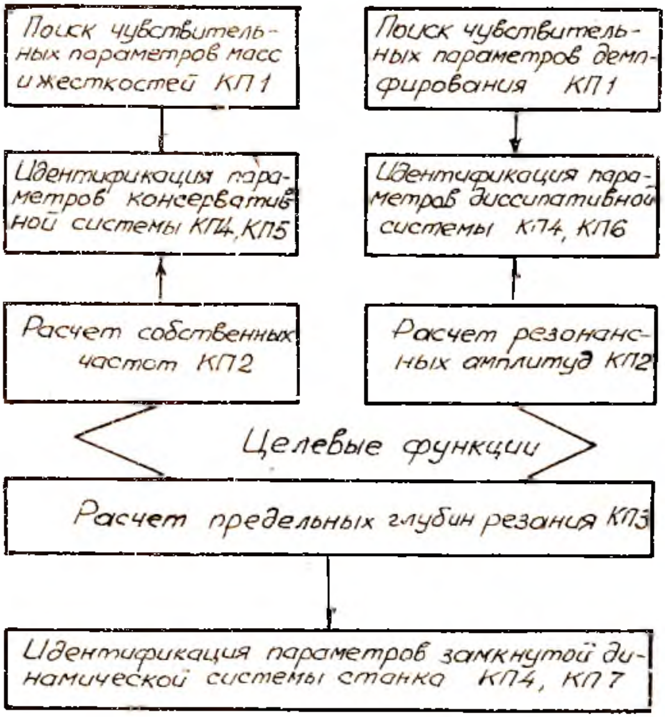
$$\Phi_i = \frac{|\omega_i - \omega_i^*|}{\omega_i^*}, \quad i=1, \dots n,$$

где ω_i^* -средние экспериментальные значения собственных частот. Границы изменения варьируемых параметров и ограничения на функции цели задают исходя из того, что расчетные значения частот лежат в интервале разброса их экспериментальных значений. Осуществляется стандартная процедура глобальной параметрической оптимизации методом ЛП-поиска.

На втором этапе отрабатываются диссипативные параметры n_{ij} по математической модели разомкнутой динамической упругой системы станка ($\Gamma^{(e)}=0$). Отработка ведется аналогичным образом, только в качестве функций цели выступают отклонения расчетных значений резонансных амплитуд колебаний A_i от средних экспериментальных значений резонансных амплитуд A_i^*. При этом требуется, чтобы расчетные значения лежали в интервале разброса их экспериментальных значений.

На третьем этапе происходит идентификация параметров динамических характеристик фрезерования по рассогласованию расчетных и экспериментальных значений предельных глубин фрезерования при разных параметрах, принадлежащих области допустимых значений технологических режимов резания производственной характеристики станка. В алгоритме идентификации предусмотрена на каждом последующем этапе возможность отработки всех параметров с последующей корректировкой собственных частот, форм колебаний и резонансных амплитуд колебаний.

Структурная схема программного обеспечения подсистемы идентификации замкнутой модели станка приведена на рисунке.



Р и с. Структурная схема программного обеспечения подсистемы

На структурной схеме обозначены следующие комплексы программ:

КП1 – поиска чувствительных параметров масс моментов инерции, жесткостей и демпфирований;

КП2 – расчета целевых функций спектра собственных частот и резонансных амплитуд колебаний;

КП3 – расчета целевых функций предельных глубин и поиска потенциально-неустойчивых форм колебаний УСС;

КП4 – многокритериальной оптимизации;

КП5 – идентификации элементов матриц масс и жесткостей консервативной модели станка по отклонениям расчетных собственных частот от экспериментальных;

КП6 – идентификации матрицы диссипации по отклонениям расчетных резонансных амплитуд от экспериментальных;

КП7 – идентификации параметров ДХР математической модели ЗДСС по отклонениям расчетных предельных глубин от экспериментальных.

В целом подсистема идентификации функционирует следующим образом. Экспериментальная информация о спектрах собственных частот, формах колебаний, вынужденных колебаниях и динамических характеристиках резания поступает с двух подсистем, каждая из которых работает автономно. Прежде чем проводить идентификацию математической модели задают ее параметры: элементы матриц M, N, R и $\Gamma^{(1)}, \Gamma^{(2)}$. Затем производят расчет функций чувствительности собственных частот и резонансных амплитуд колебаний и поиск чувствительных масс, жесткостей и демпфирований. В качестве варьируемых параметров (которые берутся из множества чувствительных) выступают либо параметры самой конструкции станка и технологические параметры резания, либо производные от них параметры $m_{ij}, n_{ij}, z_{ij}, K_{0ij}, T_{2ij}, \bar{T}_{ij}, \bar{\bar{T}}_{ij}$.

Для каждого варьируемого параметра α_j и целевой функции Φ_ν задаются границы их изменения $\alpha_j^{*} \leqslant \alpha_j \leqslant \alpha_j^{**}$, $\alpha_j \subset \Lambda$, $j=1,..,\ell$, $\Phi_\nu^{*} \leqslant \Phi_\nu \leqslant \Phi_\nu^{**}$, $\Phi_\nu \subset D$, $\nu=1 \ldots z$. Затем с помощью комплекса программ многопараметрической, многокритериальной оптимизации методом ЛП-поиска [2] осуществляется последовательная идентификация параметров консервативной, диссипативной и замкнутой динамической системы станка.

Отладка всего комплекса программ проводилась при идентификации параметров математической модели вертикально-фрезерного станка 6Д12 связанной с расчетом его виброустойчивости.

Библиографический список

1. Городецкий Ю.И. Создание математических моделей сложных систем в станкостроении //Автоматизация проектирования. М.: Машиностроение, 1986. Вып. 1. С. 203-220.

2. Соболь И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1981. 110 с.

УДК 681.3

Е.Я.Карповский, Е.А.Бекетова

Одесский институт народного хозяйства

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОГРАММ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Обоснован подход, предусматривающий возможность автоматизации имитационных моделей и дана оценка качества их программ. Рассмотрены принципы построения и архитектура автоматизированной системы MIM.

Переход на индустриальные методы разработки, производства и сопровождения программной продукции для различных приложений вызывает необходимость систематической оценки качества. Номенклатура показателей качества для каждой группы программных средств (ПС) устанавливается в соответствии с назначением ПС (системные ПС, прикладные программы для научных исследований и др.). Поскольку имитационное моделирование широко используется для исследования сложных систем любой природы, то единых критериев оценки качества программ имитационных моделей (ПИМ) в настоящее время нет. К ним применяют такие же подходы, как к обычному программному обеспечению. Однако ПИМ имеют ряд особенностей, не позволяющих переносить механически стандартные методы.

10-5072