
МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫМ СТЕНДОМ

Р.В. Дубровский

Кафедра технологии машиностроения,
металлорежущих станков и инструментов
Российский университет дружбы народов
Ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Описана методика проектирования системы автоматического управления. Описан пример применения данной методики по созданию системы автоматического управления на стенде.

Ключевые слова: жесткость, затухание колебаний, частота, упругая система, испытательный стенд.

Потребности современного общества в условиях научно-технического прогресса формируют все более высокие требования к изделиям машиностроительной отрасли. В настоящее время развитие современной техники подошло вплотную к рубежу, который условно называют веком нанотехнологий. С помощью прецизионных станков можно обеспечить точность размеров порядка $\pm(10\dots 1)$ мкм и шероховатость поверхности $0,08\dots 0,032$ мкм, однако необходимо выходить на уровень отклонения размеров $\pm(0,1\dots 0,001)$ мкм и шероховатость поверхности $0,0016\dots 0,00032$ мкм с еще меньшими отклонениями и показателями шероховатости поверхности. Речь идет не о единичных, уникальных изделиях, а о изделиях массового и серийного производства, таких как диски памяти, металлические зеркала для лазеров и т.п.

Проблемы изготовления изделий с более высокими точностными характеристиками решаются различными методами — за счет применения новых материалов как самих изделий, так и режущего инструмента либо за счет более высоких требований к изготовлению деталей и сборки станков. Данные методы не позволяют решить проблему в целом. Дело в том, что какой бы высокой точностью такое оборудование ни обладало, при воздействии на него различных возмущающих воздействий стабильность точности нарушается. Кроме того, в процессе эксплуатации даже очень точных станков их выходные параметры ухудшаются под действием различных процессов. С другой стороны, изготовление и сборка станка с высокой точностью не всегда возможны и экономически оправданы.

Более перспективные методы решения проблемы точностной надежности станков заключаются в повышении точности выходных параметров станка за счет программной коррекции исполнительных движений. Бурное развитие и широкое внедрение электронной вычислительной техники позволяет более эффективно решать данную проблему.

При анализе и классификации программного метода коррекции погрешностей металлорежущих станков с ЧПУ наиболее плодотворным является информационный подход.

По наличию дополнительных потоков информации все системы автоматического управления, программно корректирующие погрешности станка, можно разделить на три группы: 1) системы, использующие априорную информацию о погрешностях станка с ЧПУ; 2) системы, использующие текущую информацию о погрешностях этого станка, получаемую в процессе его функционирования с помощью обратных связей; 3) комбинированные системы, использующие признаки первой и второй групп.

Более эффективными системами являются комбинированные системы. Реализация данных систем связана с проблемой математической формализации системы станка и создания обратных связей с минимальным запаздыванием информационного воздействия.

Рассмотрим этапы и методику создания комбинированных систем.

Первый этап — математическая формализация рассматриваемого оборудования. Для этого используются блоки концентрации масс со связями в виде демпфирующих элементов и связями отображающих жесткости между данными массами и силами воздействующими на них. По таким принципиальными схемам строятся дифференциальные уравнения, система которых и является математической моделью рассматриваемого объекта.

Второй этап на пути построения САУ — моделирование данной математической модели объекта при помощи различных математических методов и с использованием электронной вычислительной техники. На данном этапе необходимы данные статических и динамических исследований узла оборудования, работу которого планируется корректировать (жесткость, демпфирование и т.п.).

Третий этап — создание измерительной системы. Проводится анализ возможностей измерительной аппаратуры (датчиков и приборов, регистрирующих показания датчиков), а также определение точек, в которых необходимо проводить измерения для получения более полной картины колебаний и перемещений рабочих органов станка.

Далее необходимо подтвердить результаты математического моделирования экспериментальными данными измерительной системы. В случае неподтверждения результатов моделирования экспериментальными исследованиями необходимо доработать математическую модель объекта.

Если же результаты моделирования подтверждаются, то следующий — пятый этап — разработка корректирующей системы.

По данной методике проводится разработка САУ для станка на основе стола заточного станка в моей кандидатской диссертации.

Одним из важных звеньев станка является его стол, так как на нем крепится деталь и, следовательно, прямолинейность, плавность перемещения и точность его позиционирования непосредственно влияет на качество обработки детали.

Рассмотрим стол заточного станка. Стол является достаточно массивным и жестким звеном динамической системы станка, масса более 100 кг. Так как центр жесткости находится в плоскости направляющих, при нагружении стола силой резания возникает крутящий момент, что вызывает, кроме линейного отжатия, поворот стола относительно центра жесткости.

Колебания динамической модели рабочего стола станка можно описать следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} m\ddot{x} + m\ddot{\phi}_{xz}l_3 + H_x\dot{x} + c_x x = P_x \cos(\omega t), \\ m\ddot{y} + m\ddot{\phi}_{yz} \frac{l_4}{2} + H_y\dot{y} + c_y y = P_y \cos(\omega t), \\ m\ddot{z} + m\ddot{\phi}_{yz} \frac{l_4}{2} + H_z\dot{z} + c_z z = P_z \cos(\omega t); \\ J_{yz}\ddot{\phi}_{yz} + m\ddot{y}l_3 + m\ddot{z} \frac{l_4}{2} + H_{yz}\dot{\phi}_{yz} + c_{yz}\phi_{yz} = \left(P_y \frac{l_4}{2} - P_z l_2 \right) \cos(\omega t), \\ -J_{yz}\ddot{\phi}_{xz} + m\ddot{x}l_2 + H_{xz}\dot{\phi}_{xz} + c_{xz}\phi_{xz} = (-P_z l_1 + 2P_x) \cos(\omega t), \end{cases} \quad (1)$$

где m — приведенная масса стола; $H_x, H_y, H_z, H_{yz}, H_{xz}$ — демпфирование; $c_x, c_y, c_z, c_{xz}, c_{yz}$ — жесткость; J_{yz} — момент вращения относительно центра жесткости; x, y, z — линейные перемещения, ϕ_{yz}, ϕ_{xz} — угловые перемещения; P_x, P_y, P_z — проекции силы резания.

Таким образом, решая систему уравнений, можно построить соответственно компьютерную имитацию записи колебаний и АФЧХ стола.

Для решения математической модели станка необходимо проведение исследований для определения его динамических характеристик, таких как жесткость и демпфирование.

Моделирование осуществляется с использованием модифицированного метода Ньютона.

Измерительная система создана на основе двух пьезоэлектрических акселерометров КД-35, немецкого интегрирующего усилителя модели 00 028 фирмы VEB ROBOTRON-MESSELEKTRONIK, узкополосного фильтра 01 013 той же фирмы (диапазон частот от 0,2 Гц до 20 кГц) и аналогово-цифровой платы L-Card ADC/DAC L-783, встроенной в ПК.

Эксперименты проводились с двумя вариантами расположения датчиков на колонне станка и на обрабатываемой детали (как показано на рис. 1) без процесса резания и с процессом резания. Частота вращения шпинделя при экспериментах 3150 об/мин и 6000 об/мин.

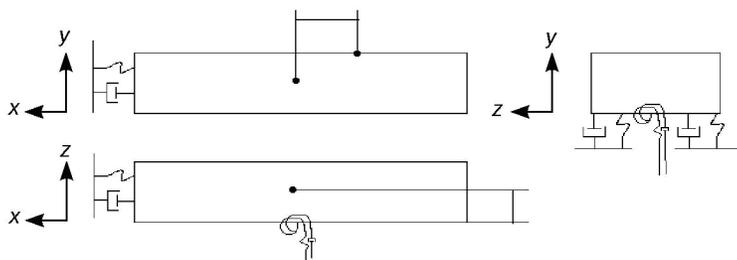


Рис. 1. Расчетная схема динамической модели «рабочий стол»

Интервал измерения 2 с был выбран в связи с тем, что при таком интервале проводились предыдущие эксперименты. Чтобы получить больше данных для оценки колебаний при врезании, была выбрана частота опроса 0,000125 с — это максимальная частота, определяемая настройками АЦП для данного интервала опроса. Настройки усилителя были установлены для виброперемещения $\xi = 0,1$ мм и коэффициент усиления 3,2. Фильтр работал в режиме заградительного полосового фильтра колебаний с частотой 52 Гц для экспериментов проводимых на частоте вращения шпинделя 3150 об/мин, и колебаний частотой 100 Гц для экспериментов проводимых на частоте вращения шпинделя 6000 об/мин.

Сигнал с датчиков через интегрирующий усилитель модели 00 028 фирмы VEB ROBOTRON-MESSELEKTRONIK, с коэффициентом усиления ($\xi = 0,1$ мм · 10) и узкополосный фильтр 01 013 той же фирмы (диапазон частот от 0,2 Гц до 20 кГц) подавался на вход аналогово-цифровой платы L-Card ADC/DAC L-783, встроенной в персональный компьютер, где он регистрировался и записывался в цифровом виде.

Проводились однофакторные эксперименты, изменялась частота вращения шпинделя.

На стенде частота вращения шпинделя принимала два значения — 6000 об/мин и 3150 об/мин. При эксперименте проводилась фильтрация частот колебаний, вызываемых вследствие вращения шпинделя.

Дальнейшая цифровая обработка проводилась в математическом пакете программ MatLab 6.1.

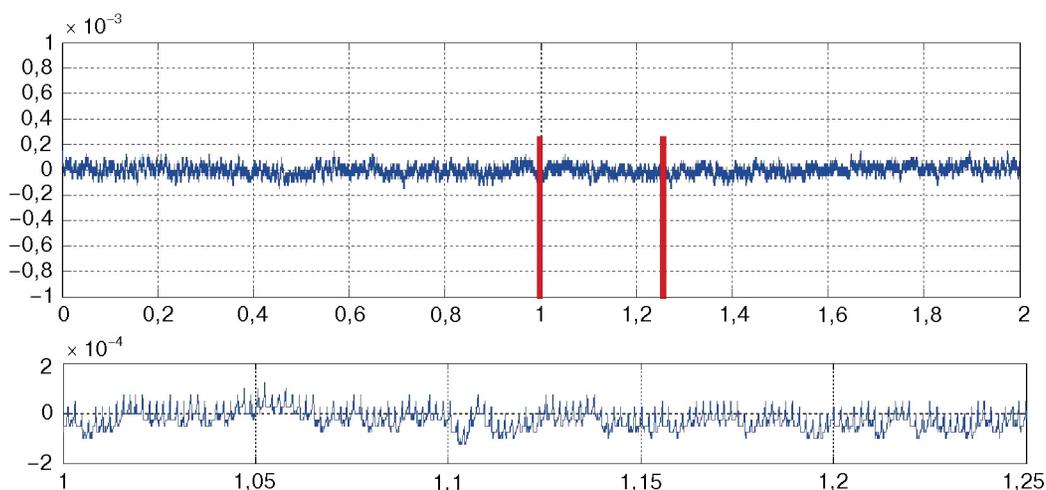


Рис. 2. Пример полученных результатов
(датчик расположен на детали, частота вращения шпинделя
3150 об/мин, холостой ход)

На основании полученных данных экспериментов в среде MatLab построены спектры сигналов.

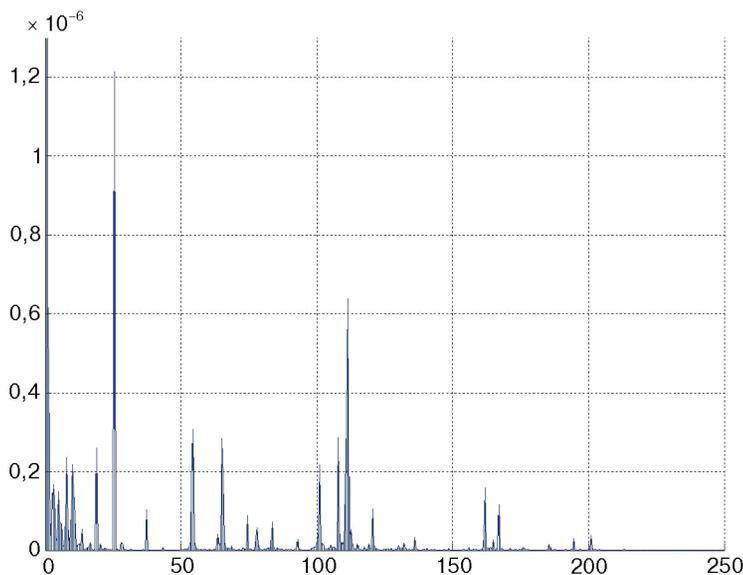


Рис. 3. Спектр сигнала полученного с датчика расположен на детали, частота вращения шпинделя 3150 об/мин, холостой ход

В данный момент проводится подтверждение результатов моделирования экспериментальными данными и осуществляется подготовка к проектированию корректирующей системы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Позняк Г.Г., Rogov В.А. Теоретические основы балансировки патронов и шпинделей быстроходных металлорежущих станков // Технология машиностроения. — 2003. — № 2. — С. 41—44.
- [2] Лурье Б., Энрайт П. Классические методы автоматического управления / ВHV-СПб — 2004.
- [3] Никулин Е.В. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем / ВHV-СПб — 2004.

DESIGN TECHNIQUE SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL TENT-BED TEST

R.V. Dubrovskiy

Department of technology of engineer,
metal-cutting machine-tools and instruments
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

A design technique system of automatic control is presented. And the example of application of this method is described on creation of the system of automatic control on a stand.

Key words: rigidity, attenuation of fluctuations, frequency, elastic system, the test bed.