

Министерство образования и науки Украины
Одесский национальный политехнический университет

Труды
ОДЕССКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный и производственно-практический
сборник

Вып. 4 (16). 2001

Одесса

Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. — Одесса, 2001. — Вып. 4 (16). — 241 с. — Яз. рус., укр., англ.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Малахов В.П. — гл. редактор, Кострова Г.В. — зам. гл. редактора, Плескач Л.О. — отв. секретарь, Баранов П.Е., Дащенко А.Ф., Дубковский В.А., Куценко А.Н., Пуйло Г.В., Алексеева Л.А., Ефрюшина Н.П., Кругляк Ю.А., Куншенко Б.В., Новохатский И.А., Бельтюков Е.А., Маковеев П.С., Продиус И.П., Соколенко В.Н., Харичков С.К., Гончарук Г.И.

Сборник основан в 1996 году, зарегистрирован в Министерстве Украины по делам печати и информации 5 декабря 1996 года, свидетельство серии КВ № 2380

Печатается по решению Ученого совета Одесского государственного политехнического университета, протокол № 3 от 27.11.2001 г.

Компьютерную версию опубликованных материалов можно получить по адресу:
<http://www.ospu.odessa.ua>

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ

<i>Л.В. Прокопович, Э.Н. Сапожникова.</i> Экологические аспекты использования природных минералов в литейном производстве.....	8
<i>Н.И. Замятин.</i> Методы формообразования оболочек на основе кварцевых суспензий.....	11
<i>С.Л. Зеленков, Я.А. Козловский.</i> Влияние микроструктуры керамической формы на качество отливок.....	14
<i>В.А. Вайсман.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния тел качения.....	16
<i>Г.А. Оборский.</i> Связь динамической устойчивости технологических систем с их надежностью.....	25
<i>В.Н. Тихенко.</i> Оценка влияния возмущений на следящий гидропривод с дополнительной силовой связью.....	29
<i>В.И. Скурихин, Л.С. Житецкий, Н.Г. Кващенко.</i> Метод управления гидравлическими процессами в магистральных нефтепроводах.....	31
<i>Г.Г. Грабовский.</i> Энергоресурсосберегающее автоматизированное управление прокаткой.....	35
<i>А.Г. Деревянченко, Л.В. Бовнегра, Д.М. Дороганчук.</i> Автоматическое диагностирование состояний режущих инструментов интегрированных производств.....	38

ЭНЕРГЕТИКА. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

<i>Н.А. Фридман, М.В. Максимов, О.В. Маслов.</i> Анализ эффективности эксплуатации АЭС.....	42
<i>В.А. Демченко, В.Ф. Ложечников.</i> Цифровое многомерное управление участком питания парогенераторов ПГВ-1000 энергоблока АЭС с ВВЭР.....	45
<i>А.Х. Горелик, М.А. Дуэль, В.А. Орловский.</i> Состояние, реконструкция и развитие систем управления энергоблоками ТЭС и АЭС.....	49
<i>Т.Л. Дуэль.</i> Оценка эффективности АСУ ТП энергоблоком.....	56
<i>В.М. Окуненко.</i> Експертна система в управлінні теплоенергетичними об'єктами.....	60
<i>Ю.М. Ковриго, О.В. Корнієнко.</i> Концепція створення динамічних тренажерів для підготовки персоналу енергопідприємств.....	63
<i>А.О. Лозинський, Я.С. Паранчук, Ю.Р. Гайдучок.</i> Розрахунок оптимальних уставок регулятора потужності ДСП методом генетичного алгоритму.....	67
<i>О.А. Андрищенко, А.А. Бойко.</i> Исследование режимов работы системы автоматического симметрирования токов статора асинхронного двигателя.....	70

Воспользовавшись полученными выражениями для σ_x и σ_y , построив $\frac{d\tau_{\max}}{dz}$ и приравняв эту производную нулю, получим уравнение для нахождения экстремальной точки.

Литература

1. Лурье А.И. Теория упругости. — М.: Наука, 1970. — 940 с.
2. Ляв А. Математическая теория упругости. — М.-Л.: Гостехтеориздат, 1935. — 674 с.
3. Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Уравнения в частных производных математической физики. — М.: Высш. шк., 1970. — 712 с.
4. Шемякин Е.И. Введение в теорию упругости. — М.: Изд-во МГУ, 1993. — 96 с.
5. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 2. — М.: Наука, 1970. — 800 с.
6. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / Под ред. М. Абрамовича и И. Стигана. — М.: Наука, 1979. — 830 с.
7. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. — М.: Мир, 1989. — 510 с.
8. Lundberg G., Sjövall H. Stress and Deformation in Elastic Solids. Publ. № 4 / Inst. Th. of Elast., Chalmers University of Technology. — Gteborg, Sweden, 1958.
9. Fessler H., Ollertou E. Contact Stresses in toroids under radial loads // British J. Appl. Phys. — 1957. — Vol. 8. — P. 387.

Поступила в редакцию 11 октября 2001 г.

УДК 621.01

Г.А. Оборский, канд. техн. наук, проф., Одес.
нац. политехн. ун-т

СВЯЗЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИХ НАДЕЖНОСТЬЮ

Г.О. Оборський. Зв'язок динамічної тривалості технологічних систем з їх надійністю. Введено поняття надійності ТС за параметром "динамічна тривалість". Виведені залежності, що дозволяють кількісно оцінити даний параметр та рівень параметричної надійності ТС.

G.A. Oborsky. Dynamic stability of technological systems where applicable to their reliability. The concept of TS reliability by parameter of "dynamic stability" is entered. The dependences-deduced allow quantitatively to estimate the given parameter and the level of the TS parametrical reliability.

Долговременная точность обработки, обеспечивающая параметрическую надежность технологических систем (ТС), подвержена влиянию внешних факторов в большей степени, чем работоспособность оборудования. Динамические процессы (относительные колебания инструмента и детали, переходные процессы при пуске, торможении, врезании и др.) влияют на точность обработки не только непосредственно, искажая форму и микрогеометрию обработанной поверхности, но и опосредованно, повышая износ режущего инструмента и деталей оборудования. При этом, факторы возмущения динамической устойчивости ТС, как правило, носят случайный характер, поэтому для оценки колебаний приходится использовать методы статистической динамики.

В процессе функционирования в рамках ТС действуют случайные процессы разной скорости, в частности, быстропротекающие (колебания припуска), средней скорости (износ инструмента, тепловые деформации), а также медленно протекающие (износ направляющих станка).

Параметрическая надежность определяется, в основном, процессами первых двух групп, но вместе с тем, действием этих же процессов обусловлены колебательные процессы, снижающие динамическую устойчивость ТС.

Для анализа динамического состояния ТС рассмотрим уравнения движения замкнутой динамической системы станка с одной степенью свободы [1]

$$\begin{aligned} m\ddot{y} + b\dot{y} + cy &= k_1P, \\ T_p\dot{P} + P &= -k_2k_p y, \end{aligned} \quad (1)$$

где y — перемещение режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности;

P — главная составляющая силы резания;

m — приведенная масса упругой системы;

b — коэффициент демпфирования (диссипации) упругой системы;

c — жесткость упругой системы в направлении действия главной составляющей силы резания;

T_p — постоянная времени стружкообразования, $T_p \approx a_1/V$;

a_1 — толщина стружки;

V — скорость резания;

k_p — коэффициент резания, $k_p = kd$, k — удельная сила резания, d — ширина стружки;

k_1, k_2 — коэффициенты, зависящие от ориентации силы резания относительно главных осей жесткости упругой системы.

Для анализа критерия устойчивости динамической системы рационально, используя значение собственной частоты упругой системы $\omega_1 = \sqrt{c/m}$, перейти к безразмерным параметрам:

— диссипации $K = \frac{b}{m\omega_1}$;

— времени стружкообразования $\theta = \omega_1 T_p$;

— связности упругой системы станка с процессом резания $\gamma = \frac{k_1 k_2 k_p}{c}$.

При переходе к безразмерному времени $\tau = \omega_1 t$ уравнения (1) примут вид

$$\begin{aligned} m\omega_1^2 \frac{d^2 y}{d\tau^2} + b\omega_1 \frac{dy}{d\tau} + cy &= k_1 P, \\ T_p\omega_1 \frac{dP}{d\tau} + P &= -k_2 k_p y. \end{aligned}$$

Разделив первое из этих уравнений на $m\omega_1^2$, имеем

$$\ddot{y} + \frac{b}{m\omega_1} \dot{y} + \frac{c}{m\omega_1^2} y = \frac{k_1}{m\omega_1^2} P,$$

или с учетом перехода к безразмерным параметрам

$$\ddot{y} + K\dot{y} + y = \frac{k_1}{c} P,$$

$$\theta\dot{P} + P = -k_2 k_p y.$$

После соответствующих подстановок и преобразований

$$\theta\ddot{y} + \theta K\dot{y} + \theta y + \ddot{y} + K\dot{y} + y = -\frac{k_2 k_1 k_p}{c} y$$

или

$$\theta\ddot{y} + (1 + \theta K)\dot{y} + (\theta + K)y + (1 + \gamma)y = 0.$$

Обозначим $a_0 = \theta$; $a_1 = 1 + \theta K$; $a_2 = \theta + K$; $a_3 = 1 + \gamma$.

Заменив оператор дифференцирования по времени переменной z , получим характеристическое уравнение

$$a_0 z^3 + a_1 z^2 + a_2 z + a_3 = 0.$$

Устойчивость решений данного характеристического уравнения, в соответствии с критерием Рауса-Гурвица, который определяет область динамической устойчивости линейной системы, наступит в случае, когда $a_0 > 0$, $a_1 > 0$, $a_2 > 0$, $a_3 > 0$ и $a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$ [2], т.е.

$$(1 + \theta K)(\theta + K) - \theta(1 + \gamma) > 0,$$

откуда

$$\gamma < K(\theta + \theta^{-1} + K). \quad (2)$$

Правую часть неравенства (2) обозначим через γ_0 — граничное значение коэффициента связанности упругой системы станка с процессом резания, при этом $\Delta\gamma = \gamma_0 - \gamma$ — запас устойчивости динамической системы станка.

Примем в качестве критерия динамического состояния ТС отношение амплитуды вынужденных колебаний при резании A_p к амплитуде колебаний при холостом ходе A_{xx} .

Очевидно, что чем больше отличается A_p от A_{xx} , тем ниже уровень динамической устойчивости системы и тем ближе она находится к своему предельному состоянию (с точки зрения колебаний). Это можно представить как

$$\frac{A_p}{A_{xx}} = F\left(\frac{\gamma_0}{\gamma_0 - \gamma}\right) = F\left(\frac{1}{1 - \frac{\gamma}{\gamma_0}}\right). \quad (3)$$

Известно, что надежность — это качество, развернутое во времени. При анализе уравнения (3), учитывая, что $\gamma = k_p / c$, а γ_0 определяется уравнением (2), можно заключить, что изменение во времени отношения A_p / A_{xx} зависит от изменения величин истинного съема — a_1 и силы резания P , которые, в свою очередь, определяют параметрическую надежность ТС по точности, качеству поверхностного слоя и другим параметрам.

Таким образом, изменение отношения A_p / A_{xx} характеризует надежность ТС по параметру “динамическая устойчивость”, отказ ТС по этому параметру происходит, когда $\gamma = \gamma_0$, при этом A_p / A_{xx} стремится к бесконечности.

Запас динамической устойчивости $\Delta\gamma$, который может задаваться конструктором либо технологом на этапе проектирования, определяет допустимое значение величины $\left[\frac{A_p}{A_{xx}}\right]$.

Поскольку изменения во времени a_1 и P — случайные процессы, постольку и отношение A_p / A_{xx} изменяется во времени случайным образом, и для определения критерия надежности ТС по этому параметру корректно применять методы теории выбросов случайных процессов [3, 4]. Получив экспериментально либо расчетным путем (используя уравнение (3)) реализацию случайного процесса изменения во времени отношения A_p / A_{xx} , определяем число ее пересечений с линией тренда N , а затем находим

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_c} = \pi \frac{N}{t}, \quad (4)$$

где σ_c — дисперсия случайной функции $A_p / A_{xx} = f(t)$;

σ_v — дисперсия случайной скорости изменения значений A_p / A_{xx} .

Вероятность безотказной работы ТС по параметру динамической устойчивости определяется как

$$P(t) = \exp \left\{ \frac{c_1}{\beta} \left[\Phi \left(\frac{\varepsilon_1}{\sigma_c} - \beta t \right) - \Phi \frac{\varepsilon_1}{\sigma_c} \right] + \frac{c_2}{\beta} \left[\Phi \left(\frac{\varepsilon_2}{\sigma_c} - \beta t \right) - \Phi \frac{\varepsilon_2}{\sigma_c} \right] \right\}, \quad (5)$$

где $c_1 = \frac{\sigma_v}{\sigma_c} \varphi \left(\beta \frac{\sigma_v}{\sigma_c} \right) - \beta \left[\frac{1}{2} - \Phi \left(\beta \frac{\sigma_v}{\sigma_c} \right) \right]$;

$c_2 = c_1 + \beta$;

$\beta = \frac{A_0}{\sigma_c}$, A_0 — начальное значение величины A_p / A_{xx} ;

$\varphi(*)$ — плотность нормального распределения;

ε_1 и ε_2 — допустимые верхняя и нижняя границы отношения A_p / A_{xx} ;

$\Phi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ — интеграл вероятности, у которого $x_1 = \varepsilon_1 + B$ и $x_2 = \varepsilon_2 + B$, где B

определяет угол наклона тренда случайной функции $A_p / A_{xx} = f(t)$.

Уравнение (5) дает возможность определить вероятность безотказной работы ТС по параметру “динамическая устойчивость”. Несложно также определить и такие показатели надежности по этому параметру, как интенсивность отказов $\lambda(t)$, коэффициент готовности K_T и среднее время безотказной работы $T_{ср}$ [4]. Таким образом, появляется возможность прогнозировать обеспечение и управление надежностью технологических систем по параметру “динамическая устойчивость”.

Литература

1. Кудинов В.А. Динамика станков. — М.: Машиностроение, 1967. — 359 с.
2. Вибрации в технике: Справ. / Под ред. В.В. Болотина. Т. 1. — М.: Машиностроение, 1978. — 352 с.
3. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. — Л.: Судпромгиз, 1961. — 422 с.
4. Оборський Г.О. Моделювання та забезпечення надійності технічних систем і технологічних процесів. Навч. посіб. — Одеса: ОПУ, 1997. — 137 с.

Поступила в редакцию 1 октября 2001 г.