

технолога. Однак проблема с выставлением уставок защит и блокировок по отклонению уровня воды в ПГ сохраняется [2,3].

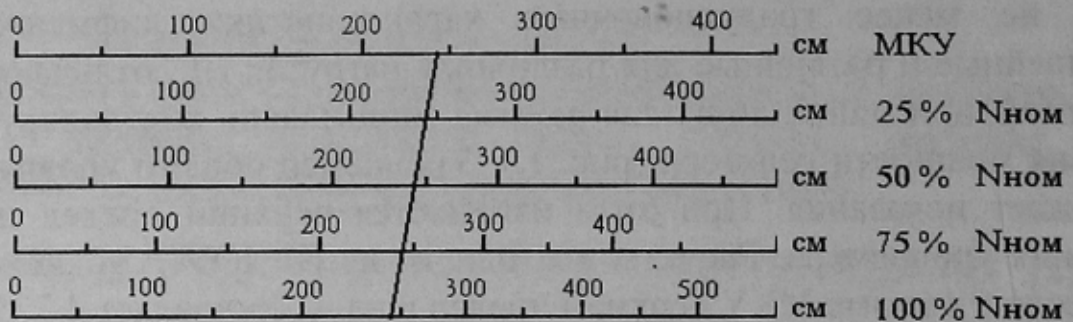


Рисунок 2 - Универсальная шкала уровнемера большой базы

Использование разработок авторов позволяет поддерживать нормированную влажность пара перед турбиной, увеличить мощность энергоблока, а также повысить надежность парогенератора за счет правильного выставления уставок блокировок и защит по отклонению уровня воды в ПГ.

Список источников

1. Демченко В.А. О точности измерения уровня воды в парогенераторах АЭС. // Теплоэнергетика, — 1999. — № 2. — С. 56 — 58.
2. Демченко В.А., Беглов К.В., Лянко Л.Д. Аналитическая оценка некоторых характеристик гидродинамики барабанных парогенераторов АЭС для расчета гидростатических уровнемеров // Холодильная техника и технология, ОГАХ, 2000. — Вып. 69. — С.68-71.
3. Демченко В.А., Лянко Л.Д. Расчет дифманометров-уровнемеров и действительного уровня воды в барабанных парогенераторах АЭС с ВВЭР.// Холодильная техника и технология, ОГАХ.- 2001.-Вып.71.- С. 68-71.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОРЕЗКИ ВОДОРАСТВОРИМЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ

Рогачёв А.И.,

Национальный технический университет “ Харьковский политехнический институт”

В процессе разрезания водорастворимых монокристаллов вращающейся хлопчатобумажной нитью на поверхности реза могут

возникать дефекты из-за отклонения нити от вертикального положения в плоскости, перпендикулярной к направлению реза, что связано с воздействием на неё различных возмущений. Это приводит к необходимости дополнительной шлифовки поверхности реза, снижающей выход готовой продукции. В связи с этим возникла задача оптимизации работы установки для порезки кристаллов с целью минимизации дефектов реза при минимизации энергозатрат, которая и рассматривается в данной статье.

Ранее в работе [1] было показано, что при некоторых допущениях процесс порезки кристалла нитью может быть описан известным уравнением колебаний струны, закреплённой в двух точках:

$$\frac{\partial^2 Q(x,t)}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 Q(x,t)}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где $a = T_0 / \rho$, T_0 – постоянная сила натяжения нити, ρ – линейная плотность нити, t – время, x – текущая координата по длине нити, $\theta(x,t)$ – функция отклонения нити в плоскости, перпендикулярной к плоскости реза. За точки “закрепления” нити А и В при этом принимаются оси верхнего и нижнего роликов, расстояние между которыми должно быть всегда больше максимального диаметра разрезаемого кристалла.

В колебательной системе вида (1) возникшее под действием какого-либо возмущения отклонение от исходного состояния порождает стоячую волну. Независимо от того, на каком участке нити возникла эта волна, требуется найти и реализовать такое управление, которое погасило бы эту волну за минимальное время. При этом затраты энергии должны быть сведены к минимуму. Поскольку к самой нити прикладывать воздействие невозможно, то его нужно передавать на неё косвенным образом через точки крепления А и В, т.е. через оси роликов, воздействуя на несущий кронштейн. Ограничимся случаем, когда воздействие прикладывается только в одном конце нити, в качестве которого выберем ось верхнего ролика (точка А), так как в нижней точке В расположена система смачивания нити и дополнительное воздействие в этой точке может нарушить работу этой системы. Тогда, если точку А принять

за начало координаты x , то $x(B)=l$, а $x(A)=0$. Следовательно, начальные и граничные условия примут вид:

$$Q(x,0) = Q_0(x), \quad \frac{\partial Q}{\partial t}(x,0) = \dot{Q}(x), \quad (2)$$

$$Q(l, \tau) = 0, \quad Q(0, \tau) = u(\tau) \quad (\tau \geq 0). \quad (3)$$

Будем считать, что затраты энергии на управление в каждый момент времени τ пропорциональны квадрату управляющего воздействия. Тогда за всё время успокоения нити $\tau = T$ эти затраты составят

$$q = \int_0^T u^2(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Задачу оптимального управления теперь можно поставить следующим образом: найти такое управление $u(\tau)$, приложенное к оси верхнего ролика, чтобы возникшие под воздействием внешних возмущений поперечные колебания нити полностью исчезли за минимально возможное время $\tau_{\min} = T$, причём затраты энергии q также должны быть минимальны. Подобная задача решалась в работе [2] для общего случая колебательной системы с распределёнными параметрами. Используя результаты этой работы, найдём решение указанной задачи для рассматриваемого объекта, не учитывая пока вращение нити вокруг роликов.

Решение уравнения (1) можно представить как сумму двух функций

$$Q(x, \tau) = Q_1(x, \tau) + Q_2(x, \tau), \quad (5)$$

где $Q_1(x, \tau)$ — это свободные колебания нити от ненулевых начальных условий, а $Q_2(x, \tau)$ — это вынужденные колебания от управления $u(\tau)$, которое и должно быть найдено. Вводя для упрощения записи подстановку

$$y = \frac{\pi x}{l},$$

запишем решение.

$$Q_1(y, \tau) = \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cos k\tau + \frac{1}{k} b_k \sin k\tau \right) \sin ky, \quad (6)$$

$$Q_2(y, \tau) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\tau} u(t) \sin k(\tau - t) \sin ky dt, \quad (7)$$

где

$$a_k = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} Q_1(y) \sin ky dy, \quad (8)$$

$$b_k = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} Q_2(y) \sin ky dy \quad (k = 1, 2, \dots). \quad (9)$$

Если потребовать, чтобы в конечный момент времени $\tau_{мин} = T$ было получено не только нулевое распределение амплитуд колебаний нити, но и нулевое распределение их скоростей, т.е. чтобы выполнялись условия

$$Q(y, T) = Q_1(y, T) + Q_2(y, T) = 0, \quad (10)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \tau}(y, T) = \frac{\partial Q_1}{\partial \tau}(y, T) + \frac{\partial Q_2}{\partial \tau}(y, T) = 0, \quad (11)$$

то из (6) и (7) после соответствующих преобразований получаем :

$$\int_0^T u(t) \sin kt dt = \frac{\pi}{2} a_k \quad (k = 1, 2, \dots), \quad (12)$$

$$\int_0^T u(t) \cos kt dt = -\frac{\pi}{2k} b_k \quad (k = 1, 2, \dots). \quad (13)$$

Найденная система равенств (12), (13) определяет условия полного успокоения нити, а задача нахождения соответствующего оптимального управления $u(t)$ эквивалентна задаче о разрешимости бесконечной проблемы моментов [2].

Прежде, чем переходить к поиску оптимального управления, попытаемся оценить нижнюю границу времени успокоения $\tau_{мин} = T$. Для этого воспользуемся следующими соображениями.

Скорость распространения стоячей волны, вызванной каким-либо возмущением, при заданных свойствах нити является величиной неизменной. Если эта скорость равна a , а длина нити между

роликами равна l , то время пробега этой волны от источника возмущения и обратно равна $t = 2l/a$. С учётом введенных для упрощения подстановок $\tau = at$ и $y = \pi x/l$ в новых координатах длина нити $l = \pi$, а время пробега двойной длины нити в относительных единицах $\tau = 2\pi$. Очевидно, что эта величина и определяет нижний предел времени, необходимого для полного успокоения системы из произвольного начального состояния. Если в верхние пределы интегралов в условиях (12), (13) подставить $T = 2\pi$, то этим условиям будет удовлетворять множество искомым управлений

$$u(\tau) = C + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \sin k\tau - \frac{b_k}{k} \cos k\tau \right), \quad (14)$$

где C – произвольная постоянная.

Так как любая функция $u(\tau)$ вида (14) приведёт нить в состояние равновесия, то константу C можно выбрать так, чтобы обеспечить выполнение какого-либо дополнительного условия. Если таким условием является условие минимизации потерь энергии, определяемых в виде функционала (4), то найти константу C можно путём стандартной процедуры поиска экстремума функции. Для этого представим выражение (14) в виде

$$u(\tau) = C + u_1(\tau) \quad (15)$$

и продифференцируем (4) по C , учитывая (15).

$$\frac{\partial q}{\partial C} = \frac{\partial}{\partial C} \int_0^T (C + u_1(\tau))^2 d\tau = \frac{\partial}{\partial C} \left[C^2 T + 2C \int_0^T u_1(\tau) d\tau + \int_0^T u_1^2(\tau) d\tau \right]. \quad (16)$$

Но при $T = 2\pi$

$$\int_0^{2\pi} u_1(\tau) d\tau = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \left(-\frac{b_k}{k} \cos k\tau + a_k \sin k\tau \right) d\tau = 0.$$

Поэтому из (16) вытекает, что минимум потерь энергии q будет иметь место при $C = 0$. Следовательно,

$$u_{onm}(\tau) = u_1(\tau) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} \left(-\frac{b_k}{k} \cos k\tau + a_k \sin k\tau \right). \quad (17)$$

Если теперь использовать выражения (8), (9), то u_{onm} можно выразить через начальные распределения амплитуд нити $Q_1(y)$ и их скоростей $Q_2(y)$:

$$u_{onm}(\tau) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \left(\int_0^y Q_2(t) dt \right) \cos ky dy \cos k\tau + \\ + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} Q_1(y) \sin ky dy \sin k\tau. \quad (18)$$

Полученное управление (18) минимизирует затраты энергии в соответствии с функционалом (4), обеспечивая минимальное время успокоения нити. Такая минимизация ограничивает среднее количество использованной энергии на управление за время $T = 2\pi$. Однако на отдельных интервалах времени величина $u(\tau)$ может выйти за пределы своего максимально допустимого значения. В этом случае в качестве дополнительного условия для нахождения константы C в выражении (14) следует выбрать условие

$$|u(\tau)| \leq u_{\max} \text{ при } 0 \leq \tau \leq 2\pi. \quad (19)$$

Решение подобной задачи рассмотрено в [2]. Но можно решать её и иначе, а именно: при невыполнении условия (19) следует увеличивать длительность времени успокоения $T > 2\pi$ до тех пор, пока это условие не станет выполняться. Затраты энергии при этом в общем случае возрастут. Если найденная при этом новая продолжительность времени успокоения будет удовлетворять требованиям технологического процесса, то подобное решение будет окончательным.

В частных случаях выражение для оптимального управления может быть значительно упрощено. Если $Q_2(x)$ - это импульс скорости амплитудой V_0 , приложенный равномерно ко всем точкам нити, а начальное распределение отклонений $Q_1(x)$ равно нулю, то

$$u_{opt} = \frac{1}{2} \int_0^{\tau} V_0 dx \quad (0 \leq \tau \leq T),$$

т.е. представляет собой линейную функцию, легко реализуемую при синтезе оптимального регулятора.

Расход энергии по критерию (4) легко определить путём обычного интегрирования, причём в качестве верхнего предела берётся минимальное время успокоения колебаний $T = 2\ell$, где ℓ - длина нити между осями роликов.

В рассматриваемой системе в отличие от задачи в [2], нить не остаётся неподвижно закреплённой между точками А и В, а перемещается с постоянной линейной скоростью V_n . Поэтому для того, чтобы управление $u(\tau)$, прикладываемое к одной из этих точек, обеспечивало эффективное управление, необходимо, чтобы скорость нити V_n была намного меньше, чем скорость распространения стоячей волны вдоль этой нити V_s .

Экспериментальные исследования, проведенные на реальной установке, показали, что оптимальной скоростью обращения нити, обеспечивающей наилучшее качество разреза, и в то же время, высокую производительность работы, является скорость $V_n = 5 \div 9$ м/сек. При увеличении этой скорости нить теряет устойчивость из-за собственной вибрации в плоскости, перпендикулярной направлению резания.

Также экспериментально было определено, что увеличение натяжения нити улучшает качество обработки. Однако, с другой стороны, оказалось, что натяжение нити с усилием более 12Н приводит к резкому уменьшению её срока службы из-за разрыва в месте склейки концов нити. Поэтому реальное натяжение F_n не должно превышать 10Н.

Для разрезания кристаллов использовалась хлопчатобумажная нить диаметром $0,7 \cdot 10^{-3}$ м с плотностью $0,4 \frac{г}{см^3}$. Учитывая, что длина нити между роликами составляет $l = 1$ м, определим скорость распространения колебаний вдоль нити.

$$a = \sqrt{\frac{F_n}{\rho_l}} = \sqrt{\frac{10}{1 \times 3,14 \times (0,35 \times 10^{-3})^2 \times 0,4 \times 10^3}} \approx 81,6 \text{ м/с}$$

Таким образом, даже при максимальной скорости обращения нити $V_n = 9$ м/с скорость распространения волны V_g в нити на порядок выше, а время полного успокоения колебаний составляет

$$t_{\text{мин}} = \frac{2l}{a} \approx 0,024 \text{ сек.}$$

За это время перемещение нити составит примерно $22 \cdot 10^{-2}$ м. Если колебание возникнет в той же точке, где будет приложено управление $u(t)$, то оно будет погашено ещё до попадания в область кристалла и за время $t_{\text{мин}}$ реального дефекта не возникнет.

При нахождении нити в контакте с кристаллом следует учитывать дополнительную силу сопротивления и решение задачи должно основываться уже на другом уравнении.

Список источников

1. Рогачёв А.И., Суздаль В.С., Абрамова Л.С. Исследование процесса возникновения дефектов при разрезании монокристаллов//Автоматика и приборостроение. Вестник ХПИ.-Харьков: Основа, 1990.-Вып.16.-№278.-С.11-13.
2. Бутковский А.Г. Методы управления системами с распределёнными параметрами.- М.:Наука.-1975.-568с.

ИТЕРАЦИОННО-ИНВЕРСНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ РОБАСТНОГО НАБЛЮДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Кортунов В.И., Дыбская И.Ю. Национальный аэрокосмический университете им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Восстановление возмущений в динамических системах или идентификация входных сигналов широко используется в теории управления [1], теории обработки сигналов и теории обратных задач [2], а множество практических приложений требуют эффективных методов решения задач восстановления входных сигналов (ВВС) в реальном масштабе времени [3].