

И. И. КАЛАПЫШИНА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СТАНКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СТЕКОЛ

Рассматривается динамика механизма для обработки оптических стекол. Представлены дифференциальные уравнения движения механизма. Для моделирования уравнений узла шлифовки оптических элементов в пакете MatLab применен редактор дифференциальных уравнений DEE.

Ключевые слова: оптические стекла, дифференциальное уравнение, автоматизированный анализ, имитационное моделирование.

Введение. Для изготовления оптических деталей наблюдательных приборов, фотографических и проекционных аппаратов используются разные типы и марки стекла, включая стекла для светофильтров и кварцевое стекло. Различные классы оптических систем требуют разной точности обработки поверхностей стекол. Оптические системы с дифракционно-ограниченным качеством изображения, которые используются, например, для космических и прецизионных телескопов, биноклей, микроскопов, требуют более высокого класса обработки, чем оптические системы с абберационно-ограниченным качеством изображений [1]. Так, например, при обработке оптических кристаллов, таких как германий, кремний, флюорит, оптическое производство обязано выдерживать уровень шероховатости поверхности не более 2,5 нм, а в некоторых кристаллах, например фтористом кальции, требования по шероховатости еще выше — 1,1 нм. Однако при изготовлении оптических стекол автоматизированный анализ качества поверхности не производится. В условиях производства проверка поверхностей осуществляется при помощи цеховых образцов различного качества, для этого требуется прервать процесс обработки, разорвать кинематическую схему, а затем ее восстановить. Такая технология увеличивает время изготовления одного элемента и повышает вероятность брака. Поэтому целью настоящей работы является поиск метода, который позволит в процессе обработки оценивать текущее качество поверхности при помощи аналитических функций.

Кинематическая схема. На рис. 1, *а* приведено схематичное изображение шлифовального станка, *б* — кинематическая схема узла шлифовки оптического стекла.

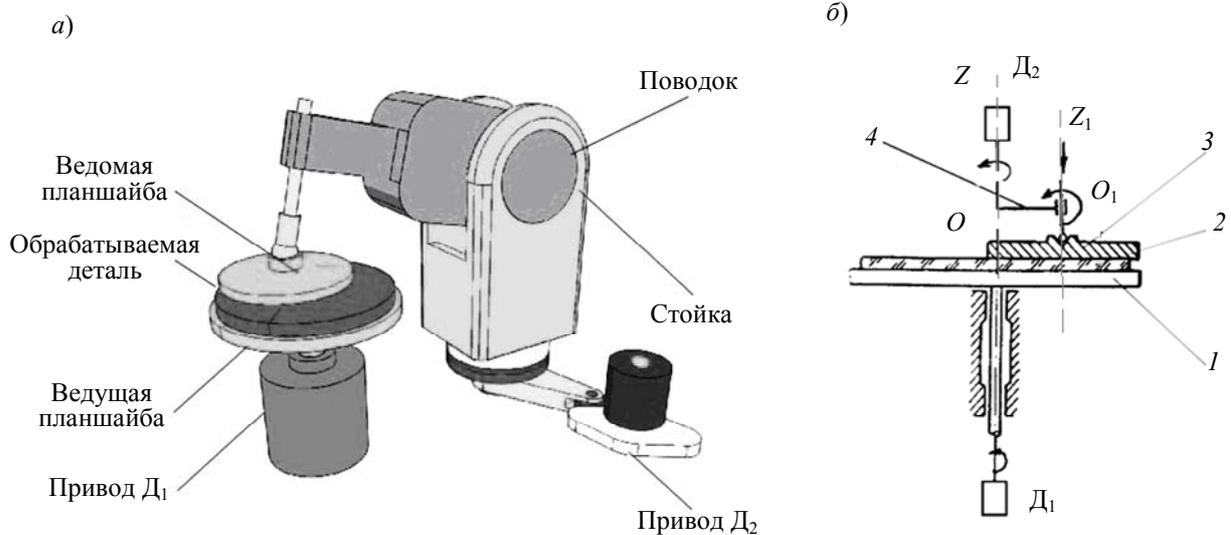


Рис. 1

Ведущее звено механизма — нижняя планшайба (ведущая) 1, на ней размещается обрабатываемая деталь 2. Верхнее звено — ведомая планшайба 3, или абразивный инструмент, он вращается относительно оси OZ за счет двигателя D_2 . Также планшайба совершает дополнительный поворот вокруг собственной оси O_1Z_1 за счет сил смешанного трения, которые возникают в области контакта. Поводок 4 состоит из Г-образного стержня, на его вход подается вращательный момент от электродвигателя D_2 , на выходе жестко закреплен полый цилиндр, вертикальная ось которого совмещена с валом инструмента. Электропривод D_1 вращает ведущее звено и закрепленную на нем жестко, при помощи смол, обрабатываемую деталь (она может находиться в закрепленном положении, а также получать дополнительный вращательный момент от ведущей планшайбы 1). Под действием электропривода D_2 верхняя планшайба вместе с поступающей к ней эмульсией, содержащей абразив, вращается вокруг оси поводка OZ [2]. В результате процессов трения между обрабатываемой поверхностью и ведомой планшайбой обрабатываемая деталь 3 вращается вокруг собственной оси O_1Z_1 . Также она получает дополнительное вращение за счет ведущей планшайбы 1 и вязкой эмульсии между ними.

Структура дифференциальных уравнений движения узла шлифовки. При составлении дифференциальных уравнений смешанное трение имитировалось с помощью демпфирующих и упругих элементов [3]. Кинематическая схема была интерпретирована в модель, ведущая и ведомая планшайбы, а также обрабатываемая деталь которой обладают свойствами идеальных тел, инерцией и массой (для упрощения они названы: первое, третье и второе тело соответственно). Исключены из расчета движущий момент от D_2 и вращение ведомой планшайбы относительно оси OZ . За обобщенные координаты в уравнениях приняты возможные перемещения относительно координатных осей для каждого тела. Между телами размещены элементы, содержащие упругую составляющую и вязкое сопротивление, которое характеризуется коэффициентом демпфирования [3]. Дифференциальные уравнения, описывающие динамику узла шлифовки, станка для обработки оптических стекол, представляют собой систему уравнений первого порядка:

$$\left. \begin{aligned} J_1 \ddot{q}_1 &= f(t) + M_{dv} - a\dot{q}_1 - kq_1, \\ J_2 \ddot{q}_2 &= f(t) - a(\dot{q}_2 - \dot{q}_1) - k(q_2 - q_1), \\ J_3 \ddot{q}_3 &= f(t) - a(\dot{q}_3 - \dot{q}_2) - k(q_3 - q_2), \\ m\ddot{q}_4 &= f(t) + F_{\text{трв}} - F_{\text{тр}}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где J_n — момент инерции n -го тела; M_{dv} — движущий момент двигателя D_1 ; $q_1 = \varphi_1^{OZ}$ — вращение ведущей планшайбы относительно оси OZ ; $q_2 = \varphi_2^{OZ}$ — вращение обрабатываемой детали относительно оси OZ ; $q_3 = \varphi_3^{O_1Z_1}$ — вращение ведомой планшайбы относительно оси O_1Z_1 ; $q_4 = x_2$ — перемещение обрабатываемой детали; q_n — обобщенная координата n -го тела, $f(t)$ — внешнее воздействие, $F_{\text{трв}}$ — сила вязкого трения, $F_{\text{тр}}$ — сила сухого трения.

Для моделирования уравнений движения узла шлифовки оптических элементов в пакете MatLab применен редактор дифференциальных уравнений DEE, схема моделирования представлена на рис. 2 [4], для ее построения были введены соответствующие „машинные“ переменные:

$$\left. \begin{aligned} \dot{q}_1 &= x(1); & q_1 &= x(2); \\ \dot{q}_2 &= x(3); & q_2 &= x(4); \\ \dot{q}_3 &= x(5); & q_3 &= x(6); \\ \dot{q}_4 &= x(7); & q_4 &= x(8); \\ u(1) &= f(t) = A_0 \sin(\omega t + \delta). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В результате замены переменных система уравнений (1) приобрела следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{q}_1 &= (u(1) + M_{dv} - ax(1) - kx(2)) / J_1, \\ \ddot{q}_2 &= (u(1) - a(x(3) - x(1)) - k(x(4) - x(2))) / J_2, \\ J_3 \ddot{q}_3 &= (u(1) - a(x(5) - x(3)) - k(x(6) - x(4))) / J_3, \\ m\ddot{q}_4 &= u(1) + F_{\text{трв}} - F_{\text{тр}}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

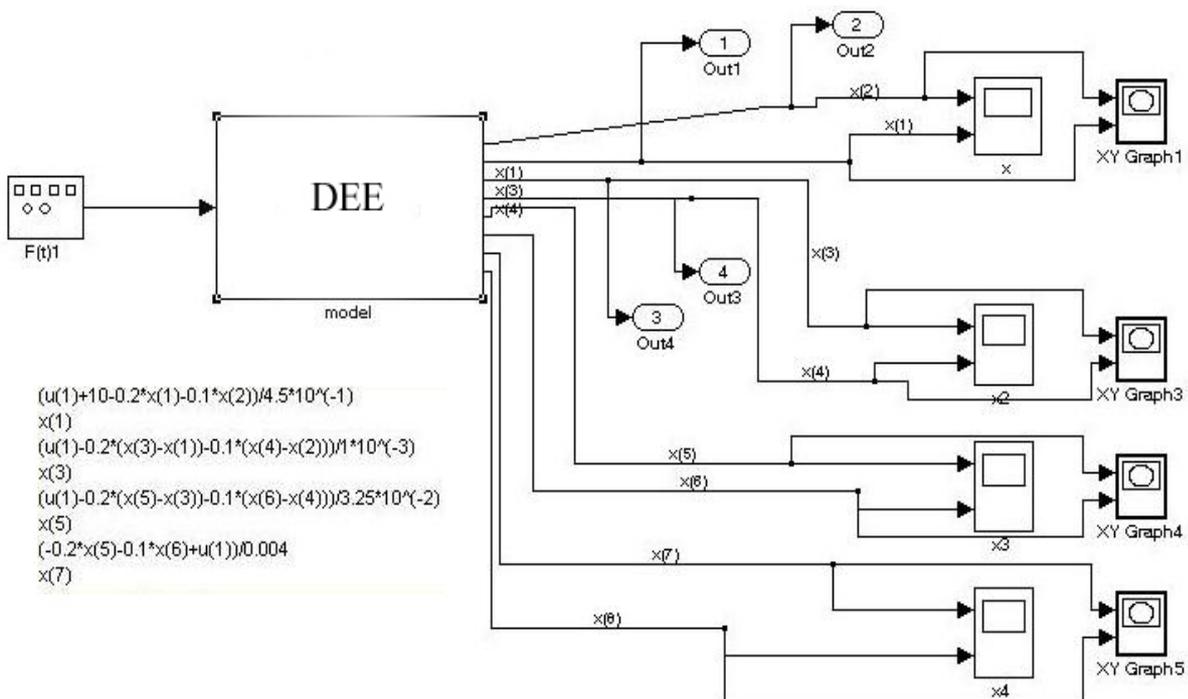
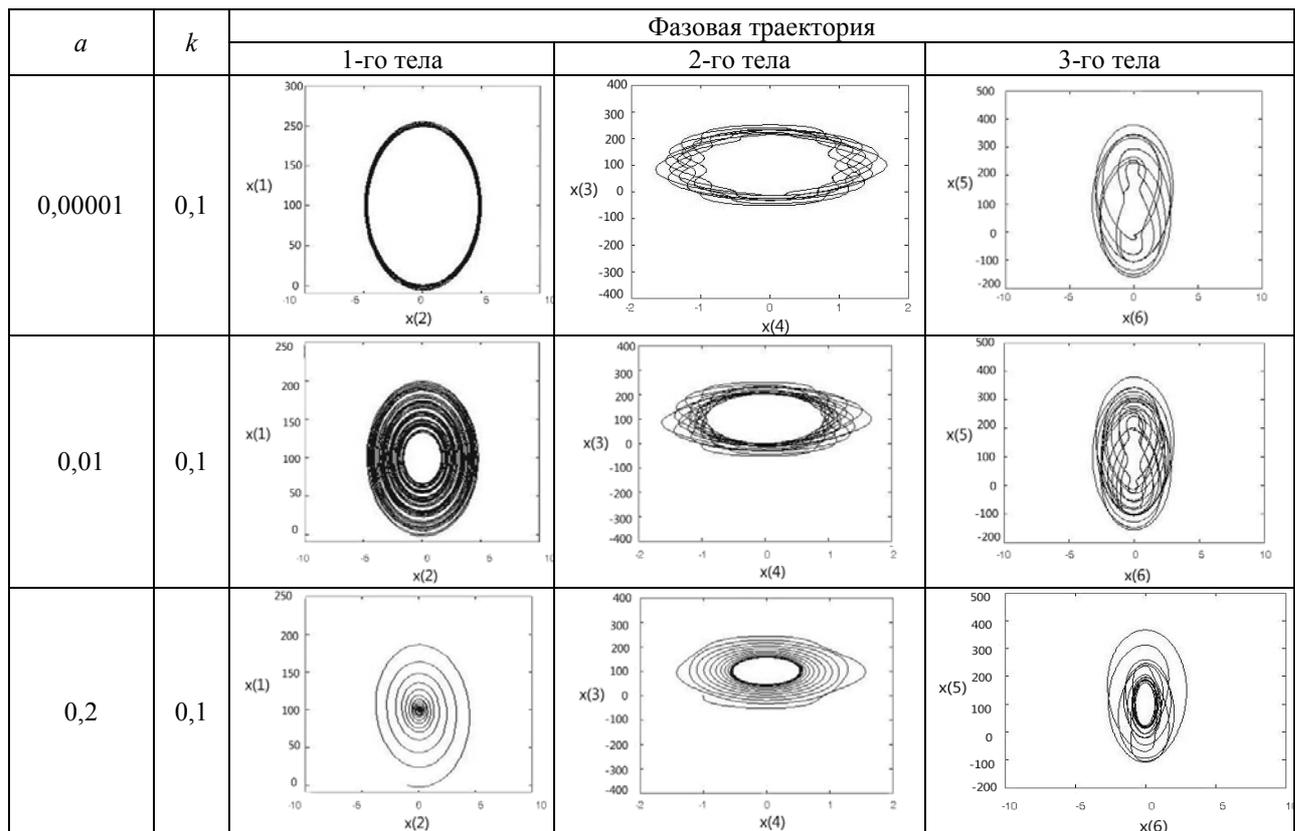


Рис. 2

Результаты решения уравнений в виде фазовых пространств представлены в таблице.



Заключение. Решение системы дифференциальных уравнений (1) позволило наглядно представить эволюцию поведения скоростей ведущей планшайбы, обрабатываемой детали и ведомой планшайбы при изменении коэффициента демпфирования и упругой составляющей, а следовательно, и параметров контактного взаимодействия между телами. В процессе моделирования динамика системы изменялась от устойчивого состояния, когда фазовые пространства подсистем представляли собой центр, до неустойчивого, когда фазовые пространства подсистем видоизменялись в устойчивый, а затем в неустойчивый фокусы под воздействием внешней синусоидальной нагрузки. Таким образом формируется база данных теоретических и практических результатов, использование которой позволит прогнозировать состояния поверхности в режиме реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирилловский В. К. Современные оптические исследования и измерения. СПб: Лань, 2010. 303 с.
2. Горбач В. Л. Кинематика рабочих органов оптических шлифовально-полировальных станков. М., 1958. 110 с.
3. Мусалимов В. М., Валетов В. А. Динамика фрикционного взаимодействия. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. 191 с.
4. Лазарев Ю. В. Моделирование в системе Matlab. М., 2000. 511 с.

Сведения об авторе

Ирина Ивановна Калапышина

— аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра мехатроники; E-mail: weir521@yandex.ru

Рекомендована кафедрой мехатроники

Поступила в редакцию 29.02.12 г.