

Разработка и моделирование автоматической системы управления микроперемещением привода для задач позиционирования лазерного оборудования

В. А. Черкасова

Технический университет Ильменау
Ильменау, Федеративная Республика Германия
valeriya.cherkasova@tu-ilmenau.de

О. И. Брикова

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
kapulinaolga@gmail.com

Аннотация. Предложены результаты разработки системы автоматического управления линейным приводом для задач прецизионного позиционирования лазерного оборудования. В ходе проведения исследования решены задачи: математическое и компьютерное моделирование механических процессов в приводе и анализ влияния физических сил на механику установленного лазера; математическое и компьютерное моделирование нелинейного трения и разработка автоматической системы управления микропозиционированием лазера.

Ключевые слова: микропозиционирование; микроперемещение; механический объект; лазер; автоматическая система управления; нелинейная модель; сухое трение

I. ВВЕДЕНИЕ

Лазерная индустрия является одной из самых развивающихся областей производства на сегодняшний день. Мировой объем продаж лазерных установок продолжает расти, требуются новое оборудование для медико-биологических исследований, бесконтактные технологии, продолжается увеличение рынка машиностроения [1]. Лазерная индустрия является конкурентоспособной областью в России. Однако, сочетание лазерных технологий, математического моделирования и автоматических систем управления применяются на российском рынке в недостаточном объеме, особенно, в медицинской среде. Автоматическая система управления микропозиционным передвижением лазера позволит удешевить стоимость оборудования в клиниках и ускорит переквалификацию работников медицинских учреждений за счет простого и понятного интерфейса для пользователя. Дополнительная цель разработки модели и системы управления микропозиционированием лазера заключается в возможности перенастройки одной и той же системы управления на широкий спектр областей применения.

Преимущество автоматической системы управления лазерным комплексом состоит в возможности исключения фактора человеческой ошибки и вреда оборудованию посредством управления вне зоны действия лазера. Таким образом произойдет снижение рисков и повышенной опасности действия устройства.

Прототип математической модели позиционирования, разработанный в ходе исследования, применим в различных сферах деятельности человека: медицинское оборудование, обработка и покрытие материалов, изготовление микроэлектроники, лазерная очистка культурного наследия.

II. МЕХАНИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ С ВЛИЯНИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ СИЛ

Лазерный комплекс состоит из платформы, расположенной на полу – m_1 , кг; неподвижной и подвижной частей линейного привода – m_2 и m_3 , кг; платформы с установленным лазером – m_4 , кг. Оборудование представляет собой колебательную систему, где $k_i, d_i, i=1..4$ – коэффициенты жесткости, Н/м, и демпфирования, Н·с/м, соответственно. На комплекс воздействуют вибрации от пола, внешние вибрации – F_{osc} , Н; внешние возмущения – F_{ext} , Н (могут быть осуществлены краткосрочные удары по установке); сила привода – F_{dr} , Н; сила трения – F_{fr} , Н. Измеряемое и контролируемое смещение расположено между неподвижной и подвижной частями привода – x_{dev} , м. На рис. 1 представлена структурная схема объекта.

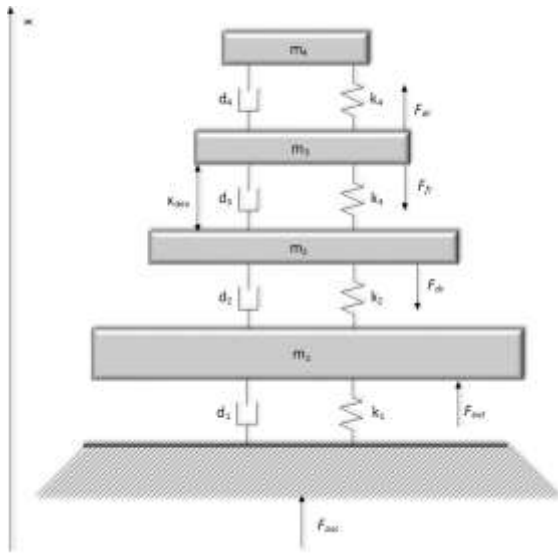


Рис. 1. Функциональная схема лазерного комплекса

III. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЧЕТЫРЕХМАССОВОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Система дифференциальных уравнений упрощенной модели объекта с учетом возмущающих воздействий представлена через следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} m_1 \cdot \frac{d^2 x_1}{dt^2} + (d_1 + d_2) \frac{dx_1}{dt} + (k_1 + k_2) x_1 - d_2 \frac{dx_2}{dt} - k_2 x_2 = F_{ext} + d_1 \frac{dF_{osc}}{dt} + k_1 F_{osc}; \\ m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + (d_2 + d_3) \frac{dx_2}{dt} + (k_2 + k_3) x_2 - d_3 \frac{dx_3}{dt} - k_3 x_3 = -F_{dr}; \\ m_3 \frac{d^2 x_3}{dt^2} + (d_3 + d_4) \frac{dx_3}{dt} + (k_3 + k_4) x_3 - d_4 \frac{dx_4}{dt} - k_4 x_4 = F_{dr}; \\ m_4 \frac{d^2 x_4}{dt^2} + d_4 \frac{dx_4}{dt} + k_4 x_4 - d_4 \frac{dx_3}{dt} - k_4 x_3 = 0. \end{cases}$$

Осуществлен переход от канонической формы уравнений Коши к системе уравнений в пространстве состояний для упрощенной механической модели лазерной установки:

$$\begin{pmatrix} \frac{dq_1}{dt} \\ \frac{dq_2}{dt} \\ \frac{dq_3}{dt} \\ \frac{dq_4}{dt} \\ \frac{dq_5}{dt} \\ \frac{dq_6}{dt} \\ \frac{dq_7}{dt} \\ \frac{dq_8}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{(k_1 + k_2)}{m_1} & \frac{k_2}{m_1} & 0 & 0 & -\frac{(d_1 + d_2)}{m_1} & \frac{d_2}{m_1} & 0 & 0 \\ \frac{k_2}{m_2} & -\frac{(k_2 + k_3)}{m_2} & \frac{k_3}{m_2} & 0 & \frac{d_2}{m_2} & -\frac{(d_2 + d_3)}{m_2} & \frac{d_3}{m_2} & 0 \\ 0 & \frac{k_3}{m_3} & -\frac{(k_3 + k_4)}{m_3} & \frac{k_4}{m_3} & 0 & \frac{d_3}{m_3} & -\frac{(d_3 + d_4)}{m_3} & \frac{d_4}{m_3} \\ 0 & 0 & \frac{k_4}{m_4} & -\frac{k_4}{m_4} & 0 & \frac{d_4}{m_4} & -\frac{d_4}{m_4} & 0 \end{pmatrix} \times$$

$$\begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \\ q_6 \\ q_7 \\ q_8 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{k_2}{m_2} & \frac{1}{m_2} & \frac{d_2}{m_2} \\ -\frac{1}{m_2} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{m_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} F_{dr} \\ F_{ext} \\ F_{osc} \\ \frac{dF_{osc}}{dt} \end{pmatrix};$$

$$\begin{pmatrix} x_{dev} \\ \frac{dx_3}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_3 - x_2 \\ \frac{dx_3}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \\ q_6 \\ q_7 \\ q_8 \end{pmatrix}.$$

Отсутствие учета силы трения в математической модели движения объекта обусловлено предложением учитывать трение в момент влияния силы привода. При таком подходе сухое трение и трение скольжения описываются логическими операндами в компьютерной модели и не требуются при математическом описании механического объекта.

IV. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРОЩЕННОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО КОМПЛЕКСА И НЕЛИНЕЙНОГО ТРЕНИЯ

Для моделирования использована компьютерная среда MATLAB/Simulink. Структурная схема объекта управления представлена на рис. 2.

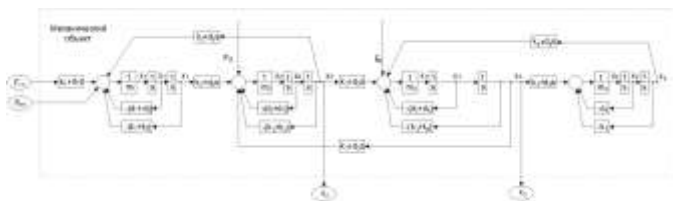


Рис. 2. Структурная схема колебательной системы, состоящей из четырех масс

Компьютерная модель механического объекта в форме пространств состояний выполнена через блок – *LTI System*.

Компьютерная модель нелинейного трения представлена через логические блоки на рис. 3.

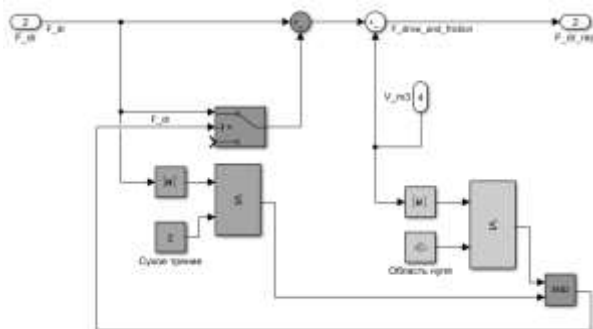


Рис. 3. Компьютерная модель нелинейного трения

Для симуляции выбран решатель с явным методом Рунге-Кутты 2-го и 3-го порядков в модификации Bogacki-Shampine с фиксированным шагом 10^{-6} . При микропозиционировании необходима высокая точность, поэтому размер шага столь мал.

В ходе исследования определено, что наибольшее влияние на точность перемещения привода оказывает трение (рис. 4). Сильное колебание траектории обусловлено резким увеличением силы привода из-за сухого трения.

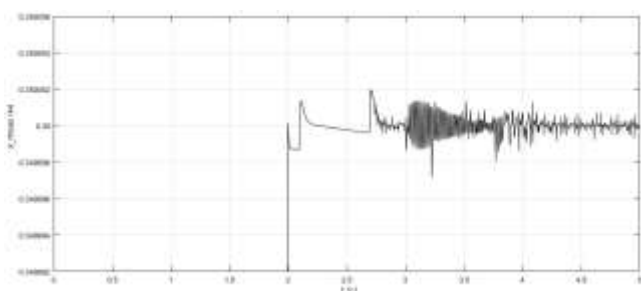


Рис. 4. Влияние трения и помех на движение

V. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОПОЗИЦИОНИРОВАНИЕМ

На рис. 5 представлена функциональная схема системы управления. Принятые дополнительные обозначения: x_{set} –

задающее воздействие; F_{reg} – сила регулятора; i_{ext} – помехи от тока; x_{sens} – помехи от сенсора.

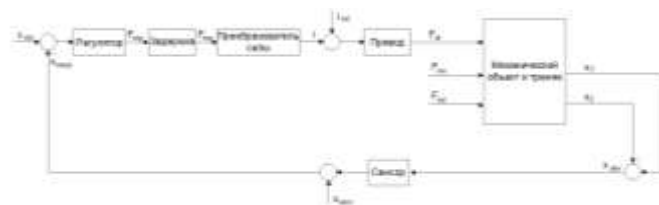


Рис. 5. Функциональная схема системы регулирования

Компьютерная модель системы регулирования микропозиционированием представлена на рис. 6.

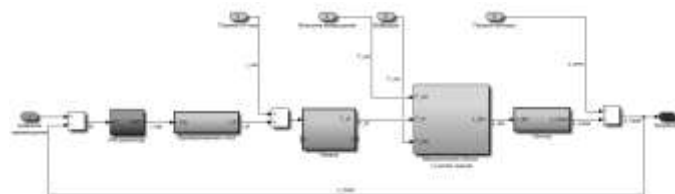


Рис. 6. Компьютерная модель автоматической системы управления микропозиционированием линейного привода с лазером

При моделировании задано значение перемещения подвижной части привода с лазером – 0.35 метра. Результаты моделирования представлены на рис. 7.

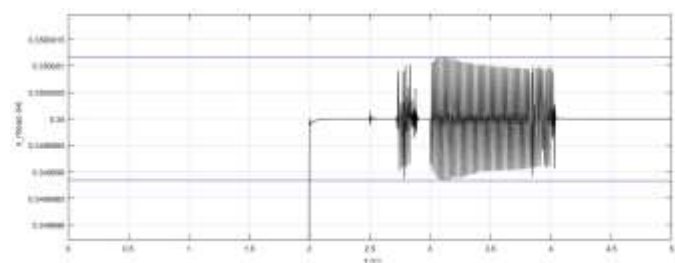


Рис. 7. Результаты моделирования работы автоматической системы управления микропозиционированием

Из рис. 7 видно, что достигнута точность позиционирования в 1.2 мкм. Сухое трение в момент времени две секунды существенно не искажает желаемую точность. Колебания от помех полностью гасятся через две целых пять сотых секунды от начала искажений.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Во время исследования проведен анализ влияния нелинейного трения на линейный привод с установленным лазером на подвижную часть.
2. Выполнена математическая модель на основе упрощенной структурной схемы лазерного комплекса.
3. Построена компьютерная модель объекта в среде MATLAB/Simulink. Модель не подвержена самостоятельной коррекции. Для получения

желаемой точности микропозиционирования необходима система автоматического управления.

4. Разработан контур регулирования. Заданное положение подвижной части привода поддерживается системой управления. Колебания в 1.2 мкм могут быть погашены усилением демпферов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Овертон Г., Белфорте Д.А., Ноге А., Холтон К. Годовой обзор и прогноз мирового рынка лазеров //Лазер-информ. 2016. №. 3-4. С. 2.

- [2] Решение задач динамики железнодорожных экипажей в пакете Mathcad: учеб. пособие / В.Г. Рубан, А.М. Матва ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. Ростов н/Д, 2009. 99 с. : ил. Библиогр. : 9 назв.
- [3] Душин С.Е. Моделирование систем управления: Учеб. Пособие для вузов/С.Е. Душин, А.В. Красов, Н.Н.Кузьмин; Под ред. С.Е. Душина. М.: Студент, 2012. 348 с.: ил.
- [4] Franklin G.F. et al. Feedback control of dynamic systems. Reading, MA: Addison-Wesley, 1994. Т. 3.
- [5] Брусин В.А. Активное гашение колебаний и матричные уравнения // Соросовский образовательный журнал. 2001. №. 9. С. 115-120.