

Моделирование системы автоматического управления движением лазерной головки в ППП VisSim

Константин Анатольевич Кузьмин¹, Сергей Михайлович Морозов¹, Анна Владимировна Горюнова²

¹Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), Смоленская обл., г. Вязьма, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия
e-mail: kuzmina_tk@mail.ru

Аннотация. В работе предложена структурная схема лазерной технологической установки. Представлена зависимость координаты от времени при перемещении лазерной головки при подаче на вход системы линейного управляющего сигнала, изменяющегося со скоростью 20 мм/с.

Ключевые слова: моделирование; лазерная технологическая установка; технологический режим; система автоматического управления.

Для цитирования: Кузьмин К. А., Морозов С. М., Горюнова А. В. Моделирование системы автоматического управления движением лазерной головки в ППП VisSim // Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 82–85. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp82-85>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Modeling of the automatic control system for the movement of the laser head in the VisSim PPP

Konstantin A. Kuzmin¹, Sergey M. Morozov¹, Anna V. Goryunova²

¹K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), Smolensk region, Vyazma, Russia

²Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia
e-mail: kuzmina_tk@mail.ru.

Abstract. The article proposes a block diagram of a laser technological installation. The dependence of the coordinate on time is presented when the laser head is moved when a linear control signal is applied to the input of the system, changing at a speed of 20 mm/s.

Keywords: modeling; laser technological installation; technological mode; automatic control system.

For citation: Kuzmin K. A., Morozov S. M., Goryunova A.V. Modeling of the automatic control system for the movement of the laser head in the VisSim PPP // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(12):82–85. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp82-85>.

Введение. В области воздействия лазерного луча металл нагревается до первой температуры разрушения – плавления. С дальнейшим поглощением излучения происходит расплавление металла, и фазовая граница плавления перемещается в глубь материала. [1] В то же время энергетическое воздействие лазерного луча приводит к дальнейшему увеличению температуры, достигающей второй температуры разрушения – кипения, при которой металл начинает активно испаряться.

В зависимости от свойств разрезаемого металла применяются два механизма газолазерной резки. При первом значительный вклад в общий тепловой баланс вносит теплота реакции горения металла. Такой механизм резки обычно используется для материалов, подверженных воспламенению и горению ниже точки плавления и образующих жидкотекучие оксиды. Примерами могут служить низкоуглеродистая сталь и титан [2].

При втором механизме резки материал не горит, а плавится, и струя газа удаляет жидкий металл из области реза. Данный механизм применяется для металлов и сплавов с низким тепловым эффектом реакции горения, а также для тех, у которых при взаимодействии с кислородом образуются тугоплавкие оксиды. Например, легированные и высокоуглеродистые стали, алюминий, медь и др.

По технологическим условиям лазерной резки металла допускается погрешность точности резания, зависящая от толщины материала заготовки, скорости резания, размеров детали. Зависимость абсолютной погрешности от толщины листа приведена в табл. 1

Таблица 1

Зависимость абсолютной погрешности от толщины листа

Толщина, мм	Абсолютная погрешность, мм
1	±0,1
5	±0,3
10	±0,8
20	±1,0





При изготовлении детали круглой формы радиусом 200 мм из листа, стали толщиной 5 мм, абсолютная погрешность резания может достигать значения 0,8 мм. При лазерной резке существует установившаяся ошибка порядка нескольких десятых долей мм.

Цель исследования – синтез регулятора, при котором установившаяся ошибка позиционирования стремится к нулю.

Методика исследований. Система управления лазерной резкой является каскадной, двухконтурной. Во внутреннем контуре регулятором является широтно-импульсный модулятор (ШИМ). Пусть его роль выполняет П-регулятор с передаточным коэффициентом 25. Проведем анализ поведения системы, когда во внешнем контуре установлен также П-регулятор.

Результаты исследований. На рис. 1 изображен график переходного процесса в системе при подаче на вход ступенчатого сигнала по позиционированию.

На графике видно наличие колебательного процесса, однако, система устойчивая [3]. По позиционированию лазерная головка устанавливается в заданное значение 20 мм через 2,5 с. Хотя такой режим при лазерной резке является для него нехарактерным. В технологических процессах лазерная головка начинает движение из начала координат с начальной нулевой скоростью.

На рис. 2 изображен график процесса, когда на вход системы подается сигнал, линейно зависящий от времени (характерный технологический режим).

Как видно из графиков, в зависимости координаты перемещающийся головки от времени присутствует колебательный процесс. Кроме того имеет место – установившаяся ошибка (40,0–39,6) мм = 0,4 мм, которая остается постоянной. Эту ошибку теоретически можно уменьшить, увеличивая коэффициент усиления регулятора [4]. Но реально усилением мощности, подаваемой на вход серводвигателя, управляет широтно-импульсный модулятор, возможности которого ограничены. Потому применение П-регулятора в системе управления движением лазерной головки не приводит к решению поставленной задачи.

Добавим в систему управления дифференцирующее звено, т.е. применим ПД-регулятор. Графики переходных процессов для этого случая изображены на рис. 3, 4.

Из графика следует: перерегулирование $\frac{22,5 - 20}{20} \cdot 100\% = 12,5\%$; время регулирования 0,5 с.

Прямая, проходящая через начало координат – эталонная ожидаемая зависимость. На графиках видно, что и в данном случае существует установившаяся ошибка равная (20,0–19,59) мм = 0,41 мм. ПД-регулятор также не решает поставленной задачи.

Методом сканирования [5] были определены параметры k_1 , k_2 , k_3 ПИД-регулятора. Введение дифференциальной компоненты в закон регулирования вводят в случаях, если в системе возможны быстрые большие возмущения, а также для увеличения запаса устойчивости по фазе. Введение интегрирующего звена дает возможность исключить статическую ошибку системы.

Анализ графика (рис. 5) позволяет сделать выводы: лазерная головка приходит в заданное положение за время

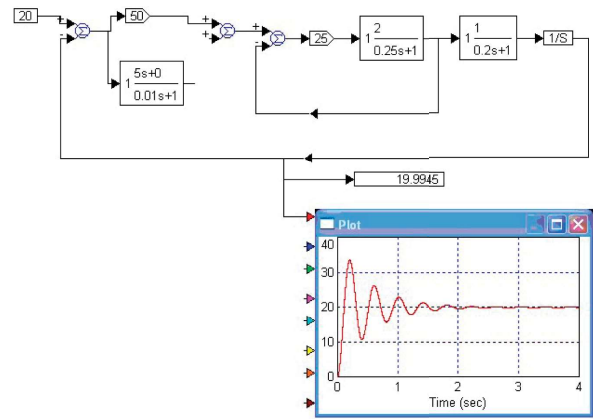


Рис. 1. График переходного процесса при ступенчатом входном воздействии

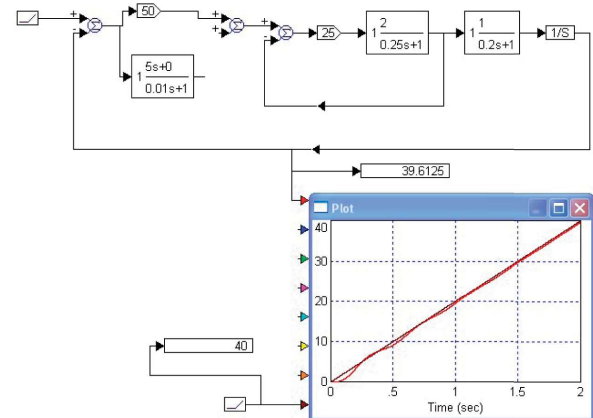


Рис. 2. Перемещение лазерной головки при линейном входном сигнале. Прямая линия – желаемое перемещение. Кривая – перемещение лазерной головки

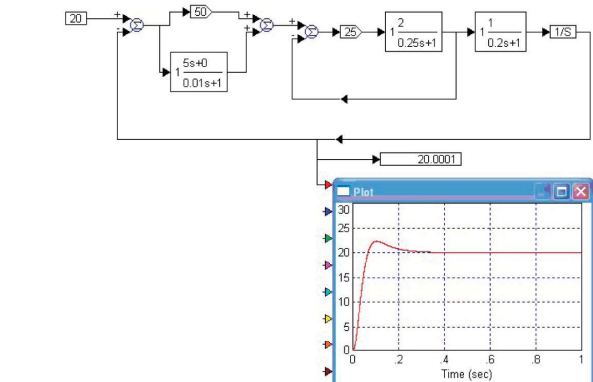


Рис. 3. График переходного процесса позиционирования лазерной головки при подаче на вход системы ступенчатого сигнала 20 мм

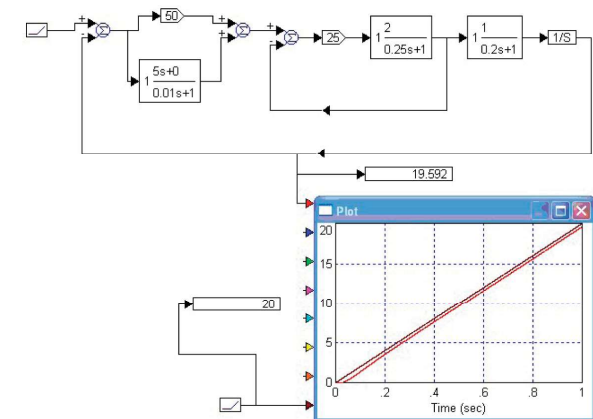


Рис. 4. Зависимость координаты от времени лазерной головки при линейном входном сигнале. Скорость изменения входного сигнала 20 мм/с

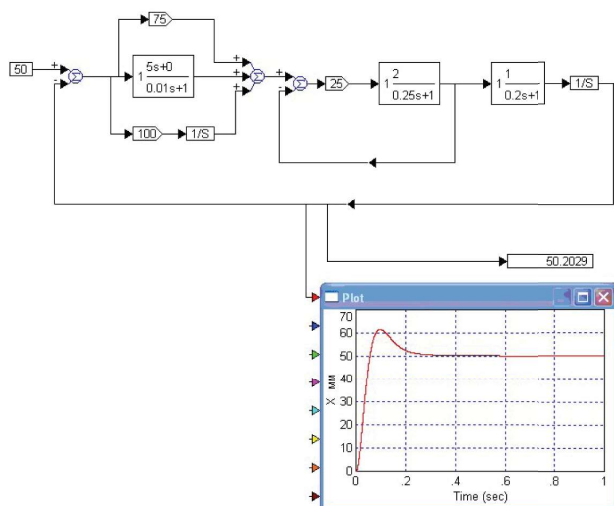


Рис. 5. Модель САУ позиционированием лазерной головки. График переходной характеристики

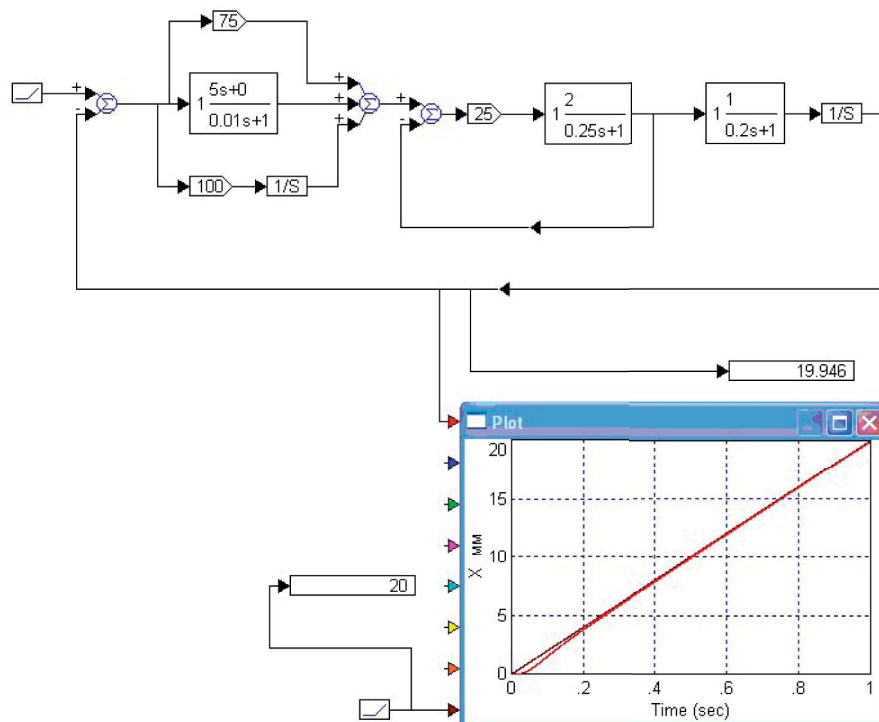


Рис. 6. Модель САУ движения лазерной головки. Реакция системы на линейный входной сигнал

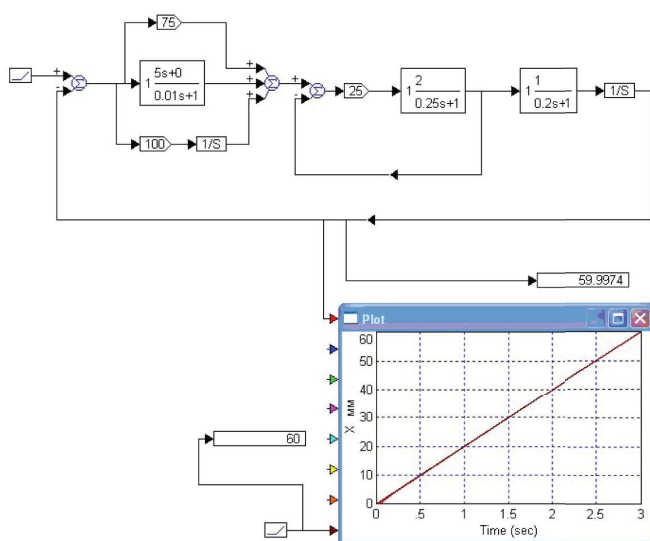


Рис. 7. Координаты лазерной головки в момент времени 3 с

0,6 с (50 мм); перерегулирование равно 20 %; точность позиционирования 0,2 мм.

На рис. 6 представлена зависимость координаты от времени при перемещении лазерной головки при подаче на вход системы линейного управляющего сигнала, изменяющегося со скоростью 20 мм/с.

Индикаторы показывают значения координат лазерной головки спустя 1 с от начала движения: желаемое значение 20 мм; истинное значение 19,946 мм. Ошибка позиционирования составляет 0,054 мм.

Через 3 с от начала движения лазерной головки (рис. 7), установившаяся ошибка позиционирования равна $(60,0000 - 59,9974)$ мм $\approx 0,0026$ мм. То есть установившаяся ошибка по мере продолжения резания (увеличение времени) стремится к нулю. Такое качество управление достигнуто применением ПИД-регулятора.

Оптимальные значения параметров ПИД-регулятора:

$k_1 = 75$; коэффициент усиления пропорционального звена;

$k_2 = 5$; коэффициент усиления дифференцирующего звена;

$k_3 = 100$; параметр интегрирующего звена.

Значения этих параметров изменятся при переходе к реализации ПИД-регулятора в дискретный (цифровой форме) [6].

На рис. 8 представлена математическая модель управления движением лазерной головки по трем осям X, Y, Z [7]. Модель блочно-модульная. В состав блоков модулей входят передаточные функции звеньев системы, описанные ранее. Фигура резания задана программой (круг). Радиус круга 50 мм. Толщина стали 2 мм. Время резания детали примерно равно 4 с. Погрешность резания практически равна нулю [8].

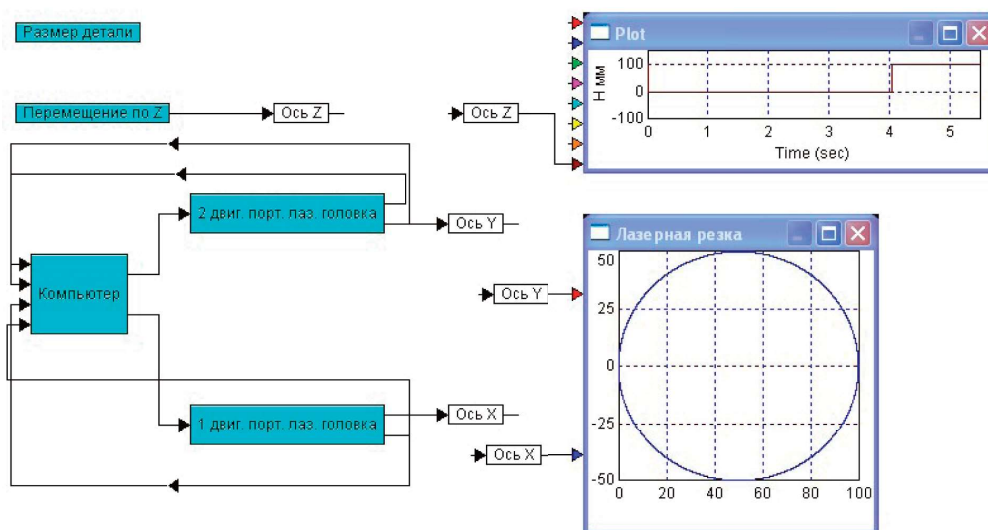


Рис. 8. Блочнo-модульная математическая модель системы автоматического управления движением лазерной головки по трем координатным осям X, Y, Z

Заключение. Получена передаточная функция объекта управления (двигатель – портал) в виде

$$W(s) = \frac{2}{0.25 \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{0.2 \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{s}.$$

Представлена модель САУ позиционированием лазерной головки и график переходной характеристики

Представлена зависимость координаты от времени при перемещении лазерной головки при подаче на вход системы линейного управляющего сигнала, изменяющегося со скоростью 20 мм/с.

Разработана блочно-модульная модель управления движения лазерной головки по трем осям X, Y, Z. В состав блоков модулей входят передаточные функции звеньев системы, описанные ранее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. СПб., 2017. 747с.
2. Джексон Р.Г. Новейшие датчики / пер. с англ. – 2-е изд., доп. – М., 2016. 397с.
3. Ким Д.П. Теория автоматического управления: учебник для вузов. Т.2: Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. М., 2016. 440с.
4. Прангишвили И.В., Амбарцумян А.А. Основы построения АСУ сложными технологическими процессами. М., 2015.
5. Морозов С.М., Кузьмин К.А., Кочеткова Л.И., Балмашнова Е.В. Разработка исходных концепций метрологического обеспечения измерительных и расчетных операций при автоматизации измерений // Аграрный научный журнал. 2019. № 4. С. 87–89.
6. Кузьмин К.А., Морозов С.М. Определение оптимальных режимов работы СВЧ-установки для сушки и обжига строительного кирпича //Инженерный вестник Дона. 2018. № 3. С. 75.
7. Morozov S., Kuzmin K., Makarov G. Neural network principle of implementation of digital filters // MATEC Web of Conferences (см. в книгах). 2018. № 193. С. 102.
8. Morozov S., Kuzmin K., Pogodin D., Kochetkova L., Rogozhina A. Modeling of the management of the microwave grain drying process // E3S Web of Conferences. 2018 International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018. 2019. С. 02142.

REFERENCES

1. Besekersky V.A., Popov E.P. Theory of automatic control systems. SPb., 2017. 747 p.
2. Jackson R.G. The latest sensors / translated from English. 2nd ed., add. Moscow, 2016. 397 p.
3. Kim D.P. Theory of automatic control: a textbook for universities. V.2: Multidimensional, non-linear, optimal and adaptive systems. Moscow, 2016. 440 p.
4. Prangishvili I.V., Ambartsumyan A.A. Fundamentals of building automated control systems for complex technological processes. Moscow, 2015.
5. Morozov S.M., Kuzmin K.A., Kochetkova L.I., Balmashnova E.V. Development of initial concepts for metrological support of measuring and calculation operations in the automation of measurements. *The agrarian scientific journal*. 2019; 4: 87–89.
6. Kuzmin K.A., Morozov S.M. Determination of the optimal modes of operation of a microwave installation for drying and firing building bricks. *Engineering Bulletin of the Don*. 2018; 3: 75.
7. Morozov S., Kuzmin K., Makarov G. Neural network principle of implementation of digital filters. *MATEC Web of Conferences* (see in books). 2018; 193: 102.
8. Morozov S., Kuzmin K., Pogodin D., Kochetkova L., Rogozhina A. Modeling of the management of the microwave grain drying process. *E3S Web of Conferences. 2018 International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018*; 2019: 02142.

Статья поступила в редакцию 12.05.2022; одобрена после рецензирования 12.06.2022; принята к публикации 25.06.2022.
The article was submitted 12.05.2022; approved after reviewing 12.06.2022; accepted for publication 25.06.2022.

