

УПРАВЛЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МНОГОКООРДИНАТНОГО КОМПЛЕКСИРОВАННОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ЛАЗЕР – РОБОТА

Умнов В.П.¹, Егоров И.Н.¹, Молостов С.В.¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ), Владимир, Россия (600000, г. Владимир, ул. Горького, 87), e-mail: mex-rob@yandex.ru

Выполнение операций роботизированной лазерной обработки крупногабаритных изделий автономными комплексами требует использования гибридной манипуляционной системы и сложной интеллектуальной системы управления. Транспортный манипулятор имеет три степени подвижности, является носителем для технологического и работает в режиме перестановки. Технологический манипулятор имеет пять степеней подвижности, перемещает рабочий инструмент – оптическую головку при неподвижном транспортном и является основным манипулятором. Предложена система управления процессом утилизационной лазерной резки, содержащая датчик толщины разрезаемого материала объекта утилизации, датчик контроля выполнения операции резки, а так же контроллеры координатных и функциональных преобразований. Для выбранной кинематической структуры, состоящей из последовательно расположенных манипуляторов, с использованием библиотеки MATLAB построена компьютерная модель исполнительного системы, включающая исполнительную кинематическую цепь, систему приводов и систему управления с указанными датчиками. С помощью разработанной модели, которая может быть использована в качестве симулятора при разработке управляющих программ, исследована работоспособность предложенной системы управления.

Ключевые слова: лазерная обработка, крупногабаритный объект, система управления, модель

MANAGEMENT AND DESIGN OF MOTION OF MULTICOORDINATE COMPLEX OF EXECUTIVE DEVICE LASER – ROBOT

Umnov V.P.¹, Egorov I.N.¹, Molostov S.V.¹

¹The Federal State budgetary educational institution of higher professional education «the Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs» (VISU), Vladimir, Russia (600000, Vladimir, Gorky street, 87), e-mail: mex-rob@yandex.ru

Implementation of operations of robots laser treatment of large wares autonomous complexes requires the use of the hybrid manipulation system and difficult intellectual control system. A transport manipulator has three degrees of mobility, is a carrier for technological and works in the mode of transposition. A technological manipulator has five degrees of mobility, moves a working instrument - optical head at immobile transport and is a basic manipulator. Control system offers the process of the utilization laser cutting, containing the sensor of thickness of the cut material of object of utilization, sensor of control of implementation of operation of cutting, and similarly comptrrollers of co-ordinate and functional transformations. For the chosen kinematics structure consisting of the consistently located manipulators, with the use of library of MATLAB the computer model of the run-time system, including an executive kinematics chain, system of drives and control system with the indicated sensors, is built. By means of the worked out model that can be used as a simulator at managing program development, the capacity of offer control system is investigational.

Keywords: laser treatment, large object, control system, model

Выполнение операций роботизированной лазерной обработки крупногабаритных изделий автономными мобильными комплексами (демонтаж и монтаж ферм, резервуаров, объектов специального назначения и т.д.) требует максимальной концентрации различных технических устройств на подвижных носителях и возможности реализации технологических процессов практически в экстремальных условиях [5]. На рисунке 1 приведена обобщенная структура такого комплекса.

Манипуляционную систему исполнительного устройства лазер-робота, предназначенного для осуществления основной операции с крупногабаритными объектами предлагается строить в виде комплексированной совокупности двух манипуляторов [3]: транспортного и технологического.

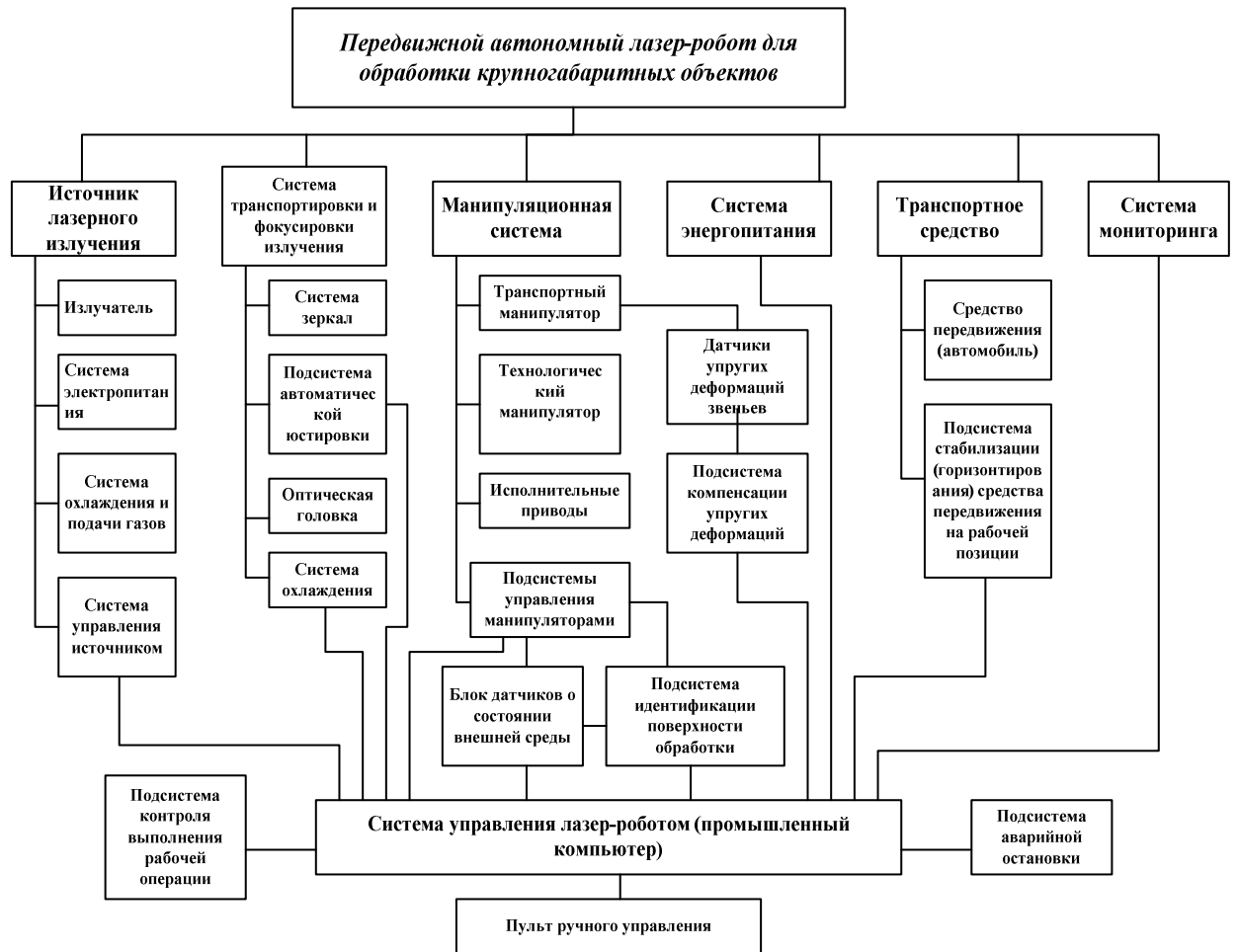


Рис. 1. Обобщенная структура автономного лазерного комплекса обработки крупногабаритных объектов

Транспортный манипулятор имеет три степени подвижности, является носителем для технологического и работает в режиме перестановки. Технологический манипулятор имеет пять степеней подвижности, перемещает рабочий инструмент – оптическую головку при неподвижном транспортном и является основным манипулятором. Выполнение манипуляторов по такой схеме позволит реализовать манипулятор с совокупной длиной звеньев до 15 метров. Постоянство положения точки фокуса обеспечивается последним приводом поступательного перемещения, работающим в режиме стабилизации, а угловая ориентация оптической головки – двумя угловыми координатами.

На рисунке 2 представлена структурная схема интеллектуальной системы управления движением рассматриваемого лазер – робота для выполнения операции утилизационной резки в условиях неопределенности толщины материала объекта.



Рис. 2. Структурная схема системы управления движением

Технологический контроллер формирования параметров обработки определяет задание для контроллера планирования траектории, для контроллера формирования эталонной скорости в пространстве задания и для контроллера источника лазерного излучения. Контроллер планирования траектории вырабатывает параметры точек траектории, которые преобразуются в обобщённые координаты углов поворота в нейроконтроллере 1 преобразования координат. Сигналы с последнего поступают на позиционный контроллер, который связан с блоком нейроконтроллеров регуляторов скорости. Контроллер формирования эталонной скорости формирует задание требуемой скорости обработки. Преобразование эталонных скоростей в обобщённые координаты происходит с помощью нейроконтроллера 2 преобразования скорости, с которого сигналы поступают на блок нейроконтроллеров регулятора скорости. Управляющие сигналы с блока нейроконтроллеров скорости поступают на манипуляционную систему, которая состоит из электроприводов, реализующих движение системы и исполнительной кинематической цепи. Информация о положении выходной точки манипуляционной системы, и скорости перемещения этой точки снимаются с помощью датчиков и подаются для коррекции управляющих сигналов на блок нейроконтроллеров скорости и блок позиционных контроллеров. Манипуляционная система имеет механическую связь с оптической головкой, на которую подаётся луч с источника лазерного излучения. Параметры лазерного излучения формируются контроллером источника лазерного излучения. Поскольку резка осуществляется в условиях неопределенности

толщины металла, датчик ее измерения перемещается впереди оптической головки и в функциональном преобразователе происходит преобразование сигнала с этого датчика в параметры скорости резки. При этом происходит вычитание заданной изначально скорости в технологическом контроллере и скорости требуемой в зависимости от показаний датчика толщины во время процесса лазерной обработки. Главной технологической обратной связью является обратная связь по условию гарантированного прорезания материала, реализованная с помощью датчика, нейроконтроллера 4 и контроллера источника лазерного излучения, изменяющего мощность луча в зависимости от условий прорезания. Нейроконтроллер 4 может обучаться на различный характер прорезания и для разнообразных материалов по модели процесса резки. Использование нейроконтроллеров [4] обусловлено необходимостью повышения быстродействия и точности формирования управляющих воздействий. Нейроконтроллеры в контуре скорости приводов предназначены для быстродействующей подстройки коэффициентов регуляторов в функции задания её эталонного значения и сигнала технологической обратной связи.

Перед началом движения формируются необходимые данные, включающие в себя:

- технологическую карту обработки поверхности (на дисплее монитора задается вид поверхности, маршрута обработки и точки установки транспортного манипулятора;
- режимы обработки объекта (скорость и точность обработки, обрабатываемый материал и т.д.)
- режимы движения и управления манипуляторами (характер движения, последовательность движения манипуляторов, вид управления и т.д.)

В режиме дистанционного или автоматического управления транспортный манипулятор выводится в исходную точку. При этом технологический манипулятор находится в транспортном положении, определяемом из условия минимума статических нагрузок на выходное звено транспортного манипулятора и удобством подвода к объекту работ. После этого производится вывод рабочего инструмента в исходную точку маршрута.

В процессе движения проводится идентификация поверхности и (или) подготовка ее к лазерной обработке (зачистка, нанесение светопоглощающего покрытия и т.д.) Если поверхность имеет сложную криволинейную форму и её положение по отношению к лазер-роботу не определено, аналитическое задание траектории движения даже в приближённом виде практически невозможно, а использование систем локации сопряжено со значительными трудностями. В этом случае параметры траектории движения могут быть измерены самим лазер-роботом, работающем в режиме обучения, который можно совместить с выполнением операции.

С целью сокращения времени вычислений при обучении следует использовать

мультиплексные системы, а так же симулятор движения манипуляционной системы, позволяющий, кроме этого, проанализировать возникновение сингулярностей и исключить их в режиме воспроизведения управляющей программы. Таким симулятором может являться компьютерная модель исполнительской системы лазер-робота, выполненная с учетом его динамических свойств.

Достаточно хорошие результаты при моделировании технических систем достигаются с помощью пакета Matlab [2]. Пакет Simulink, входящий в состав системы Matlab, позволяет достаточно оперативно составлять исследуемые модели, изменять их структуру и регистрировать результаты моделирования, не прибегая к сложным программным процедурам. В последние версии пакета Simulink включена библиотека Sim Mechanics second generation, позволяющая выполнять моделирование движения различных механических систем в трехмерном пространстве в векторно-матричном виде, не прибегая к составлению сложных дифференциальных уравнений, а также библиотека Math Operations.

Интегральная модель исполнительской системы включает в себя модель механической системы, учитывающей упруго демпфирующих свойств ее конструктивных элементов, модели исполнительных двигателей и модели приводов как трехконтурных систем регулирования, синтезированные на монотонный характер переходных процессов в структуре модели.

Задание траектории движения лазерного луча в системе управления целесообразно осуществлять классическими методами при помощи программируемых контроллеров с использованием стандартных методов интерполяции и аппроксимации [1]. Для создания виртуального задатчика траектории использован метод интерполяции кубическими сплайнами выбранных опорных точек.

На рисунке 3 приведен пример компьютерной модели задатчика пространственной траектории, реализующей сплайн – функции (1).

$$\begin{aligned} y &= P_1x^3 + P_2x^2 + P_3x + P_4; \\ z &= P_{00} + P_{10}x + P_{10}y + P_{20}x^2 + P_{11}xy, \end{aligned} \quad (1)$$

где $P_1 = -33,33$; $P_2 = 60$; $P_3 = -33,42$; $P_4 = 5,875$; $P_{00} = 1,676$; $P_{10} = -1,213$; $P_{01} = -1,327$; $P_{20} = 0,9346$; $P_{11} = 1,607$.

Виртуальные контроллеры, осуществляющие решение обратных задач для транспортного и технологического манипуляторов в процессе движения по заданной траектории не сложно реализуются с использованием пакета Simulink.

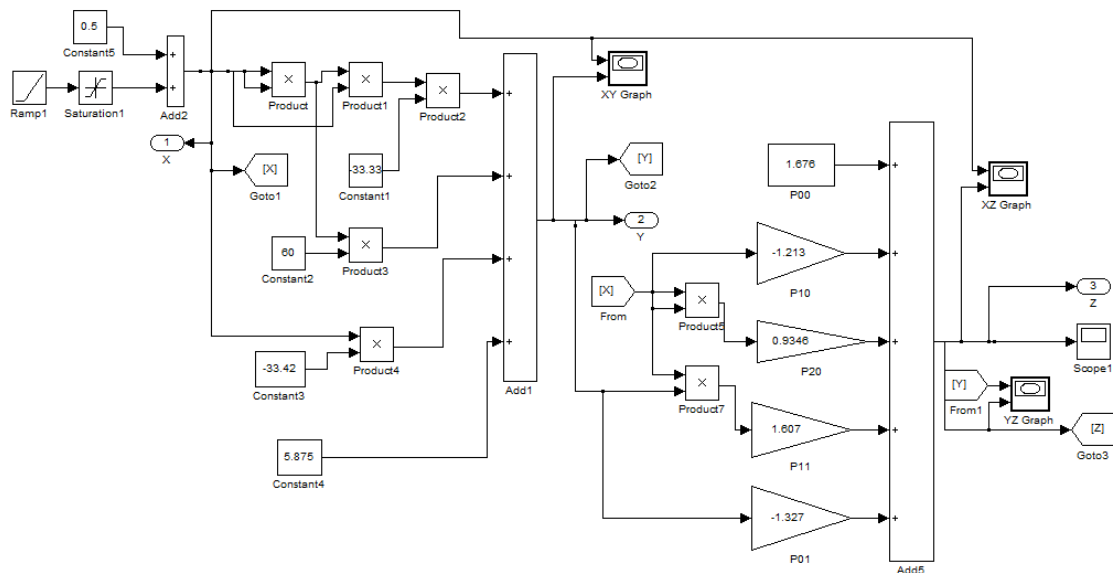


Рис. 3. Пример компьютерной модели датчика пространственной траектории

Экспериментальная зависимость скорости движения лазерной резки v от толщины металла h описывается выражением:

$$v = -6.41 \cdot 10^{-11}h^5 + 2.448 \cdot 10^{-8}h^4 - 4.024 \cdot 10^{-6}h^3 + 0.0003809h^2 - 0.02252h + 0.71 \quad (2)$$

и легко реализуется в Simulink.

Симуляция работы датчика прорезания материала выполнена в виде, представленном на рисунке 4.

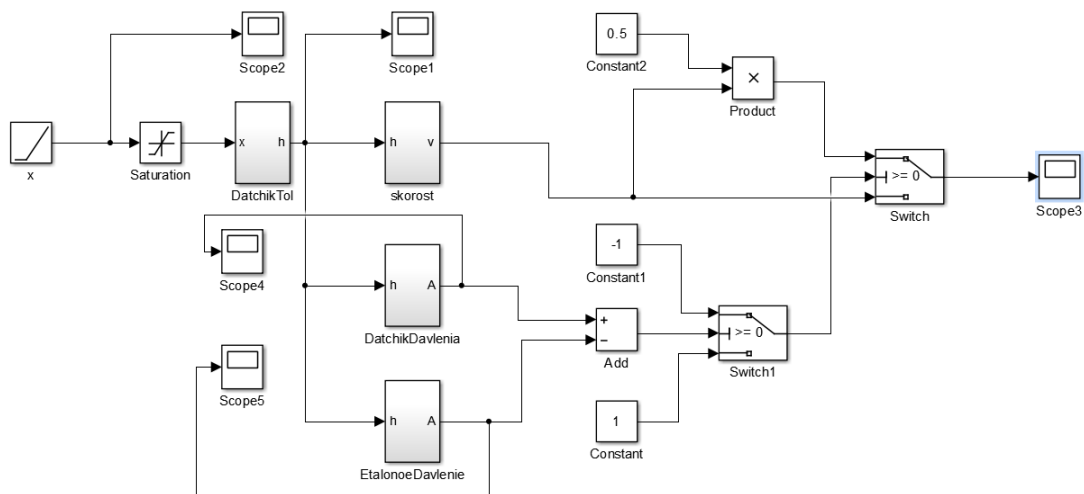


Рис. 4. Модель датчика прорезания в Matlab

Для определения прорезания объекта в процессе резки измеряется давление газа из реза и сравнивается с эталонным давлением. В случае не прорезания, скорость резки уменьшается в два раза.

На рисунке 5 представлен пример работы системы управления в случае не прорезания в момент времени $2300 \leq t < 2600$.

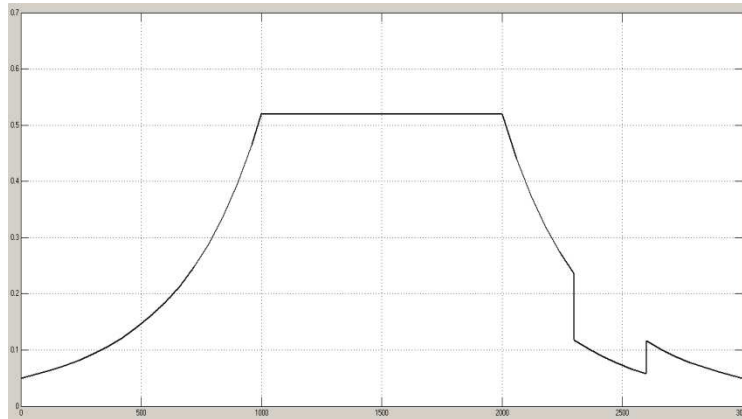


Рис. 5. Симуляция условия не прорезания материала

Для исследования работоспособности системы управления скоростью движения использована модель плиты переменной толщины с плоской поверхностью со стороны воздействия лазерного луча. На рисунке 8 приведена модель процесса резки указанного объекта.

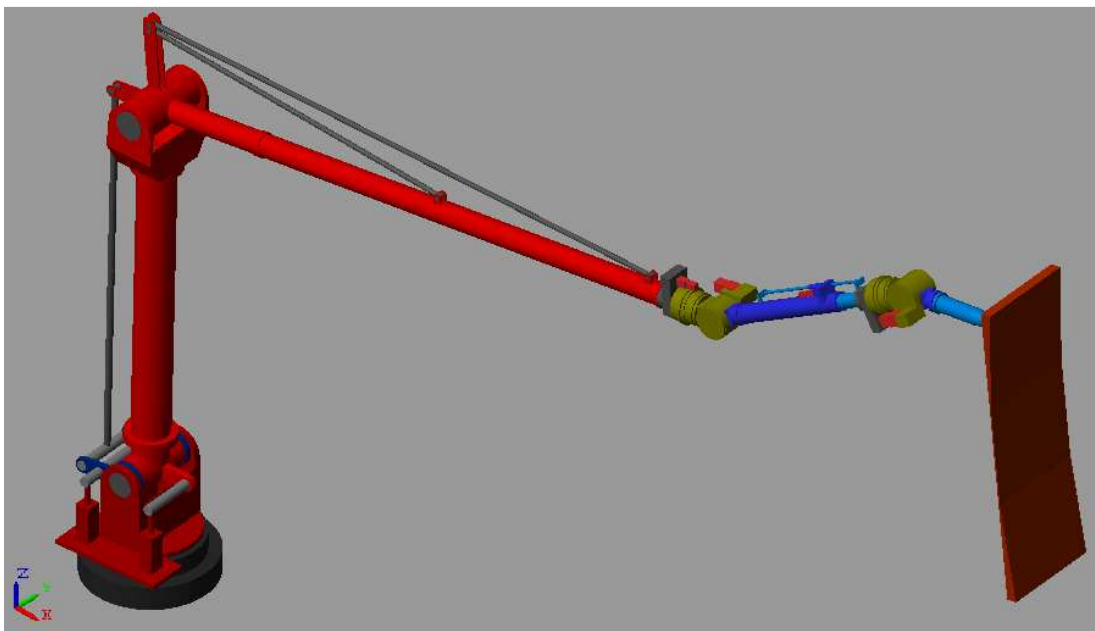


Рис. 6. 3Dмодель процесса резки лазер-роботом объекта переменной толщины

На рисунках 7 и 8 приведены результаты моделирования работы датчика толщины металла и управления скоростью движения лазерного луча в функции толщины металла.

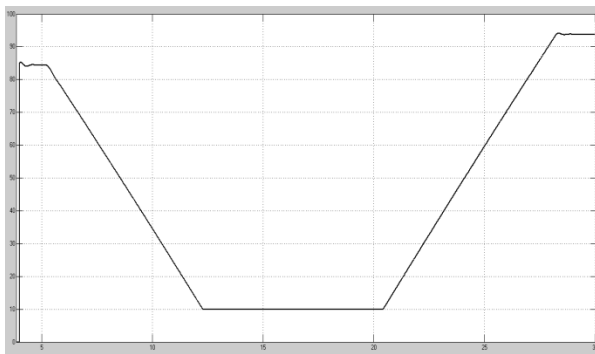


Рис. 7. Модель измерения датчиком толщины металла

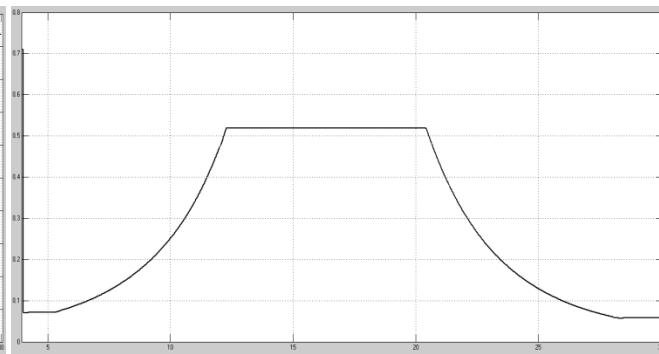


Рис. 8. Изменение скорости движения лазерного луча в функции толщины металла

Полученные результаты свидетельствуют о работоспособности созданных моделей, которые могут быть использованы при создании реальных роботизированных комплексов лазерной обработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-08-01364).

Список литературы

1. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. MATLAB 7. Самоучитель / Е.Р. Алексеев, О.В. Чеснокова.- Издательство "НТ Пресс" , 2006. - 464 с.
2. Дьяконов В.П. Компьютерная математика. Теория и практика / В.П.Дьяконов. - М.:Нолидж. - 2000. - 1296 с.
3. Егоров И.Н. Многофункциональные манипуляционные исполнительные системы роботизированных технологических центров / И.Н. Егоров, В.П. Умнов // Проблемы машиностроения и автоматизации.- 2012.- №2. - С. 111-115.
4. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2001. – 382с.
5. Умнов В.П. Комплексование манипуляционной исполнительной системы роботизированных технологических центров гибридной обработки / В.П.Умнов, И.Н.Егоров, С.В. Молостов // Современные проблемы науки и образования.- 2014.- №1; URL: www.science-education.ru/115-11348.

Рецензенты:

Гоц А.Н., д.т.н., профессор, профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), г. Владимир.

Кульчицкий А.Р., д.т.н., старший научный сотрудник, главный специалист ООО «Завод инновационных продуктов «КТЗ», г. Владимир.