

СЕКЦИЯ 2.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

DOI:10.58168/AIARMTOES2025_346-352

УДК 681.5

СТРУКТУРА И УПРАВЛЕНИЕ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РОБОТОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКЕ ОБЪЕКТОВ STRUCTURE AND CONTROL OF MANIPULATION SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL ROBOTS IN LASER CUTTING OF OBJECTS

Ещенко С.Е., студент

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет

имени Г.Ф. Морозова»,

г. Воронеж, Россия

Yeshchenko S.E., student

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE « Voronezh State University of Forestry and Technologies named after

G.F. Morozov»,

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается структура и принципы управления манипуляционных систем, используемых в технологических роботах для выполнения лазерной резки. Особое внимание уделяется анализу конструктивных особенностей манипуляторов, их классификации, а также ключевым параметрам, влияющим на производительность и точность обработки материалов.

Summary: The article examines the structure and control principles of manipulation systems used in technological robots for laser cutting. Particular attention is paid to the analysis of the design features of manipulators, their classification, as well as key parameters affecting the productivity and accuracy of material processing.

Ключевые слова: лазерная резка, технологические роботы, манипуляционные системы, автоматизация, управление, промышленное производство, интеллектуальные технологии.

Keywords: laser cutting, technological robots, manipulation systems, automation, control, industrial production, intelligent technologies.

Современное промышленное производство активно использует роботизированные системы, которые обеспечивают не только высокую точность и скорость выполнения операций, но и значительное снижение затрат на производство [1, 2]. Одним из наиболее перспективных направлений автоматизации является использование технологических роботов в процессах лазерной резки. Этот метод обработки материалов отличается высокой производительностью, минимальными потерями сырья, а также возможностью работы с различными типами материалов, включая металлы, композиты, керамику и полимеры.

Лазерная резка является передовой технологией, которая широко применяется в таких сферах, как авиастроение, автомобилестроение, приборостроение, производство электроники и медицинских изделий. Высокая точность лазерного луча, а также его способность работать с тонкими и сложными деталями делает этот метод незаменимым в условиях современного производства. Однако эффективность лазерной резки во многом зависит от качества управления манипуляционной системой, которая обеспечивает точное перемещение и позиционирование лазерного инструмента в процессе обработки.

Манипуляционные системы технологических роботов играют ключевую роль в организации процессов лазерной резки. Они позволяют автоматизировать рабочие операции, повышая гибкость производства и уменьшая влияние человеческого фактора на конечный результат. Современные роботизированные комплексы оснащаются интеллектуальными системами управления, сенсорами обратной связи и алгоритмами адаптивного контроля, что позволяет им работать в режиме реального времени, автоматически корректируя параметры резки в зависимости от состояния материала и внешних условий.

Внедрение таких решений способствует повышению качества готовой продукции, сокращению времени на обработку и снижению производственных издержек. Поэтому исследование структуры манипуляционных систем и методов их управления представляет собой важную научную и практическую задачу.

Целью данной работы является изучение структуры и принципов управления манипуляционных систем технологических роботов, применяемых в лазерной резке, а также анализ современных тенденций в данной области. В ходе исследования рассматриваются конструктивные особенности манипуляторов, используемые методы управления, а также перспективы дальнейшего развития роботизированных комплексов для лазерной обработки материалов.

1. Структура манипуляционных систем

Манипуляционные системы представляют собой механизмы, выполняющие движения и позиционирование рабочего инструмента. Их структура зависит от следующих ключевых факторов:

В робототехнике кинематическая схема манипулятора определяет способ соединения его звеньев и характер движения. Различают три основные структуры: последовательную, параллельную и гибридную.

Последовательная структура (Серийные манипуляторы) - звенья манипулятора соединены последовательно друг с другом, образуя цепочку шарнирных или линейных соединений.

Преимущества данной структуры в высокой гибкости и широком рабочем диапазоне, простоте программирования траекторий.

Недостатки данной структуры в низкой жесткости при больших нагрузках и в накоплении ошибок от одного звена к другому. Используется в промышленных роботах, сварочных манипуляторах, сборочных линиях.

Параллельная структура (Платформенные роботы) - звенья соединены в виде замкнутых контуров, управляемых несколькими приводами одновременно. Они обладают высокой жесткостью и точностью, а также дают возможность работы с высокими нагрузками. Но у данной структуры ограниченная рабочая зона и высокая сложность в управлении и программировании. Используется в станках с ЧПУ, хирургической робототехнике, авиакосмической промышленности.

Гибридная структура - комбинирует элементы последовательных и параллельных схем, сочетая их преимущества. У данной схемы оптимальный баланс гибкости и жесткости и присутствует улучшенная точность при сохранении подвижности. Однако, она сложна в конструкции и управлении. Так же данная схема обладает более высокой стоимостью в производстве. Используется в автоматизированных сборочных системах, высокоточных манипуляторах и мобильных роботах.

Последовательные манипуляторы обеспечивают гибкость, параллельные – жесткость и точность, а гибридные совмещают их преимущества для сложных задач.

В робототехнике применяются три основных типа приводов: электрические, гидравлические и пневматические. Каждый из них обладает своими особенностями, преимуществами и областями применения.

Электрические приводы используют электродвигатели (серводвигатели, шаговые двигатели или асинхронные моторы) для приведения в движение механических частей робота. Управляются электронными контроллерами, обеспечивающими высокую точность и адаптивность. Данные приводы хороши тем, что они обладают высокой точностью и плавностью движений. Являются экономичными и энергоэффективными. Просты в управлении и дают возможность интегрировать с компьютерными системами. Чистота работы (нет утечек масла или воздуха). К сожалению, у данных приводов ограниченный крутящий момент (по сравнению с гидравлическими системами). Есть вероятность перегрева при высокой нагрузке. Ограниченная мощность для работы с тяжелыми грузами. Используются в промышленных манипуляторах, 3D-принтерах, медицинской робототехнике, а также в сервисных и мобильных роботах.

Гидравлические приводы работают за счет давления жидкости (обычно масла), которое передает энергию от насоса к исполнительным механизмам, создавая значительное усилие. Данные приводы обладают высокой мощностью и способностью поднимать тяжелые грузы. Надежны и устойчивы к перегрузкам. Хороши в управляемости при работе с большими нагрузками. Однако у них очень сложная система, появляется необходимость в насосах, трубопроводах и масле. Из-за этого могут возникнуть утечки масла, требующие технического обслуживания. Они менее точны в управлении по сравнению с электрическими приводами. Используются в роботах для тяжелых условий эксплуатации, строительной технике, гидравлических манипуляторах и авиационной промышленности.

Пневматические приводы используют сжатый воздух для перемещения исполнительных механизмов, таких как цилиндры или роторные моторы. Преимущества данных приводов заключаются в простоте конструкции и в её надежности, в высокой скорости работы, а также в малом весе и компактности. Из недостатков в данных приводах мы можем выделить ограниченную точность позиционирования. Необходимость в компрессоре и системе подготовки воздуха, а также в высокой шумности при работе. Используются в сборочных линиях, упаковочных роботах, автоматизированных производственных системах и медицинской технике.

Выбор типа привода зависит от конкретных задач. Электрические приводы подходят для точных и интеллектуальных операций, гидравлические – для работы с тяжелыми нагрузками, а пневматические – для быстрых и простых действий в автоматизированных процессах.

В робототехнике различают три основные системы координат манипуляторов: декартовую, цилиндрическую и сферическую. Каждая из них определяет способ перемещения исполнительного механизма и влияет на рабочее пространство робота.

Декартовая система координат (XYZ-координаты) - манипулятор двигается вдоль трех взаимно перпендикулярных осей (X, Y, Z), образуя прямоугольное рабочее пространство. Преимущество данной системы координат в том, что она обладает высокой точностью и простота в управлении, легко программировать траектории, а также в жесткости конструкции. Однако в данной системе есть и недостатки, к примеру в ограниченной маневренности, а также в больших габаритах и сложности интеграции в ограниченном пространстве. Используется в порталных роботах, 3D-принтерах, станках с ЧПУ, лазерных и плазменных установках.

Цилиндрическая система координат - манипулятор перемещается по оси Z (вверх-вниз), радиально от центра (R) и вокруг вертикальной оси (θ), образуя цилиндрическое рабочее пространство. Они имеют хороший доступ к объектам по дуговым траекториям, просты в конструкции, ноу них ограниченная свобода движений по сравнению со сферическими системами и низкая жесткость конструкции при больших вылетах. Используется в складской автоматизации, паллетировании, сборочных линиях и лабораторных роботах.

Сферическая система координат - манипулятор двигается вокруг двух вращательных осей (θ , ϕ) и вдоль радиального вылета (R), создавая сферическое рабочее пространство.

Плюсы данной системы координат в большой маневренности и возможности работы в труднодоступных местах и компактны в конструкции. Минусами является сложность управления и программирования, а также необходимость точных приводов для плавных движений. Широко применяется в промышленных манипуляторах, сварочных роботах, сборочных процессах и медицинской робототехнике.

Выбор системы координат зависит от задач робота. Декартовые манипуляторы обеспечивают высокую точность, цилиндрические подходят для работы с радиальными движениями, а сферические обеспечивают максимальную гибкость и маневренность. Современные манипуляционные системы оснащены датчиками обратной связи, обеспечивающими точность движения.

2. Управление манипуляционными системами.

Процесс управления манипуляторами включает несколько ключевых этапов:

Сбор данных:

- Фиксация текущего положения, скорости и нагрузки на приводы.
- Использование сенсоров, энкодеров и систем обратной связи.
- Оценка окружающей среды для предотвращения столкновений.

Обработка информации:

- Планирование траекторий движения на основе входных данных.
- Коррекция маршрута в режиме реального времени.
- Применение алгоритмов адаптивного управления для оптимизации работы.

Исполнение команд:

- Приведение манипулятора в движение с учетом заданных параметров.
- Контроль точности выполнения операций, включая лазерную резку.
- Автоматическая корректировка в случае отклонений.

Использование адаптивных систем управления позволяет роботу самостоятельно изменять траекторию в зависимости от внешних условий, повышая точность и надежность выполнения задач. Для повышения точности используются адаптивные системы управления, позволяющие роботам самостоятельно корректировать траекторию движения.

3. Автоматизация и перспективы развития.

Развитие технологий направлено на создание интеллектуальных систем управления, включающих:

- Искусственный интеллект для оптимизации маршрутов резки.
- Компьютерное зрение для автоматического контроля качества.
- Интеграцию с облачными платформами для мониторинга работы оборудования.

Внедрение таких решений позволит повысить эффективность лазерной резки и минимизировать производственные затраты.

Таким образом, современные манипуляционные системы технологических роботов играют ключевую роль в автоматизации процессов лазерной резки, обеспечивая высокую точность, гибкость и надежность операций. Использование различных кинематических схем, типов приводов и систем координат позволяет адаптировать манипуляторы к специфическим производственным задачам. Современные методы управления, включая адаптивные алгоритмы и ис-

кусственный интеллект, значительно повышают эффективность работы роботов, минимизируя ошибки и сокращая затраты на производство. Дальнейшее развитие автоматизированных комплексов связано с внедрением интеллектуальных технологий, интеграцией с облачными сервисами и расширением возможностей машинного зрения. Эти инновации позволят создать более автономные и эффективные системы, способные адаптироваться к меняющимся условиям производства. Таким образом, совершенствование манипуляционных систем и их управления будет способствовать повышению качества лазерной обработки и развитию высокотехнологичных отраслей промышленности.

Список литературы

1. Мир робототехники. – URL: <https://roboticsworld.ru/news/top-5-trendov-robototekhniki-2025-goda/> (дата обращения: 27.03.2025).
2. Hi-News.ru. – URL: <https://hi-news.ru/technology/sozdan-robot-dlya-avtomaticheskoy-ochistki-snega-na-bolshix-territoriyah.html?ysclid=m8ww2gitvd548624465> (дата обращения: 27.03.2025).

References

1. The world of robotics. – URL: <https://roboticsworld.ru/news/top-5-trendov-robototekhniki-2025-goda/> (date of access: 27.03.2025).
2. Hi-News.ru. – URL: <https://hi-news.ru/technology/sozdan-robot-dlya-avtomaticheskoy-ochistki-snega-na-bolshix-territoriyah.html?ysclid=m8ww2gitvd548624465> (date of access: 27.03.2025).