

Е. Н. Захаров, И. А. Несмиянов, Н. С. Воробьева, А. Г. Иванов, Н. В. Бабоченко

**ПРИНЦИП РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
МАНИПУЛЯТОРОМ-ТРИПОДОМ**

Волгоградский государственный аграрный университет

evgeny_zakharov@mail.ru, ivan_nesmiyanov@mail.ru, vgsxa@mail.ru,

leha_2106@list.ru, nat-krivelskaya@mail.ru

Статья посвящена разработке принципа реализации интеллектуального управления манипулятором-триподом с использованием средств экспертной системы. Рассматривается интеграция технологий искусственного интеллекта для обеспечения высокоэффективного и адаптивного управления триподом, предназначенным для выполнения сложных манипуляций в условиях динамической среды. В статье описаны ключевые особенности системы управления манипулятором-триподом, а также роль экспертных систем в обработке и анализе данных для принятия оптимальных управляющих воздействий.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, экспертная система, автоматизация, манипулятор-трипод, позиционирование.

E. N. Zakharov, I. A. Nesmiyanov, N. S. Vorobyova, A. G. Ivanov, N. V. Babochenko

**THE PRINCIPLE OF IMPLEMENTING INTELLIGENT CONTROL
OF A MANIPULATOR-TRIPOD**

Volgograd State Agrarian University

The article is devoted to the development of the principle of implementing intelligent control of a tripod manipulator using expert system tools. The integration of artificial intelligence technologies to ensure highly efficient and adaptive control of a tripod designed to perform complex manipulations in a dynamic environment is considered. The article describes the key features of the tripod manipulator control system, as well as the role of expert systems in data processing and analysis to make optimal control actions.

Keywords: intelligent control, expert system, automation, tripod arm, positioning.

В условиях быстрого совершенствования технологий автоматизации и робототехники одним из ключевых элементов, обеспечивающих их развитие, являются манипуляторы. Они играют важную роль в повышении эффективности и производительности технологических процессов, способствуя более рациональному использованию ресурсов и времени [1].

Известна конструкция манипулятора параллельно-последовательной структуры, состоящая из четырех управляемых исполнительных

цилиндров (рис. 1). Цилиндры 1–3 закреплены на треугольном поворотном основании 5 при помощи двух подвижных шарниров, их противоположные концы соединены специальным шарнирным узлом 6, к которому крепится захват. Цилиндр 4 позволяет менять угол положения поворотного основания относительно его оси, что увеличивает рабочую зону манипулятора. Данная конструкция обладает высокой жесткостью и точностью позиционирования [2].

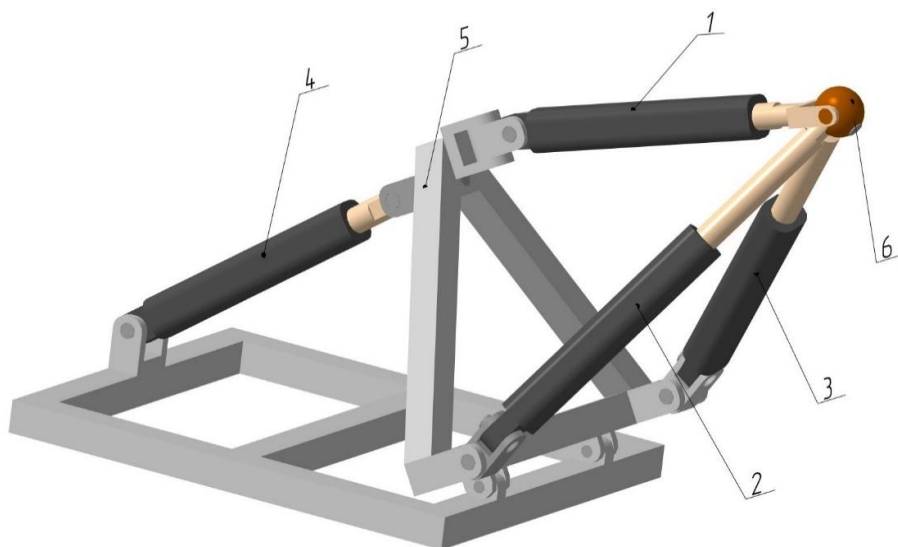


Рис. 1. Манипулятор-трипод с четырьмя исполнительными звеньями

Управление таким манипулятором требует интеграции сложных алгоритмов и методов искусственного интеллекта для обеспечения точности, адаптивности и устойчивости его работы в различных условиях [3–5]. Исследование принципов реализации интеллектуального управления с использованием экспертных систем позволяет разрабатывать новые подходы, которые могут значительно улучшить характеристики манипулятора и расширить их возможности в самых разных отраслях [6].

Для повышения автономности, адаптивности и эффективности работы предлагается интегрировать экспертную систему с системой управления манипулятором [7]. Экспертная система (ЭС) – это программа, основанная на правилах (базе знаний) и логике принятия решений, которая имитирует рассуждения эксперта в конкретной области [8]. То есть в данном случае она принимает решения на основе входных данных, получаемых, например, с камер или датчиков, и формирует команды для контроллера манипулятора, такие как «взять деталь», «избежать

столкновения» и др. База знаний представляет собой базу возможных элементарных перемещений исполнительного органа манипулятора для реализации элементарных траекторий в пространстве. Реализация интеллектуального управления манипулятором-триподом с интегрированной экспертной системой требует комплексного подхода, включающего моделирование, разработку алгоритмов, интеграцию экспертной системы и тщательное тестирование. Такая система позволит значительно повысить эффективность и надежность работы манипулятора в различных условиях.

Одним из самых важных аспектов является разработка алгоритмов для оптимального планирования траекторий грузозахватного органа [9]. ЭС сможет анализировать текущую информацию о положении и состоянии устройства, а также о характеристиках внешней среды, включая препятствия и другие объекты. На основе этих данных система управления сформирует оптимальную траекторию, минимизировав инерционные нагрузки и энергозатраты.

Для обеспечения точного позиционирования захвата с учетом ограничений на перемещение звеньев манипулятора-трипода в пространстве и обхода препятствий, нужно разработать специализированное программное обеспечение, которое сможет равномерно распределять избыточные управляющие сигналы между всеми звеньями манипулятора, так как если одно из звеньев достигает границы своей рабочей зоны, другие звенья могут сохранять

возможность перемещения в пределах своих областей. Это позволит достичь требуемого положения выходного звена за счет корректировки движения остальных звеньев [10]. Такой способ управления можно назвать координатно-согласованным распределенным управлением.

Схема системы управления с блоком координатно-согласованного распределенного управления представлена на рис. 2.

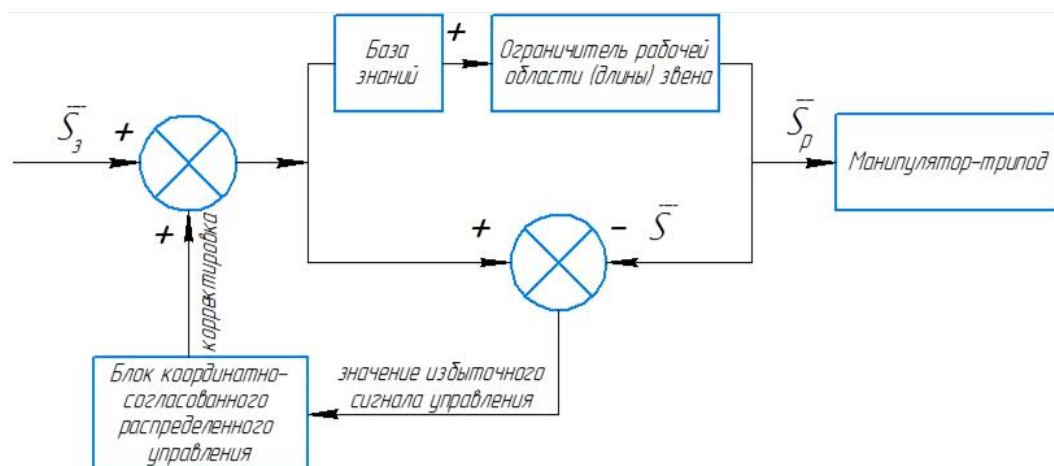


Рис. 2. Схема системы интеллектуального управления

Система получает входные данные о требуемом положении или движении каждого звена манипулятора в виде задающего вектора линейного перемещения $\vec{S}_3$. На основе полученных данных рассчитываются необходимые координаты каждого элемента. Система распределяет задачи между управляемыми элементами с учетом их текущих положений и ограничений по рабочей области. Чтобы достичь заданной цели, обеспечивается согласованное движение всех элементов. Во время перемещения захвата система получает обратную связь от датчиков, установленных на каждом звене, в виде задающего вектора линейного перемещения $\vec{S}_3$ и реального вектора $\vec{S}$, блока координатно-согласованного распределенного управления, что позволяет корректировать их движение, получив сигнал в виде результирующего вектора $\vec{S}_p$.

Предложенный блок управления, как программный компонент, нуждается в настройке с использованием численных коэффициентов [11]. Эти коэффициенты используются для корректировки вектора линейных перемещений звеньев манипулятора. Вычисление коэффициентов будет осуществляться после выбора траектории движения выходного звена. Неизмен-

ной величиной должно оставаться положение конечного звена, а относительно него устройство вычисляет положения других звеньев. Также эта система задействована для распределения управляющих воздействий приводам так, чтобы механизм смог избежать нежелательных столкновений.

Экспертная система позволит запрограммировать в блоке координатно-согласованного распределенного управления условия распределения излишнего управляющего воздействия на другие доступные звенья. С точки зрения экспертной системы, основным методом позиционирования манипулятора является решение обратной задачи кинематики, поскольку заданное положение конечного звена является ключевым условием для его точного выполнения. Механизм принятия решения представлен в виде блок-схемы на рис. 3.

Решение обратной задачи кинематики сложнее, чем решение прямой. Сложность заключается не только в определении числа доступных решений, но и в выборе наиболее подходящих из них.

Для этого сначала экспертной системе необходимо вычислить рабочую область, т. е. ту часть

пространства, которую конечное звено в принципе могло достичь с условием, что у всех звеньев нет ограничений по линейным перемещениям. После этого наложить на данную область ограни-

чения звеньев по положению и, таким образом, получить доступную рабочую область, в пределах которой и будет лежать множество возможных траекторий перемещения манипулятора.

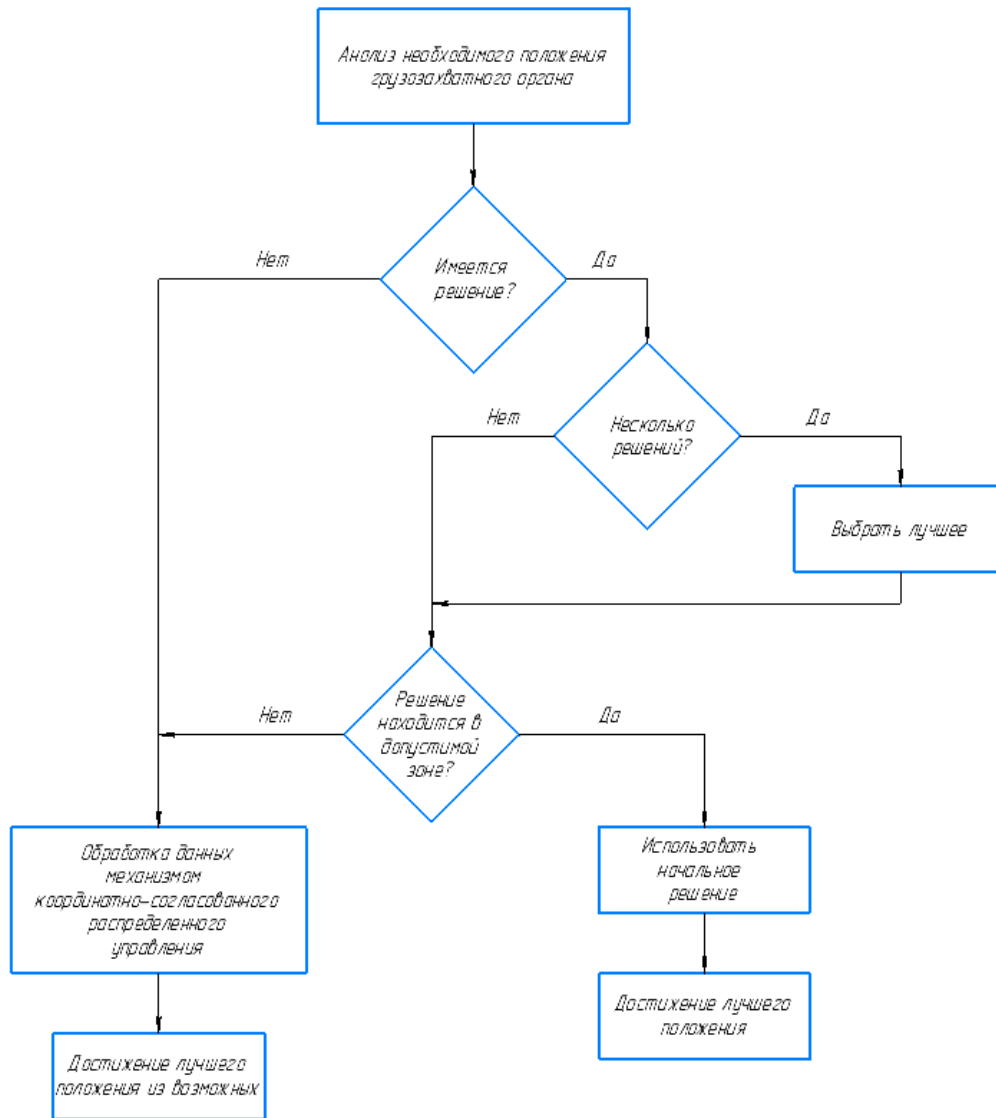


Рис. 3. Алгоритм обработки сигналов и принятия решения экспертной системой

Для обеспечения эффективного позиционирования манипулятора система управления будет руководствоваться тремя ключевыми принципами: 1) пространственной точности; 2) энергетического минимализма; 3) временного оптимума.

Когда заданное перемещение выходит за пределы допустимой области для движения звеньев, цель считается недостижимой в полном объеме. В такой ситуации активируется блок координатно-согласованного распределенного управления. Это позволяет оптимально перераспределить те части перемещений, которые невозможно выполнить конкретным зве-

ном, на другие звенья с еще не исчерпанным ресурсом перемещения. Такой подход помогает достичь положения, максимально приближенного к требуемому.

Проблема позиционирования манипулятора с учетом пространственных ограничений и решение соответствующих этому прямой и обратной кинематических задач может быть выполнена с помощью экспертной системы. Экспертные системы могут использовать знания и опыт специалистов для принятия решений и решения сложных задач, таких как управление роботами и манипуляторами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Скворцов, Е. А.* Переход сельского хозяйства к цифровым, интеллектуальным и роботизированным технологиям / Е. Г. Скворцова, И. С. Санду, Г. А. Иовлев // Экономика региона. – 2018. – Т. 14, № 3. – С. 1014–1028.
2. *Воробьева, Н. С.* Исследование манипуляторов параллельно-последовательной структуры на базе трипода / Н. С. Воробьева, И. А. Несмиянов, В. В. Жога [и др.]. – Волгоград : Волгоградский государственный аграрный университет, 2022. – 272 с.
3. Патент № 219687 U1 Российская Федерация, МПК В25J 13/02. Устройство ручного управления манипулятором-триподом / Е. Н. Захаров, И. А. Несмиянов, А. Г. Иванов, А. Ю. Китов; ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет». – 2023.
4. Свидетельство № 2021619638 Российская Федерация. Динамическая модель управления манипулятором-триподом по задаваемой траектории / В. В. Дяшкин-Титов, И. А. Несмиянов, В. В. Жога [и др.]; ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет». – 2021.
5. Свидетельство № 2021619639 Российская Федерация. Программа для реализации алгоритма управления манипулятором-триподом компенсационного типа / В. В. Дяшкин-Титов, В. В. Жога, Н. С. Воробьева [и др.]; ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет». – 2021.
6. *Несмиянов, И. А.* Моделирование геометрико-статистических характеристик манипулятора-трипода / И. А. Несмиянов, Н. С. Воробьева, В. В. Дяшкин-Титов // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2024. – № 17. – С. 60–64.
7. *Савченко, О. Ф.* Методологические аспекты создания информационных систем в сельском хозяйстве // Достижения науки и техники АПК. – 2006. – № 11. – С. 5–10.
8. Экспертные системы: принципы работы и примеры / А. Брукинг [и др.]; под ред. Р. Форсайта; пер. с англ. С. И. Рудаковой; под ред. В. Л. Стераника. – М. : Радио и связь, 1987. – 220 с.
9. *Воробьева, Н. С.* Синтез программных перемещений и алгоритмов систем управления реконфигурируемых манипуляторов параллельно-последовательной структуры : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, 2023. – 473 с.
10. *Mutambara, A. G.* A framework for a Supervisory Expert System for Robotic Manipulators with Joint-Position Limits and Joint Rate Limits / A. G. Mutambara, J. Litt // – National Aeronautics and Space Administration, Lewis Research Center, 1998. – 22 p.
11. *Частиков, А. П.* Экспертная система позиционирования манипулятора с учетом ограничений по положению / А. П. Частиков, В. Г. Корниенко, К. Е. Тотухов // Перспективы развития информационных технологий. – 2011. – № 3–1. – С. 156–160.