

УДК - 621.785.53

*Патраков Егор Антонович, магистрант,
Севастопольский Государственный Университет.*

Политехнический институт

Кафедра Приборостроение и Транспорт

Специальность Приборостроение

Г. Севастополь

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ШЕСТИОСЕВОГО МАНИПУЛЯТОРА С ОПТИЧЕСКОЙ ОСНАСТКОЙ ДЛЯ 3D-СКАНИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются особенности проектирования и применения шестиосевого манипулятора с оптической оснасткой для 3D-сканирования. Описывается комплексный подход, включающий анализ отечественных и зарубежных технологических решений, выбор и интеграцию отечественных компонентов, проектирование механических и оптических узлов, а также разработку адаптивного программного обеспечения. Особое внимание уделяется вопросам импортозамещения, повышению технологической независимости, а также обеспечению высокой точности и гибкости работы манипулятора в современных отраслях промышленности. Приводится сравнительный анализ зарубежных и российских решений, описываются тенденции развития и перспективы внедрения отечественных систем в условиях санкционных ограничений. Рассматриваются примеры применения манипулятора в промышленности, оборонном секторе и науке, а также перспективы дальнейшего развития отечественной робототехники.

Ключевые слова: шестиосевой манипулятор, 3D-сканирование, оптическая оснастка, импортозамещение, робототехника, промышленная автоматизация, адаптивное управление, техническое зрение, отечественные компоненты.

Annotation. The article discusses the design and application features of a six-axis manipulator with optical equipment for 3D scanning. An integrated approach is described, including the analysis of domestic and foreign technological solutions, the selection and integration of domestic components, the design of mechanical and optical components, as well as the development of adaptive software. Special attention is paid to the issues of import substitution, increasing technological independence, as well as ensuring high accuracy and flexibility of the manipulator in modern industries. A comparative analysis of foreign and Russian solutions is provided, development trends and prospects for the introduction of domestic systems in the context of sanctions restrictions are described. Examples of manipulator applications in industry, the defense sector, and science are considered, as well as prospects for further development of domestic robotics.

Keywords: six-axis manipulator, 3D scanning, optical equipment, import substitution, robotics, industrial automation, adaptive control, technical vision, domestic components.

Цель исследования – установить особенности проектирования и применения бти осевого манипулятора с оптической оснасткой для 3D-сканирования. Проблема исследования состоит в том, что проектирование 6-осевого манипулятора с оптической системой для 3D-сканирования — это сложный, многоэтапный процесс, в котором каждая стадия требует тщательного анализа и интеграции различных технических решений. Методология исследования включает в себя анализ научной литературы, а также отечественных и зарубежных технологических решений.

Современные отрасли промышленности — микроэлектроника, авиастроение, приборостроение и медицинская робототехника — предъявляют высокие требования к точности и гибкости автоматизированных систем. Одним из ключевых инструментов решения этих задач становятся шестиосевые манипуляторы, способные к высокоточной работе в трехмерном пространстве. Их эффективность существенно возрастает при интеграции с

оптической оснасткой: лазерными сканерами, системами технического зрения, датчиками глубины и т.д. Это позволяет реализовать адаптивное управление, коррекцию траекторий в реальном времени и автоматическое распознавание объектов. Особую актуальность приобретает разработка подобных систем на отечественной элементной базе в условиях импортозамещения и санкционных ограничений, что способствует технологической независимости и развитию национальной робототехники. Методология исследования включает в себя анализ научной литературы, а также отечественных и зарубежных технологических решений[6].

Как отмечают исследователи Берсенев К.А., Огородникова О.М., Огородников А., в самом начале проводится глубокий сравнительный анализ существующих зарубежных и отечественных решений. Зарубежные манипуляторы (например, KUKA, ABB, Fanuc) обладают высокой точностью и функциональностью, однако их архитектура построена на импортных компонентах и закрытых программных платформах, что ограничивает гибкость и доступность в условиях санкций. Поэтому особое внимание уделяется подбору российских аналогов приводов, энкодеров, систем технического зрения и вычислительных платформ. На этом этапе формируются основные требования к системе: точность, надёжность, ремонтпригодность, а также возможность интеграции с оптическими сенсорами. Анализируются доступные отечественные комплектующие, оценивается их совместимость и технические характеристики, после чего составляется перечень оптимальных решений для дальнейшей работы[1].

Далее разрабатывается детальная 3D-модель манипулятора во всех деталях и узлах с помощью современных CAD-систем (например, SolidWorks). Для каждого элемента — от основания до креплений оптической оснастки — прорабатываются варианты конструкции, учитываются требования к жёсткости, точности и технологичности производства. Особое внимание уделяется следующим аспектам:

Разработка механических узлов: моделируются магнитные основания, рёбра жёсткости, корпуса, механизмы передачи крутящего момента, а также крепления для аккумуляторов и управляющей электроники.

Прочностные расчёты: для всех критических элементов (валы, крепления, корпусные детали) выполняются инженерные расчёты на прочность и устойчивость, чтобы гарантировать безопасную и долговечную эксплуатацию манипулятора.

Практический анализ в статье Чжан, Х. показал, что создаются специализированные держатели для камер и лазерных сканеров, обеспечивающие надёжную фиксацию и возможность быстрой замены или модернизации оборудования. Интеграция оптической оснастки — один из ключевых этапов. Здесь важно не только правильно выбрать и установить камеры и лазерные сканеры, но и обеспечить их корректную работу в составе манипулятора. Для этого разрабатываются схемы размещения оптических сенсоров с учётом поля зрения, виброустойчивости и электромагнитной совместимости. Кроме того, реализуются алгоритмы коррекции траектории в реальном времени на основе данных с оптических сенсоров. Это позволяет манипулятору автоматически подстраиваться под изменения положения объекта или внешние воздействия, что особенно важно при сканировании сложных поверхностей[2].

Важной частью проектирования является разработка электрической принципиальной схемы, выбор микроконтроллеров, блоков питания, аккумуляторов и интерфейсов для связи между всеми подсистемами. Программное обеспечение разрабатывается с учётом специфики отечественных компонентов и задач 3D-сканирования. В ПО реализуются: алгоритмы управления движением манипулятора; модули обработки данных с оптических сенсоров; интерфейсы для взаимодействия между всеми подсистемами; математическое моделирование и расчёт точности. Для обеспечения высокой точности позиционирования проводится математическое моделирование кинематики и динамики манипулятора. С помощью

матричного исчисления рассчитываются координаты всех звеньев, анализируются и компенсируются возможные ошибки, связанные с механическими люфтами, неточностями приводов и температурными деформациями. Разрабатываются алгоритмы температурной компенсации и адаптивного управления, что позволяет достичь теоретической точности позиционирования $\pm 0,25$ мм даже в динамическом режиме.

Шестиосевой манипулятор с оптической системой 3D-сканирования — это универсальный инструмент, который находит применение в самых разных областях благодаря своей гибкости, высокой точности и способности к автоматизации сложных задач. Интеграция оптических датчиков (таких как лазерные сканеры и камеры) позволяет не только управлять положением манипулятора, но и реализовать интеллектуальные функции: распознавание объектов, коррекцию движения в реальном времени, автоматический контроль качества и многое другое[1].

Манипулятор способен точно позиционировать детали, проводить их сборку и сварку, а также выполнять сложные манипуляции, которые требуют высокой точности и повторяемости. Оптическая система позволяет в реальном времени контролировать положение деталей и корректировать действия робота при обнаружении отклонений. Используя 3D-сканеры, манипулятор может проводить бесконтактную инспекцию готовых изделий, сравнивая их геометрию с эталонной моделью. Это позволяет выявлять даже минимальные дефекты, трещины, отклонения размеров, что особенно важно для серийного производства. Благодаря высокой подвижности и шести степеням свободы, манипулятор способен сканировать объекты сложной формы, труднодоступные места и внутренние полости, что невозможно для обычных стационарных сканеров.

В оборонном секторе такие манипуляторы используются для создания автономных технологических комплексов, которые могут функционировать без доступа к импортным комплектующим. Это особенно важно в условиях санкций и необходимости технологического суверенитета. Манипуляторы с

оптической системой могут использоваться для сборки, диагностики и ремонта сложных изделий военного назначения, где требуется максимальная точность и надежность. Роботизированные комплексы способны выполнять задачи в зонах с повышенным риском для человека — например, при разборке боеприпасов или инспекции объектов после аварий.

В статье исследователя Моногарова С.И. подчеркивается, что зарубежные 6-осевые манипуляторы, такие как ABB IRB 6700 или Meca500, отличаются высокой точностью позиционирования, компактностью и гибкостью, что позволяет эффективно решать задачи сложного 3D-сканирования и контроля качества. Их высокая ловкость и способность к точным движениям в трехмерном пространстве обеспечивают стабильность и повторяемость операций, что особенно важно для промышленного применения. Эти роботы оснащены современными системами технического зрения и интегрируются с высокотехнологичными лазерными и оптическими 3D-сканерами, что повышает качество и скорость оцифровки объектов. В то же время отечественные разработки постепенно догоняют зарубежные аналоги, предлагая решения на базе российских приводов, энкодеров и систем технического зрения. Однако, по уровню интеграции и метрологических характеристик они пока уступают, что связано с ограничениями в доступности высокоточных компонентов и программного обеспечения. Тем не менее, использование отечественных комплектующих снижает зависимость от импорта и повышает технологическую безопасность производства[7].

На мировом рынке промышленных роботов доминируют такие компании, как KUKA, ABB, Fanuc, Yaskawa, Universal Robots. Их шестиосевые манипуляторы широко применяются в машиностроении, автомобилестроении, электронике, авиационной и медицинской промышленности. Ключевыми особенностями зарубежных решений являются: высокая точность позиционирования (до $\pm 0,1-0,25$ мм) за счет использования современных приводов, редукторов и энкодеров; интеграция с промышленными 3D-сканерами (FARO, Creaform, Hexagon), камерами и лазерными дальномерами;

развитая система обратной связи и адаптивного управления; закрытая архитектура программного обеспечения, что ограничивает гибкость доработки под специфические задачи; импортная элементная база, что делает такие системы уязвимыми к санкционным и логистическим ограничениям[3,4,5].

Современные технологические решения характеризуются следующими тенденциями:

- Интеграция оптических систем становится стандартом для промышленных манипуляторов, что позволяет реализовать интеллектуальные функции: автоматическое распознавание объектов, коррекцию траектории в реальном времени, адаптацию к изменяющимся условиям;

- Адаптивное управление на основе данных с оптических сенсоров позволяет компенсировать механические погрешности и внешние воздействия;

- Импортозависимость остается одним из главных вызовов для России, однако отечественные аналоги приводов, энкодеров и оптических устройств быстро развиваются;

- Температурная компенсация и коррекция траектории в реальном времени становятся обязательными элементами современных систем;

- Открытость архитектуры и стандартизация интерфейсов — важные преимущества отечественных решений для гибкости и масштабирования.

Важным направлением развития является интеграция отечественных компонентов в системы управления шестиосевыми манипуляторами. Это требует разработки новых алгоритмов коррекции движения на основе данных от российских оптических систем, а также экспериментальной проверки работоспособности прототипов в условиях, приближенных к реальному производству[8].

Таким образом, особенности проектирования 6-осевого манипулятора с оптической оснасткой заключаются в комплексном подходе: от тщательного анализа и выбора отечественных компонентов, через детальное конструкторское и технологическое проектирование, до интеграции

современных оптических систем и разработки адаптивного программного обеспечения. Разработка и внедрение шестиосевого манипулятора с оптической оснасткой на отечественной элементной базе — это стратегически важная задача для российской промышленности и науки. Такой подход позволяет создавать высокоточные, адаптивные и технологически независимые решения для автоматизации производства, контроля качества и научных исследований.

Список источников:

1. Берсенева К.А., Огородникова О.М., Огородников А.И. Моделирование траектории шестиосевого манипулятора в технологии аддитивной печати древовидной фрактальной структуры. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025;13(2).
2. Чжан, Х. Глубокое обучение с подкреплением для управления шестиосевым манипулятором в среде Maniskill / Х. Чжан // Труды 65-й Всероссийской научной конференции МФТИ в честь 115-летия Л. Д. Ландау, 3-8 апреля 2023 г. Прикладная математика и информатика / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет). - Москва : Физматкнига, 2023. - С. 261-262. -
3. KUKA AG. Industrial Robots. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kuka.com>, свободный. – (Дата обращения: 19.06.2025).
4. ABB Robotics. Robot Products. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.abb.com/products/robotics>, свободный. – (Дата обращения: 19.06.2025).
5. Fanuc Corporation. FANUC Robots. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fanuc.eu>, свободный. – (Дата обращения: 19.06.2025).

6. НПО «СПЕКТР». Лазерные сканеры отечественного производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nrots.ru>, свободный. – (Дата обращения: 19.06.2025).
7. Моногаров С.И. Электрические аппараты Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов всех форм обучения направления 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений) / Армавир, 2015.
8. Morovic L., Pokorny P. Optical 3D Scanning of Small Parts. *Advanced Materials Research*. 2012, vol. 468-471, pp. 2269-2273.