

4. Ковальчук С. А. Проектирование пользовательских интерфейсов. – Минск: БГУИР, 2020.
5. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Объекты автоматизации в энергетике» для студентов специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» профилизации «Автоматизация технологических процессов и производств в энергетике» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Робототехнические системы»; сост. И. И. Гутич. – Минск : БНТУ, 2025.

УДК 681.5

## **ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ДЕЛЬТА-РОБОТА, РАЗРАБОТАННОГО С ЦЕЛЮ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ**

Слизавский М.О., Вороник Л.Ч.

Научный руководитель – Матрунчик Ю.Н., ст. преподаватель, Марченко И.С.

Дельта-роботы применяются в сферах, где критически важны быстрота выполнения операций и точность позиционирования. Основной областью их применения является автоматизация задач захвата, перемещения и укладки объектов с малой массой. За счет своей высокой скорости и малой инерции дельта-роботы превосходят распространённые промышленные манипуляторы и являются предпочтительным выбором для комплектации производственных линий с большим объёмом повторяющихся операций.

Использование собственного дельта-робота в процессе обучения студентов позволит им научиться расчетам, проектированию, сборке и программированию роботов с параллельной кинематикой, что является сложными инженерными задачами [1]. Основными преимуществами разработанного дельта-робота является возможность адаптации его конструкции и программы управления под различные учебные цели, имитирующие настоящее производство. Для достижения описанного результата необходимо использование аппаратной части дельта-робота доступной по стоимости и легкой в освоении.

Конструкция дельта-робота состоит из верхней неподвижной платформы, на которой строго под  $120^\circ$  располагаются электроприводы. Каждый электродвигатель перемещает верхнее звено. Верхние и нижние звенья соединены с помощью сферического шарнира. Нижние звенья и нижняя платформа (фланец робота, к которому крепятся исполнительные

механизмы) также соединены с помощью сферических шарниров. Такая конструкция обеспечивает три степени свободы вдоль осей X, Y и Z [2].

При моделировании деталей необходимо предусмотреть их точную симметричность и наименьший вес. Так, например звенья, нельзя проектировать большими и тяжелыми, так как это создаст лишнюю инерцию, которая уменьшит точность позиционирования. Также для деталей требуется подобрать легкие, но прочные материалы для изготовления. Наилучшим выбором является изготовление из алюминия и пластика. Предусмотрев эти факторы, нагрузка на приводы будет снижена, а конструкция будет достаточно легкой и жесткой. После моделирования необходимо подготовить конструкторскую документацию для дальнейшего изготовления.

С практической точки зрения проект подтвердил возможность сборки дельта-робота из доступных компонентов. Механическая часть была собрана из алюминиевых профилей и деталей, изготовленных методом 3D-печати.

Расчет электродвигателя производится с учетом максимальной его нагрузки при горизонтальном положении верхнего и нижнего звеньев. Расчет и выбор редуктора происходит с учетом необходимости наименьших люфтов, габаритов и сложности производства. Так в результате расчетов и подбора выгодно применение электродвигателя модели NEMA 17 и волнового редуктора с телами качения с передаточным отношением 1:7 [3].

В качестве управляющего устройства используется плата Arduino Mega 2560 с микроконтроллером Atmega2560, обладающая широкими возможностями подключения периферии. На плату Arduino установлена плата расширения RAMPS 1.4, обеспечивающая интерфейс подключения других компонентов и позволяющая дальнейшую модификацию системы [4].

Для управления шаговыми двигателями выбраны драйвера A4988 и концевые выключатели, подключенные к плате расширения. Концевые выключатели ограничивают рабочую зону робота, обеспечивая безопасность работы и точку отсчета для калибровки движения.

В прошивке дельта-робота реализована логика обработки G-кода. Координаты преобразуются в углы поворота приводов с применением методов обратной кинематики. Геометрия робота, приём команд, расчёт движения и управления шаговыми моторами оформлены в виде отдельных блоков. Данное решение позволяет дальше расширять систему.

Был разработан пользовательский интерфейс на языке Python. Данный интерфейс предназначен для формирования и последовательной отправки команд в формате G-кода. Программа поддерживает сохранение и загрузку файлов с командами, проверку корректности ввода и вывод сообщений об

ошибках. В отличие от готовых решений, данный интерфейс ориентирован на учебные задачи и отладку в лабораторных условиях.

Также была разработана программа для расчёта параметров профиля волнового редуктора с постоянными телами качения. Алгоритм расчёта был найден в открытом доступе, но для работы с программой требовалась среда разработки Python. В ходе работы были реализованы формы ввода данных, визуализация результата средствами *matnolib* и возможно экспорта чертежа в DXF-формате с помощью библиотеки *ezdxf*. Данная программа позволяет конструкторам и учащимся, не владеющим средой разработки Python, удобно подбирать параметры редуктора и интегрировать их в САД-системы.

Полученная установка успешно прошла испытания и продемонстрировала работоспособность в задачах позиционирования лёгких объектов. Созданный комплекс можно эффективно использовать как в рамках инженерных лабораторий, так и для демонстрации принципов автоматизации на ранних этапах обучения. Благодаря модульности и открытой архитектуре, проект может быть расширен для решения более сложных задач.

### *Литература*

1. Роль самостоятельной работы студентов в современном профессиональном образовании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-samostoyatelnoy-raboty-studentov-v-sovremennom-professionalnom-obrazovanii>
2. Сапрыкина Н. А. Синтез механизмов с кинематикой типа дельта / Н. А. Сапрыкина, А. В. Проскоков, А. А. Сапрыкин // Фундаментальные и прикладные проблемы инженерии и технологии – 2020. – С. 26-33.
3. Степанов В. С. Методика проектирования привода на основе волновой передачи с телами качения / В. С. Степанов – Москва, МАИ, 2009. – 20с.
4. Arduino® Mega 2560 Rev3 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000067-datasheet.pdf>

УДК 621.382.323

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ПОДОГРЕВА СТОЛА 3D ПРИНТЕРОВ**

Субботин С.И.

Научный руководитель – Заярный В.П., заведующий лабораторией

В последние годы огромными темпами продвигается 3D печать. Данная веха развития изготовления деталей необходимой формы имеет высокое