

**Министерство образования и науки Российской  
Федерации Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)**

Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий (ФРКТ)  
Дисциплина «Проектирование, прототипирование и производство в проектном  
формате»

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ  
«БИПЕДАЛЬНЫЙ РОБОТ»**

**Выполнили:**

Бексултанова Айкун, Б01-906

Кофанов Даниил, Б01-909

Кунавин Андрей, Б01-903

Фёдоров Михаил, Б01-905



Долгопрудный, 2023

## **1. Разработчики**

- Бексултанова Айкун: обзор статей, печать деталей, подготовка презентации, сборка.
- Кофанов Даниил: прототипирование активного голеностопа, CAD-моделирование монтажной платформы.
- Кунавин Андрей: обработка деталей после печати, сборка.
- Фёдоров Михаил: CAD-моделирование конечностей, сборка

## **2. Цель работы**

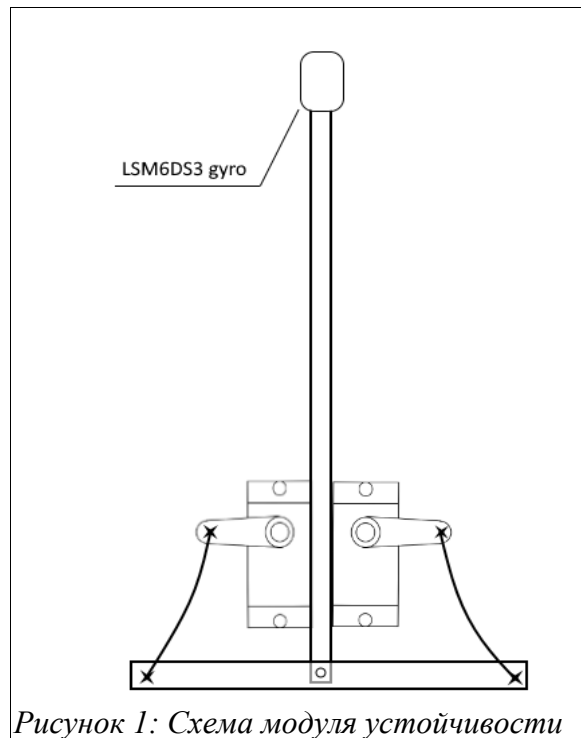
Осуществить попытку в построении двуногого робота в ограниченном бюджете, способного удерживать равновесие и шагать, понять проблемы возникающие при разработке подобных устройств и попытаться решить их самостоятельно. В виду этого, данный проект разрабатывался со стремлением к минимизации заимствования из уже существующих решений.

Основной идеей нашей модели является разделение механических узлов на две части, одна из которых ответственна только за удержание/вывод из положения равновесия, а другая служит для непосредственного выноса/возвращения конечности при шаге. Такая модель должна упростить разработку в силу минимизации интерференции в управлении этими механическими узлами, позволяя разбить это управление на 2 сабрутины. В виду этого, разработка разделилась на 2 соответствующих подпроекта.

#### ***А. Модель продольной устойчивости.***

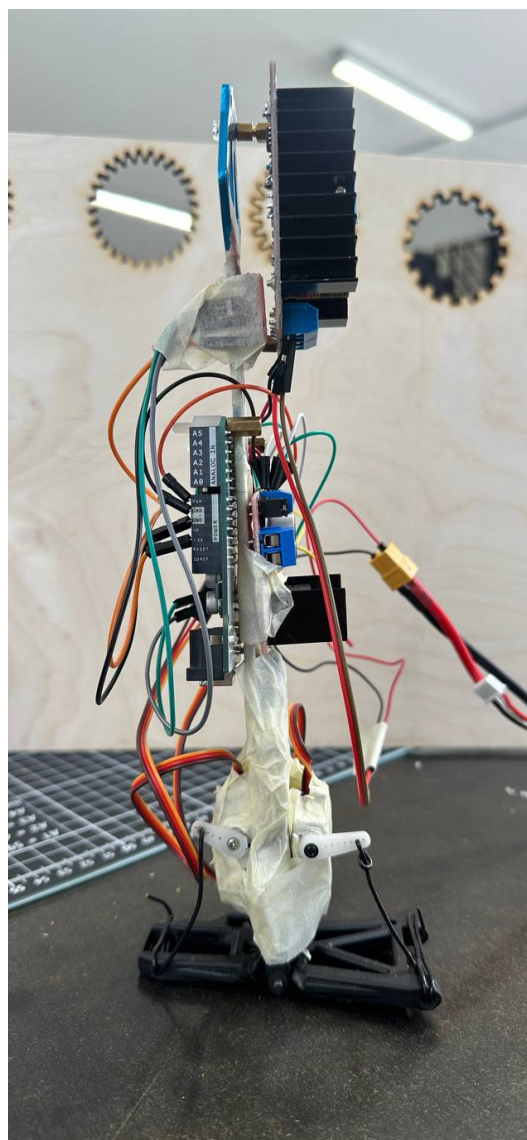
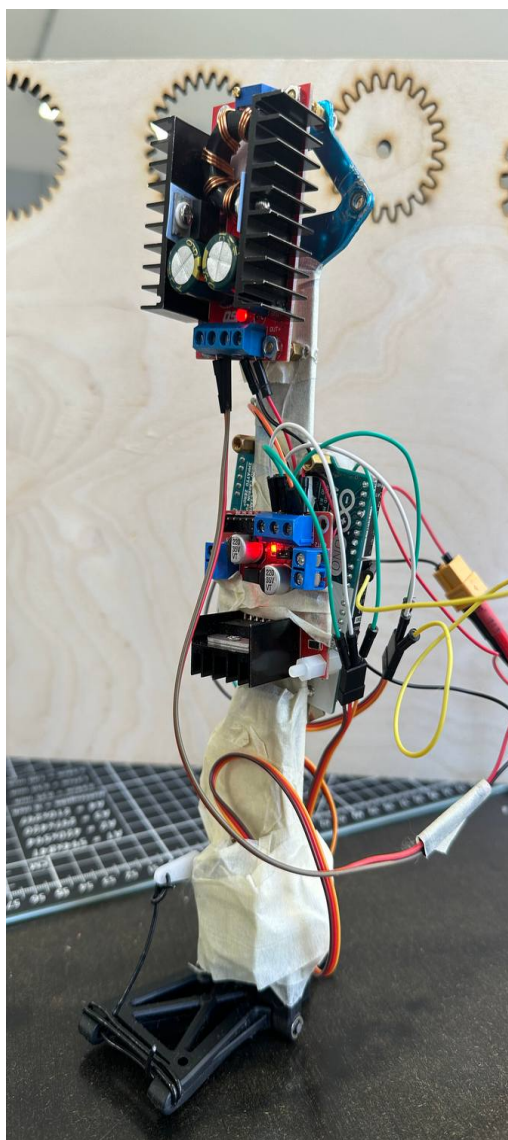
Достижение устойчивости достигается за счёт управления стопой (см. Рисунок 1). В момент выхода из положения равновесия (т.е. детектирования гироскопом ускорения) модель стремится нивелировать внешнее воздействие с помощью сервоприводов, создавая компенсирующий момент.

Стоит отметить, что отдельное изготовление этого устройства было необходимо для



*Рисунок 1: Схема модуля устойчивости*

проверки самой идеи удержания равновесия с помощью лишь стопы (т.е. при неизменной геометрии остальной части). В конечной имплементации система управления и питания так же бы были вынесены в общий корпус, поэтому внешнему виду, качеству исполнения и монтажу уделялось мало внимания.

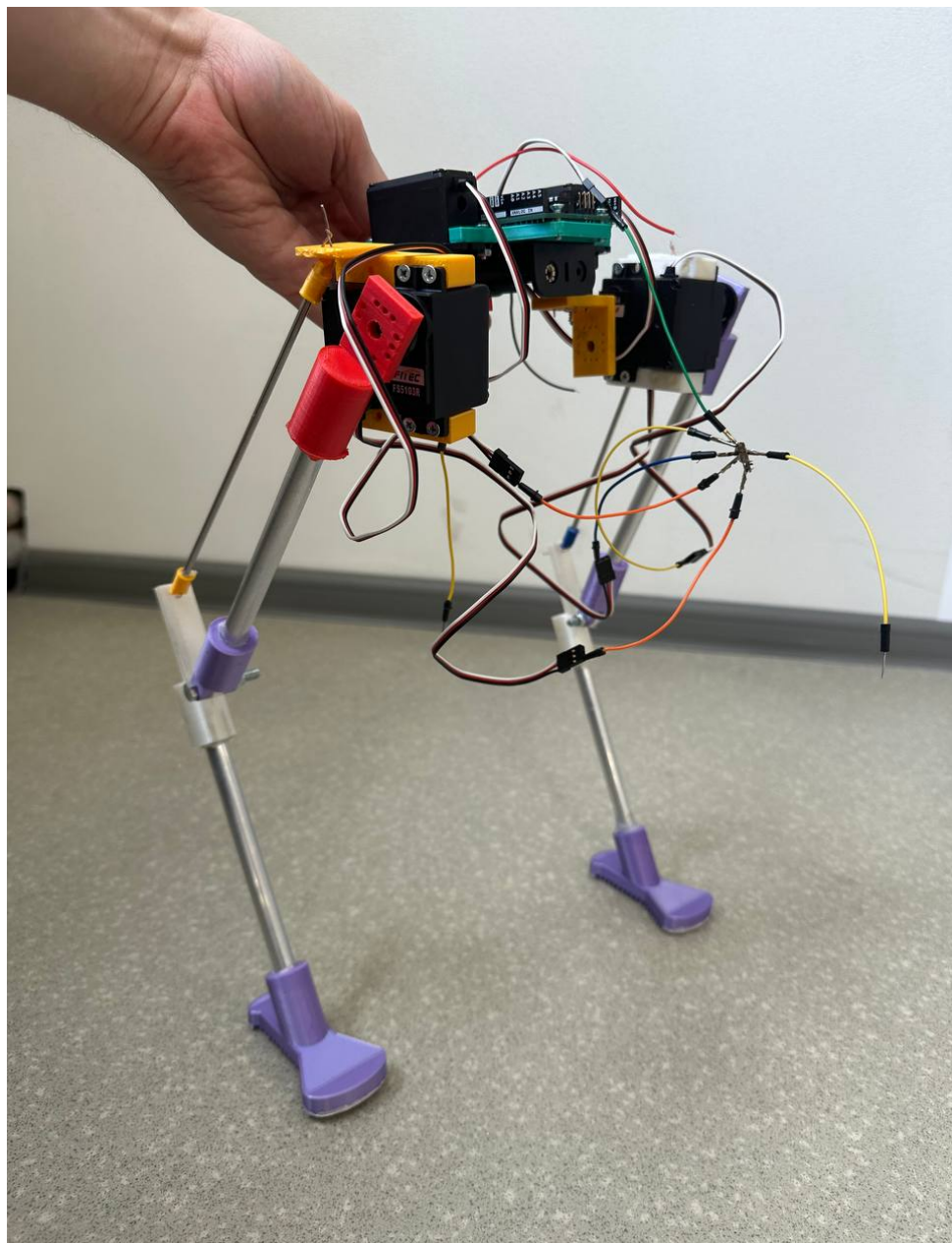


*Рисунок 2-3: Изготовленный прототип активного голеностопа*

Тестирование показало устойчивость при небольших начальных отклонениях от положения равновесия, а так же препятствие падению при подталкиваниях в положении равновесия в допустимых пределах.

## ***В. Основная механическая часть***

Основная механическая часть (см. Рисунок 4) управляется 6 сервоприводами, по 3 на каждую конечность. В каждой ноге, 2 сервопривода обеспечивают поворот ноги относительно корпуса в вертикальной плоскости, необходимого для осуществления шага, и горизонтальной плоскости, необходимого для поворота. Третий сервопривод воздействуя на рычаг обеспечивает сгибание ноги, что необходимо для управления высотой робота и обеспечения меньшего углового момента относительно стопы, что позволяет активному голеностопу лучше справляться с удержанием равновесия.



*Рисунок 4: Основная механическая часть*

В данной реализации стопа является монолитной. Предполагается, что после обеспечения робота адекватной системой питания и базового управления сервоприводами (хотя бы обеспечения статического положения), следует заменить её на подвижную стопу, аналогичную изображённой на Рисунке 1 и крепящуюся на стержень голени, гироскоп же установить в верхней точке робота.

### 3. Обзор существующих аналогов

Наиболее близким к данному проекту является робот описанный в статье <https://www.mdpi.com/2076-0825/11/3/75/htm>. Одним из главных отличий является использования в нём особых бесколлекторных двигателей, в то время как мы используем более дешёвые и общие сервоприводы. Принципиально что сервоприводы качественно отличаются от двигателей в том смысле что двигатели могут свободно вращаться под действием внешних сил, в то время как сервопривод всегда стремится удерживать определённое положение. Это создаёт трудности при жёстком соединении сервоприводов со стопой в момент постановки стопы в процессе переступания. В виду этого в нашей реализации стопа соединяется с сервоприводами не стержнем, а тросом, допуская тем самым «расслабление» (т.е. свободное позиционирование) стопы при необходимости.

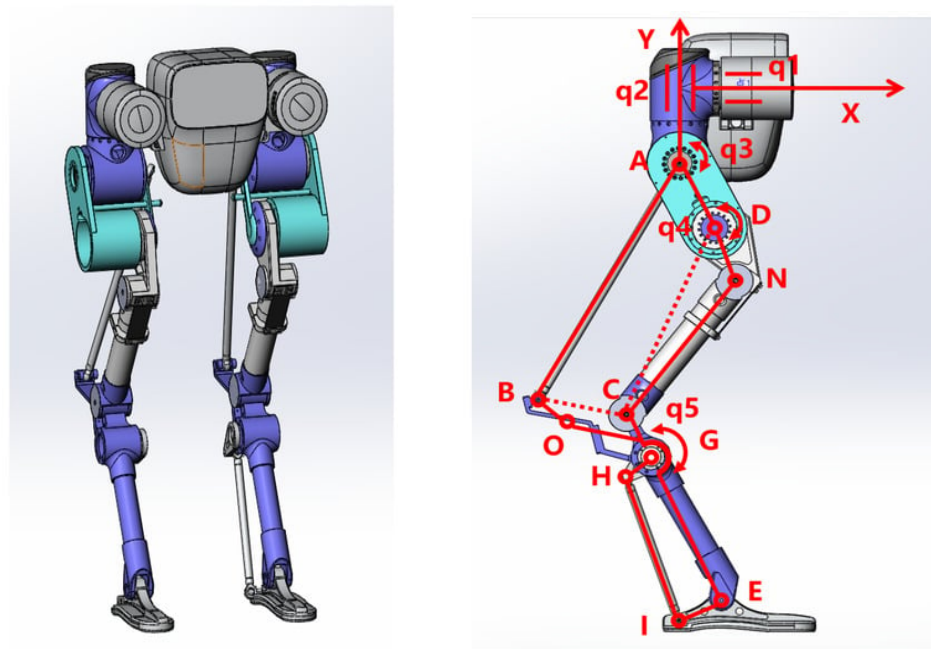


Рисунок 5-6: 3D модель робота из статьи

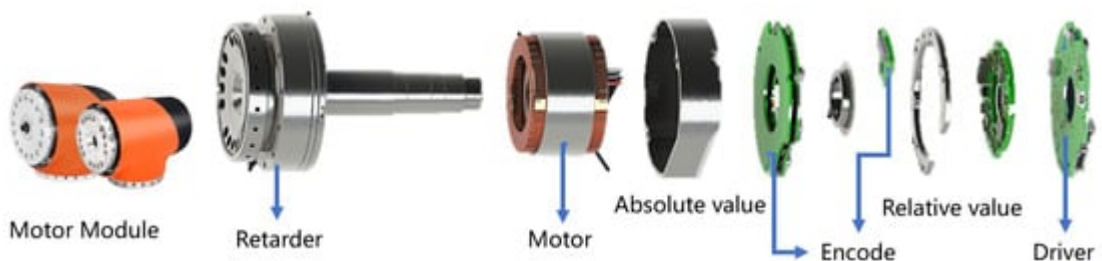


Рисунок 7: Составные части двигателя робота из статьи

#### **4. Процесс проектирования и изготовления**

Проектирование состояло из следующих шагов:

- 1) Обзор уже существующих роботов и выбор механической модели;
- 2) Подбор необходимых электронных компонентов (гироскопа, плат управления питанием, сервоприводы и т.д.);
- 3) Прототипирование и тестирование активного голеностопа.
- 4) Проектирование и изготовление механической части;
- 5) Сборка механической части, подключение электронных компонент;
- 6) Интеграция активного голеностопа в основную механическую часть;
- 7) Обеспечение устойчивости путём калибровки и отладки параметров (границ ускорений для начала управления сервоприводами, скорости поворота сервоприводов и т. д.);
- 8) Имплементация механизма шагания путём контролируемого выхода из положения равновесия, выставления одной из ног вперёд и возвращения в исходное положение.

#### **5. Достигнутые результаты и предстоящие цели**

К сожалению, полностью работу выполнить не удалось, был достигнут только 5 пункт. В дальнейшей работе помимо перечисленных выше пунктов 6-8 остаётся открытым вопрос поперечной устойчивости в момент удержания равновесия на одной стопе. Одним из возможных решений (помимо продолжения ширины стопы до центра тяжести) является добавление в стопу степени свободы и организация механизма аналогичного механизму удержания продольного равновесия.