

## **ДВИЖИТЕЛЬ МЕХАТРОННОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВСЕНАПРАВЛЕННЫХ КОЛЁС**

студент гр. 10309118 Игнатюк Н. С.  
Белорусский Национальный Технический Университет  
Минск, Беларусь

### *Введение*

Колесо Илона или, как его ещё иногда называют, Шведское колесо — роликонесущее колесо, позволяющее роботу двигаться в любом направлении. Своё название оно получило от шведского изобретателя Бенгта Илона, разработавшего его. Идея создать такое колесо пришла к нему в 1973 году, когда он работал инженером в шведской компании «Mecanum AB».

Конструкция представляет собой колесо, на котором смонтировано несколько роликов, установленных на протяжении всей окружности колеса. Угол вращения роликов составляет  $45^\circ$  между ними и осью колеса.

Основной целью пары данных колёс можно считать следующее: путём изменения направления и скорости вращения отдельных колёс можно заставить машину на илоновых колёсах двигаться в любом направлении — не только вперёд-назад, но и вправо-влево, и по диагонали, и даже по любой дуге, вплоть до вращения машины вокруг собственной оси. При этом трения скольжения между роликами и опорной поверхностью практически не будет.

Из вышенаписанного можно сделать вывод, что мобильные роботы и транспортные средства на колёсах Илона могут совершать различные манёвры, которые не могут делать машины на обычном шасси.

Благодаря своей манёвренности данный тип колёса нашёл широкое применение в изготовлении погрузчиков, который, в большинстве случаев, перемещаются в ограниченном пространстве. Так в 1980-х годах ВМС США заинтересовались проектом и выкупили патент у Илона. В военно-морских силах аппараты, оснащённые такими колёсами, применялись для передвижения имущества на кораблях. В 1997 году компания «Airtrax Incorporated» и несколько других компаний каждая заплатили ВМС США 2500 долларов для того, чтобы приобрести права на технологию, включая старые чертежи, описывавшие принцип работы контроллеров и моторов. На основе приобретённого материала они рассчитывали создать вилочный погрузчик. Такого рода транспорт уже находится в производстве. [1]

Основные проблемы, которые можно решить с помощью всенаправленных колёс:

- 1) Сложность перемещения в малых пространствах.

- 2) Сложность рационального перемещения грузов на производстве.
- 3) Высокая себестоимость видеосъёмки.

### 1. Обзор аналогов

Рассмотрим мобильные комплексы, которые используют движители на основе использования всенаправленных колёс.

Одной из самых необычных и заметных разработок компании Maximal Forklift Co. стал погрузчик, который может двигаться в 4-х направлениях не изменяя положения корпуса (Omni-directional). Этот погрузчик стал результатом совместной работы Maximal Forklift Co. и Академии Бронетанковых войск Китая. Вместе они спроектировали, запатентовали и пустили в серию погрузчик Arm-maximal (рисунок 1).



Рис. 1 – Погрузчик Arm-maximal

Данный погрузчик характерен тем, что может выполнять работу, которая не под силу ни одному другому. Высокая скорость, возможность двигаться в любом направлении без разворота, делает этот погрузчик незаменимым в местах с ограниченным пространством для маневра. Легкость и комфорт управления обеспечиваются двумя джойстиком, на удобных подлокотниках по обе стороны от рабочего места оператора. Высокая маневренность достигается при помощи четырех электродвигателей, по одному на каждое колесо, объединенных единой системой управления позволяющей обеспечить безопасность работы за счет уверенного маневрирования. Необычные колеса также играют свою роль, благодаря роликам вместо стандартных шин, погрузчик Arm-maximal может осуществлять движение по самым замысловатым траекториям. [2]

Компания FUJI SEISAKUSHO CO., LTD. заново изобрела колесо и сделала это настолько хорошо, что удостоилась награды GOOD DESIGN Award 2020. Её инновационный продукт — это всенаправленное колесо Ninja Wheel (рисунок 2), которое оснащено собственным электроприводом и способно перемещаться во всех направлениях. Использование подобной конструкции колёс позволяет автоматическим грузовым платформам на

складских предприятиях и логистических центрах перемещаться с такой свободой и точностью, какие невозможны с обычными колёсами.



Рис. 2 – Колёса Ninja Wheel

Перед лицом глобальной нехватки рабочей силы, колесо FUJI Ninja Wheel может оказаться в истоках следующей волны транспортной революции. Всенаправленное ведущее колесо от FUJI идеально подходит для грузовых платформ и самоходных роботов (рисунок 3), сочетая в себе функциональность и потенциал для масштабирования в привлекательном эстетическом дизайне. [3]

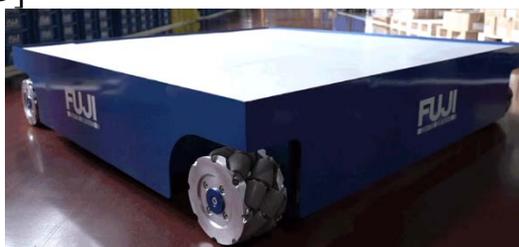


Рис. 3 – Грузовая платформа на колесах Ninja Wheel

На NAB Show 2018 компания GimbalGuru анонсировала гаджет Guru 360 Rover (рисунок 4) – дистанционно управляемую тележку для простых и 360-градусных камер весом до 9 кг, которая умеет мгновенно изменять направление своего движения, в том числе двигаться поперечно предыдущему направлению, благодаря всенаправленным колёсам.



Рис. 4 – Гаджет Guru 360 Rover

Благодаря всенаправленным колёсам тележка Guru 360 Rover обеспечивает высокоточное плавное перемещение камеры по площадке без необходимости использования специальных направляющих дорожек, что заметно снижает себестоимость профессиональной видеосъемки. Кроме

того, для 360-градусной съемки присутствует еще одно важное преимущество – в зоне надира нет постоянно поворачивающихся колес, движение которых существенно снижает качество картинки и усложняет процесс сшивки. [4]

Компания DJI анонсировала выпуск радиоуправляемого робота DJI Robomaster S1 (рисунок 5), оснащенного уникальной системой колес для всенаправленного движения, стабилизированным карданом для монтажа камеры и программируемым модулем управления. С таким арсеналом гаджет может стать отличным вспомогательным инструментом как для 360-градусных, так и для традиционных камер.



Рис. 5 – Робот DJI Robomaster S1

DJI Robomaster S1 – это радиоуправляемый робот. В отличие от популярных дронов от DJI, изначально он был разработан не для видеосъемки, а как образовательная игрушка для подростков. Тем не менее, его уникальная колесная система может сделать его очень полезным устройством для видеооператоров.

Сам по себе DJI Robomaster S1 является модульным гаджетом и может программироваться с помощью Scratch 3.0 или Python. Кроме того, уже в базе робот умеет отслеживать визуальные маркеры на полу для автоматического удержания траектории движения, а его башня работает как стабилизированный кардан, на котором можно установить камеру.

Но все же главная особенность Robomaster S1 – это его всенаправленные колеса. Он может двигаться в любом направлении – вперед, назад, вбок или по диагонали, практически мгновенно меняя траекторию движения по сигналу оператора. [5]

Из вышенаписанного можно сделать вывод, что данные колёса получили широкое применение в погрузчиках из-за способности перемещения в различных направлениях. Ещё одним применением оказалось – видеосъёмка.

## 2. Схема электрическая структурная

Схема электрическая структурная представлена на рисунке 6 и состоит из 5 блоков: «Питание», «Устройство управления»,

«Микроконтроллер», «Драйвер двигателей» и «Исполнительный механизм».



Рис. 6 – Схема электрическая структурная

Блок «Питание» отвечает за преобразование входного напряжения и распределение его между потребителями: «Микроконтроллер» и «Драйвер двигателей».

Блок «Устройство управления» представляет из себя устройство управления или программу, для управления направлением движения мобильного мехатронного устройства на всенаправленных колёсах.

Блок «Микроконтроллер» отвечает за обработку сигналов поступающих от устройства управления и передачу сигналов исполнительным механизмам.

Блок «Драйвер двигателей» отвечает за приём сигналов от микроконтроллера и за управление скоростью вращения отдельных друг от друга двигателей.

Блок «Исполнительный механизм» представляет из себя двигатель в сборке со всенаправленным колесом и только принимает сигнал от блока «Драйвер двигателей».

### 3. Подбор компонентов

Для вращения всенаправленными колёсами будем использовать шаговые двигатели. Выберем шаговый двигатель Nema 17HS4401 (рисунок 7) из-за достаточно большого крутящего момента и большого количества легко-программируемых драйверов, которые мы рассмотрим дальше.



Рис. 7 – Шаговый двигатель Nema 17HS4401

Для управления моторами используются драйверы двигателей. Они делятся между собой в зависимости от того, каким типом моторов они управляют: коллекторными или шаговыми. Поскольку мы выбрали шаговый двигатель Nema 17HS4401, то будем рассматривать драйверы именно для него. Выберем DRV8825 Stepper driver (рисунок 8) из-за широкого диапазона напряжения питания двигателя.

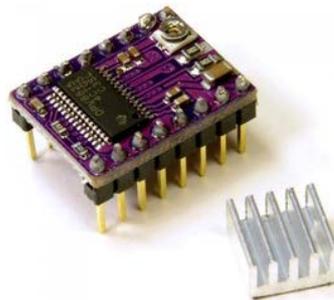


Рис. 8 – Драйвер двигателя DRV8825 Stepper driver

Для взаимодействия между всеми компонентами мобильного комплекса можно использовать уже готовые отладочные платы.

Из отладочных плат выбираем Arduino UNO R3 SMD CH340 (рисунок 9) из-за своей стоимости, достаточного количества цифровых входов/выводов и достаточного количества аналоговых входов.



Рис. 9 – Отладочная плата Arduino UNO R3 SMD CH340

Для связи управляющего устройства и самого мобильного комплекса с двигателями на всенаправленных колёсах будем использовать модули связи. Выбираем Модуль Bluetooth HC-05 из-за режима работы «Приём-Передача» (рисунок 10).



Рис. 10 – Модуль Bluetooth HC-05

В качестве источника питания будем использовать литий-полимерный аккумулятор Onbo 1000 mAh 3S (20C) (рисунок 11) по причине незначительного перепада напряжения во время разрядки и большой емкости, нужного напряжения в 11.1В, достаточного тока. Габаритные размеры 16x20x100 мм.



Рис. 11 – Аккумулятор Onbo 1000 mAh 3S (20C)

#### 4. Разработка 3D модели

Спроектируем мобильный робот, который состоит из четырёх всенаправленных колёс, соединённых с шаговыми двигателями, и корпуса. Всенаправленные колеса будут делиться на правые и на левые, которые отличаются направлением роликов.

Корпус требуется спроектировать таким образом, чтобы оси роликов на всенаправленных колёсах сходились в центре корпуса. Это требуется для того, чтобы при повороте мобильный комплекс не уходила в сторону из-за смещённого центра тяжести. Также требуется обеспечить достаточно внутреннего места для установки шаговых двигателей, аккумулятора и платы. [6][7]

Спроектируем корпус для всенаправленных колёс. Габаритные размеры: диаметр – 100мм, ширина – 50мм. Соберём правое и левое всенаправленное колесо. Трёхмерные модели данных колёс представлены на рисунках 12 и 13 соответственно.

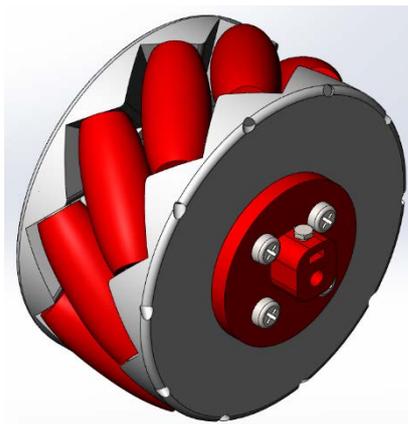


Рис. 12 – Трёхмерная модель правого всенаправленного колеса

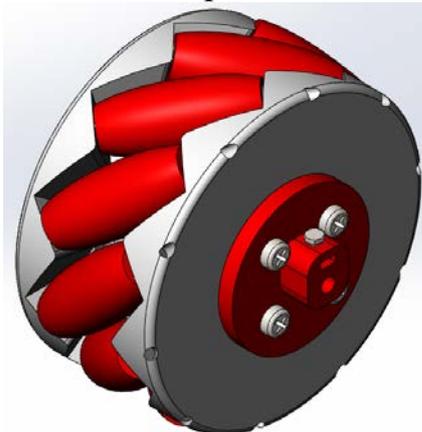


Рис. 13 – Трёхмерная модель левого всенаправленного колеса

В соответствии с требованиями представленными выше спроектируем корпус мобильного комплекса. Габаритные размеры корпуса 116x260x96 мм, толщина стенок 8мм. Соберём корпус мобильного комплекса. Трёхмерная модель корпуса представлена на рисунке 14.

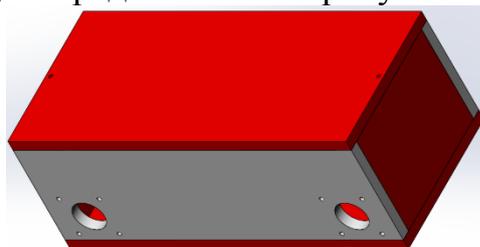


Рис. 14 – Трёхмерная модель корпуса

Стандартные изделия будем брать из библиотеки Toolbox; трёхмерную модель шагового двигателя Nema 17HS4401 (рисунок 15) возьмём готовую.

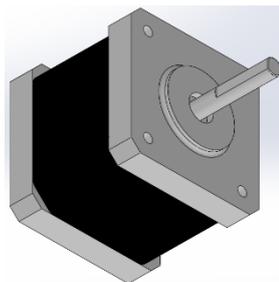


Рис. 15 – Шагового двигателя Nema 17HS4401

Соберём мобильный комплекс. Трёхмерная модель мобильного робота представлена на рисунке 16 (для наглядности была изменена прозрачность крышки (верха)).

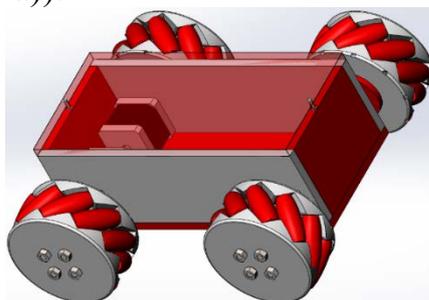


Рис. 16 – Трёхмерная модель мобильного робота

Проведём расчёт НДС одного из всенаправленных колёс в сборе с шаговым двигателем. На рисунке 17 представлены напряжения, на рисунке 18 – перемещения, на рисунке 19 – деформация.

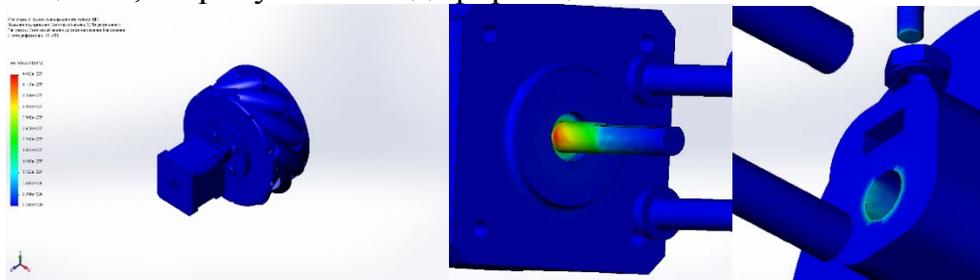


Рис. 17 – Напряжение

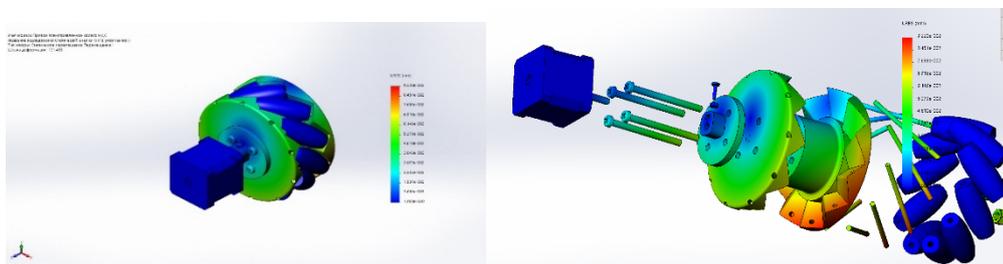


Рис. 18 – Перемещение

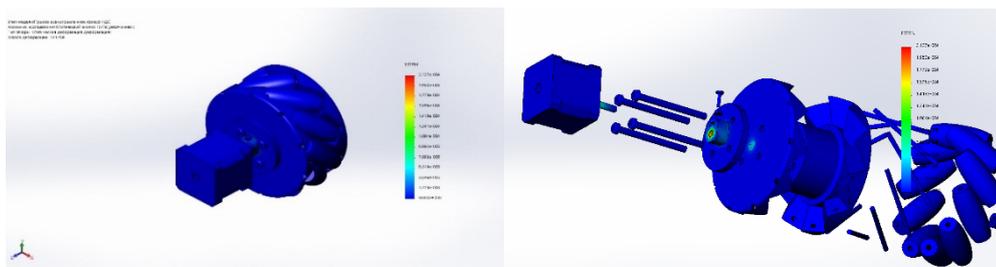


Рис. 19 – Деформация

Максимальное значение напряжения составляет 44.93 МПа и пришлось на вал шагового двигателя. Максимальное напряжение в области крепления шагового двигателя и муфты находится в районе 15 МПа - 22 МПа, что меньше предела текучести материала компонентов всенаправленного колеса: средний предел текучести 50 МПа для пластика PBT, 245 МПа для болтов сталь 20. Данные значения дают основания полагать, что компоненты данного колеса смогут выдержать максимальный крутящий момент шагового двигателя Nema 17HS4401 в 0.4 Н\*м.

Максимальное напряжение – 44.93 МПа.

Максимальное перемещение – 0.0922 мм.

Максимальная деформация – 0.02127 %.

По сделанному выводу можно предоставить несколько рекомендаций:

1. Использование другого материала для компонентов всенаправленного колеса (за исключением стандартных изделий): пластик PLA, который является более прочным, предел текучести которого составляет 60 МПа, по сравнению с пластиком PBT.

2. Вместо использования муфты с зажимным болтом можно использовать иные: гибкие или прорезные муфты.

#### *б. Схема электрическая принципиальная*

Схема электрическая принципиальная представлена на рисунке 20.

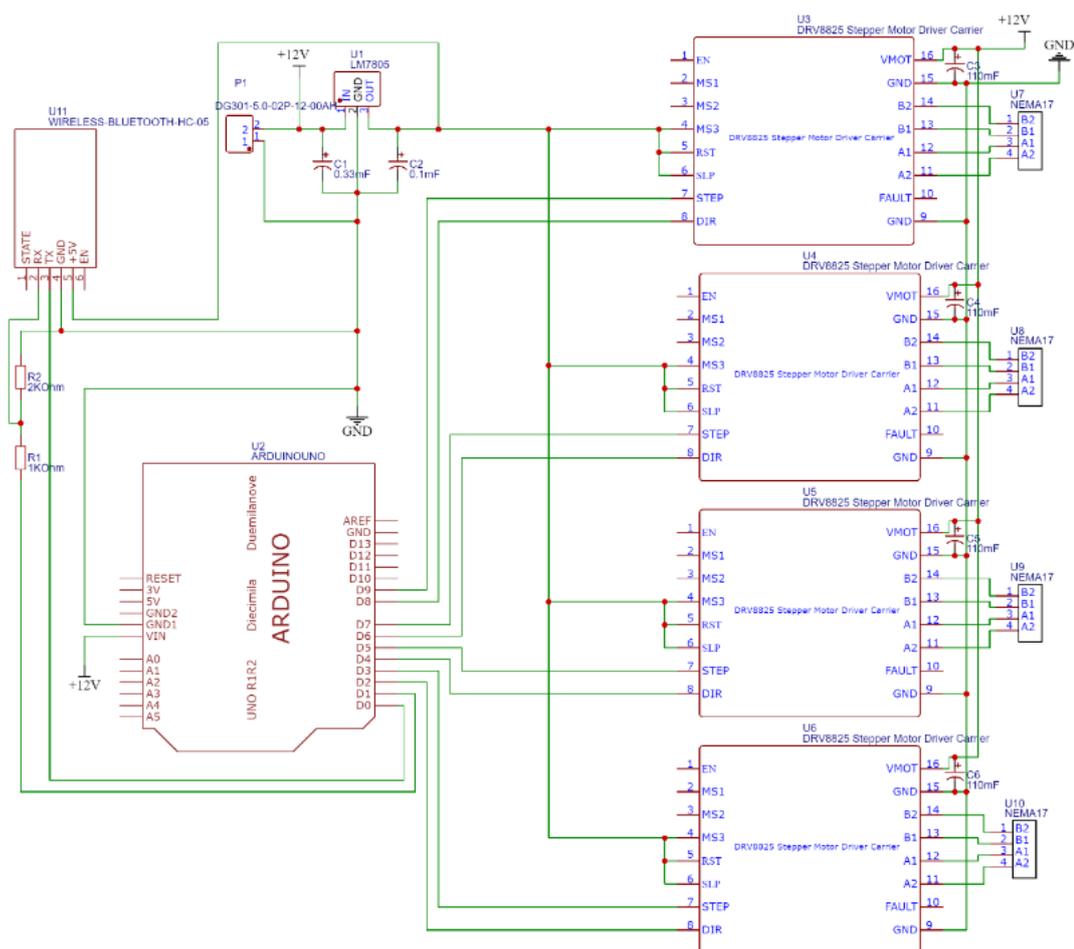


Рис. 20 – Схема электрическая принципиальная

Через зажимную рейку P1 (DG301-5.0-02P-12-00A(H)) подаём напряжение 11.1 В от аккумулятора на плату.

GND на шаговых драйверах двигателей U3, U4, U5 и U6, GND на Bluetooth-модуле U11, GND, GND1 и GND2 на отладочной плате U2 соединяем с землёй.

Напряжение от батареи в 11.1 В идёт на питание шаговых двигателей через драйверы двигателей и для питания отладочной платы. Для этого соединяем питание от батареи с драйверами двигателей U3, U4, U5 и U6 через вход VMOT, перед этим устанавливаем конденсаторы C3, C4, C5 и C6 на 110 mF, и с пином VIN отладочной платы U2.

Для передачи сигнала от драйвера двигателей Выходы A2, A1, B2 и B1 на шаговых драйверах двигателей соединяем с одноименными входами на шаговых двигателях U7, U8, U9 и U10 соответственно.

Для управления направлением и скорости вращения пины STEP и DIR на шаговых драйверах двигателей U3, U4, U5 и U6 соединяем с пинами отладочной платы для микроконтроллера ATmega328p D9 и D8, D7 и D6, D5 и D4, D3 и D2 соответственно.

Для стабилизации напряжения используем стабилизатор напряжения U1 (LM7805). Напряжение от батареи подаём на вход IN. На выходе пина OUT имеем напряжение в 5 В. Перед входом IN ставим конденсатор C1 на 0.33 mF, после выхода OUT также ставим конденсатор C2 на 0.1 mF.

Запитываем отладочную плату, Bluetooth-модуль и драйверы двигателей. Соединяем пин OUT стабилизатора напряжений LM7805 с пином +5V Bluetooth-модуля U11, с пинами MS3 и пины RST и SLP на шаговых драйверах двигателей U3, U4, U5 и U6.

драйверов шаговых двигателей U3, U4, U5 и U6.

Пин TX Bluetooth-модуля U11 соединяем с пином D0 отладочной платы U2. Пин RX Bluetooth-модуля U11 соединяем с пином D1 отладочной платы U2, предварительно поставив два резистора: на 1 kOhm между RX и D1, на 2 kOhm между RX и землёй.

Составим перечень элементов, входящих в схему электрическую принципиальную, и представим его в Приложении Г «Схема электрическая принципиальная. Перечень элементов».

### 7. Блок-схема алгоритма работы

Блок-схема алгоритма работы представлена на рисунке 21.

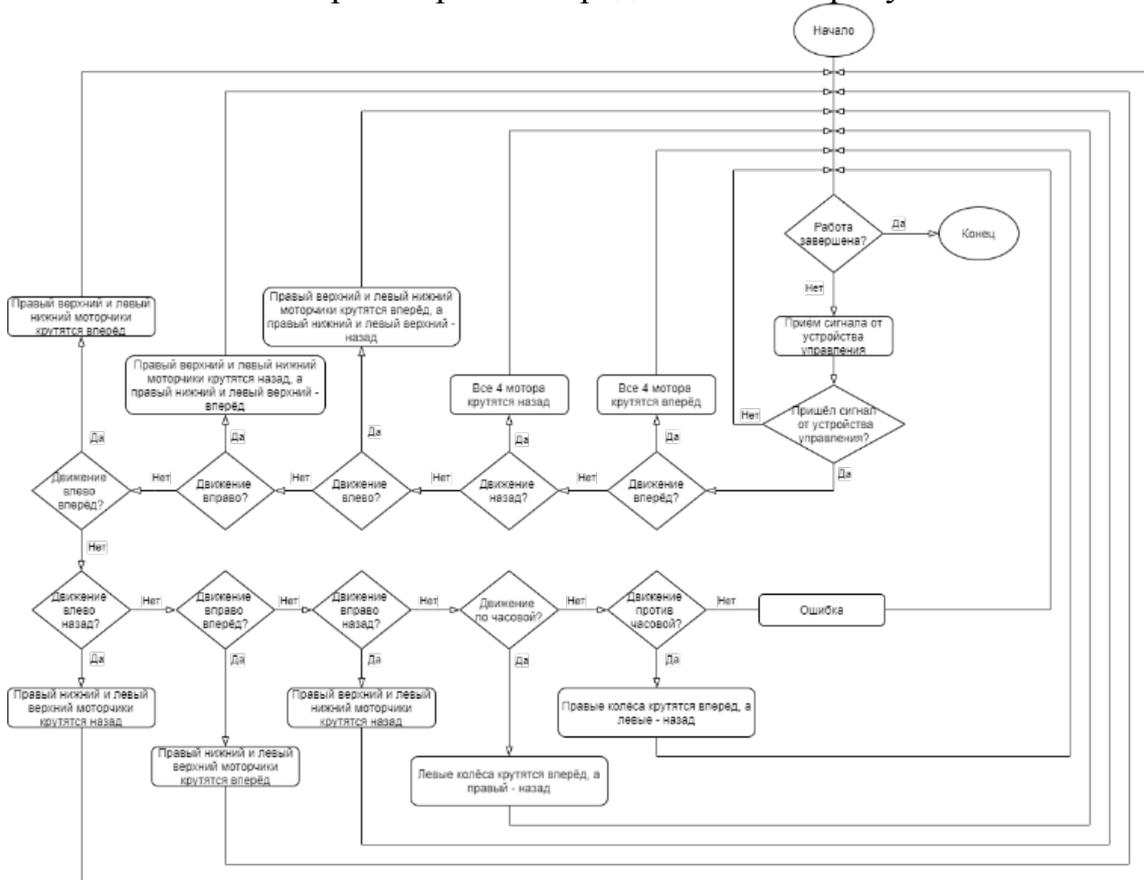


Рис. 21 – Алгоритм работы программы

«Начало работы программы» Подаётся напряжение питания на микроконтроллер, и программа начинает свою работу.

«Приём сигнала от устройства управления» микроконтроллер начинает считывать входящие сигналы с помощью Bluetooth модуля.

«Пришёл сигнал от устройства управления?» В том случае, если на Bluetooth модуль не поступил сигнал – микроконтроллер продолжает считывать поступающие сигналы. В случае, если поступил сигнал, то по сигналу определяется дальнейшее действие программы.

«Движение вперёд?» В случае, если сигнал пришёл на движение вперёд, то микроконтроллер поддаёт сигнал на драйверы двигателей, чтобы все 4 мотора крутились вперёд, параллельно с этим проверяет сигнал. В противном случае – программа работает дальше.

«Движение назад?» В случае, если сигнал пришёл на движение назад, то микроконтроллер поддаёт сигнал на драйверы двигателей, чтобы все 4 мотора крутились назад, параллельно с этим проверяет сигнал. В противном случае – программа работает дальше.

«Движение влево?» В случае, если сигнал пришёл на движение влево, то микроконтроллер поддаёт сигнал на драйверы двигателей, чтобы правый верхний и левый нижний моторчики крутились вперёд, а правый нижний и левый верхний – назад, параллельно с этим проверяет сигнал. В противном случае – программа работает дальше.

«Движение вправо?» В случае, если сигнал пришёл на движение вправо, то микроконтроллер поддаёт сигнал на драйверы двигателей, чтобы правый верхний и левый нижний моторчики крутились назад, а правый нижний и левый верхний – вперёд, параллельно с этим проверяет сигнал. В противном случае – программа работает дальше.

«Движение влево вперёд?» В случае, если сигнал пришёл на движение влево вверх, то микроконтроллер поддаёт сигнал на драйверы двигателей, чтобы правый верхний и левый нижний моторчики крутились вперёд, параллельно с этим проверяет сигнал. В противном случае – программа работает дальше.

«Движение влево назад?» В случае, если сигнал пришёл на движение влево вниз, то микроконтроллер поддаёт сигнал на драйверы двигателей, чтобы правый нижний и левый верхний моторчики крутились назад, параллельно с этим проверяет сигнал. В противном случае – программа работает дальше.

«Движение вправо вперёд?» В случае, если сигнал пришёл на движение вправо вверх, то микроконтроллер поддаёт сигнал на драйверы двигателей, чтобы правый нижний и левый верхний моторчики крутились вперёд, параллельно с этим проверяет сигнал. В противном случае – программа работает дальше.

«Движение вправо назад?» В случае, если сигнал пришёл на движение вправо вниз, то микроконтроллер поддаёт сигнал на драйверы двигателей, чтобы правый верхний и левый нижний моторчики крутятся назад, параллельно с этим проверяет сигнал. В противном случае – программа работает дальше.

«Движение по часовой?» В случае, если сигнал пришёл на движение по часовой, то микроконтроллер поддаёт сигнал на драйверы двигателей, чтобы левые колёса крутились вперёд, а правый – назад, параллельно с этим проверяет сигнал. В противном случае – программа работает дальше.

«Движение против часовой?» В случае, если сигнал пришёл на движение против часовой, то микроконтроллер поддаёт сигнал на драйверы двигателей, чтобы правые колёса крутились вперёд, а левые - назад, параллельно с этим проверяет сигнал. В противном случае – программа работает дальше.

### *Заключение*

Таким образом можно говорить о том, что всенаправленные колёса могут быть использованы для более рационального и удобного перемещения погрузчиков, также они могут использоваться для перемещения видеокамеры и для «перенастройки» производства.

Также можно сказать, что для создания собственной мобильной платформы на всенаправленных колёсах не требуется весьма больших усилий.

### *Литература*

- 1) Всенаправленное колесо [Электронный ресурс]. Ссылка на ресурс: <https://allardengineering.com/omniwheel.html>
- 2) Всенаправленный погрузчик ARM-Maximal [Электронный ресурс]. Ссылка на ресурс: <http://rstock.by/product/vsenapravlennyi-pogruzchik>
- 3) Компания FUJI изобрела всенаправленное колесо Ninja Wheel [Электронный ресурс]. Ссылка на ресурс: <https://bigbucks.com.ua/other-publications/kompaniya-fuji-izobrela-vsenapravlennoe-koleso-ninja-wheel/>
- 4) Guru 360 Rover – умная кинотележка со всенаправленными колесами [Электронный ресурс]. Ссылка на ресурс: <https://rec360.ru/news/guru-360-rover.html>
- 5) DJI Robomaster S1 – робот, который поможет видеооператорам [Электронный ресурс]. Ссылка на ресурс: <https://rec360.ru/news/dji-robomaster-s1-robot-kotoryj-pomozhet-videooperatoram.html>
- 6) Быканова А.Ю. Основы SolidWorks. Построение моделей деталей: учеб.-метод. пособие / А.Ю. Быканова, А.В. Старков. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009. – 120 с.

7) Тику Ш. Эффективная работа: SolidWorks 2004. – СПб.: Пи-тер, 2005. – 768 с.

8) Варакин А.А. Использование САПР SolidWorks в конструкторско-технологическом проектировании электронных средств : метод. указания. В 2 ч. Ч. 1. Основы создания трехмерных моделей. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 52 с.