

Всероссийский конкурс учебно – исследовательских работ старшеклассников
по политехническим, естественным, математическим дисциплинам
для учащихся 9 – 11 классов

направление

«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА»

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ «OMNI» КОЛЕС
И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННОЙ
ПЛАТФОРМЫ-МАНИПУЛЯТОРА НА ИХ ОСНОВЕ
НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ БАЛАНСИРОВКИ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА

Работу выполнили ученики 11 класса
Лицея №1 г. Перми:
Севастьянов Всеволод Романович
Ярусов Даниил Александрович

Научный руководитель
Лобов Евгений Сергеевич
Инженер кафедры ДПМ ПНИПУ

Пермь. 2018.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ	4
АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	5
УСТРОЙСТВО «OMNI» КОЛЕСА И ЕГО КИНЕМАТИКА	5
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ПЛАТФОРМЫ МАНИПУЛЯТОРА НА «OMNI» КОЛЕСАХ	7
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БАЛАНСИРОВКИ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА	8
ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ПЛАТФОРМЫ-МАНИПУЛЯТОРА ОТ СИГНАЛОВ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ДАТЧИКА	10
ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА УСТАНОВКИ	10
ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ	12
ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ	13

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена изучению теоретических и экспериментальных вопросов в рамках задачи создания автоматизированной роботизированной платформы-манипулятора, использующей «Omni» колеса.

В работе рассматривается автоматическая система управления (АСУ) балансировки обратного маятника с помощью подвижной платформы-манипулятора реализованной на «Omni» колесах.

Современное производство, широко использующее роботизированные комплексы, требует наличие высокоманевренных манипуляторов, имеющих большие возможности по транспортировке объектов технологического процесса внутри производственной линии, позволяющих одновременно реализовать перемещение объекта по трем степеням свободы на плоскости, двум линейным и одной угловой. Подобные манипуляторы широко используются, например, на машиностроительных заводах в Германии.

Использование роботизированных манипуляторов на «Omni» колесах, а также систем управления «Omni Wheels» приводами, является актуальной и перспективной задачей.

В рамках данной работы создана экспериментальная модель-установка манипулятора на «Omni» колесах, в котором реализована АСУ, выполняющая задачи по балансировке обратного маятника, расположенного на платформе манипулятора. Исследованы вопросы кинематики «Omni» колес; методические вопросы построения функции управления исполнительными приводами манипулятора от сигналов гироскопического датчика, расположенного на обратном маятнике; экспериментально исследованы различные эксплуатационные аспекты работы манипулятора.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель:

Создание роботизированной платформы-манипулятора на «Omni» колесах, реализующей задачу балансировки расположенного на ней обратного маятника с двумя степенями свободы.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи.

Задачи:

Задачи теоретического исследования:

- ✓ Произвести анализ литературных источников по данной теме;
- ✓ Дать описание устройства «Omni» колеса. Исследовать кинематику и особенности «Omni» колеса;
- ✓ Составить математическую модель движения платформы-манипулятора на «Omni» колесах;
- ✓ Составить математическую модель балансировки обратного маятника;
- ✓ Построить функцию управления исполнительными двигателями платформы-манипулятора от сигналов гироскопического датчика;

Задачи экспериментального исследования:

- ✓ Создать платформу-манипулятор на «Omni» колесах с расположенным на ней обратным маятником;
- ✓ Построить систему управления движением платформы-манипулятора на основе платы управления «Arduino» и гироскопического датчика;
- ✓ Экспериментально исследовать параметры движения платформы-манипулятора стробоскопическим методом, в зависимости от подаваемого на исполнительные двигатели напряжения питания;
- ✓ Провести экспериментальную отработку созданной установки;

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Нами рассмотрено большое количество публикаций различных авторов, исследующих данный вопрос.

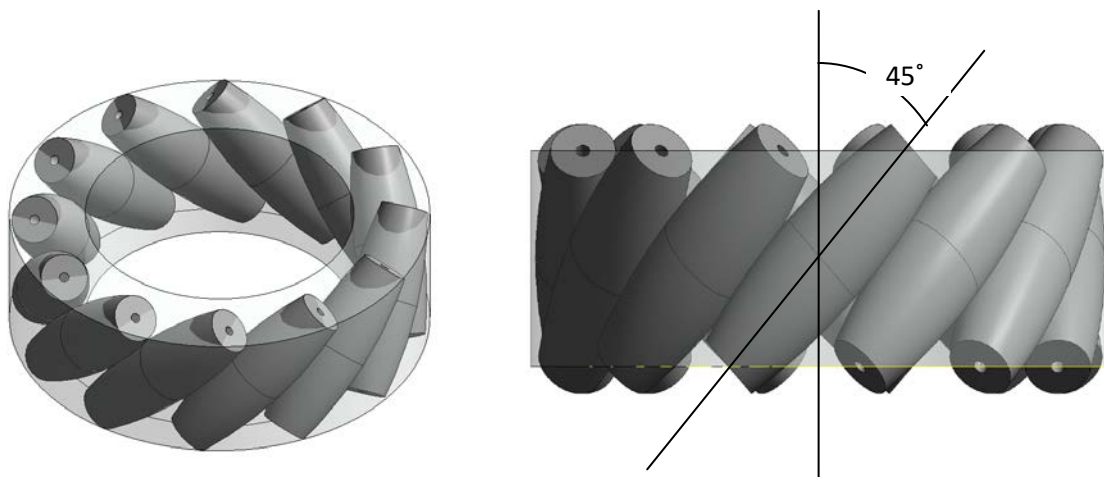
Конструкция «Omni» колеса рассмотрена в работе [4]. Большое количество работ рассматривают трех- и многоколесные системы с расположением «Omni» колес звездой [2,5,9,10,11,12]. В работах [12,13] подробно рассмотрены математическая модель «Omni» колеса и математическая модель движения установки на «Omni» колесах, применяемых нами для установки–манипулятора с обратным маятником.

Во многих работах при описании «Omni» колес и движения установок на их основе использовался сложный язык математики, пока непонятный для нас, поэтому в нашей работе мы будем рассматривать упрощенные математические модели.

УСТРОЙСТВО «OMNI» КОЛЕСА И ЕГО КИНЕМАТИКА

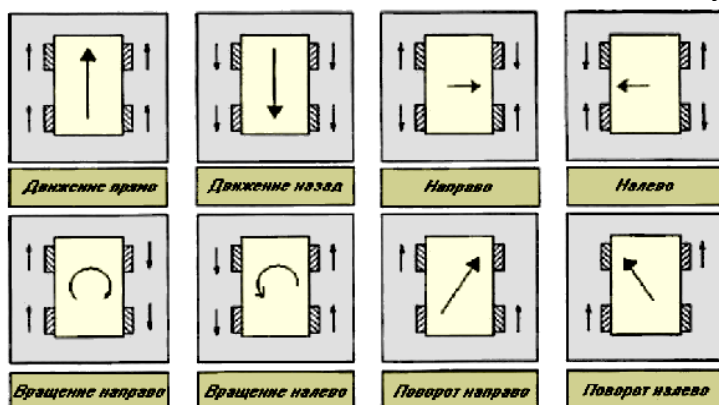
«Omni» колесо представляет собой колесо, на периферии которого установлены ролики, расположенные под углом в 45 градусов к оси колеса. Каждый ролик свободно вращается вокруг неподвижной относительно колеса собственной оси. Общий вид «Omni» колеса представлен на рисунке (1).

Рисунок №1
Устройство «Omni» колеса



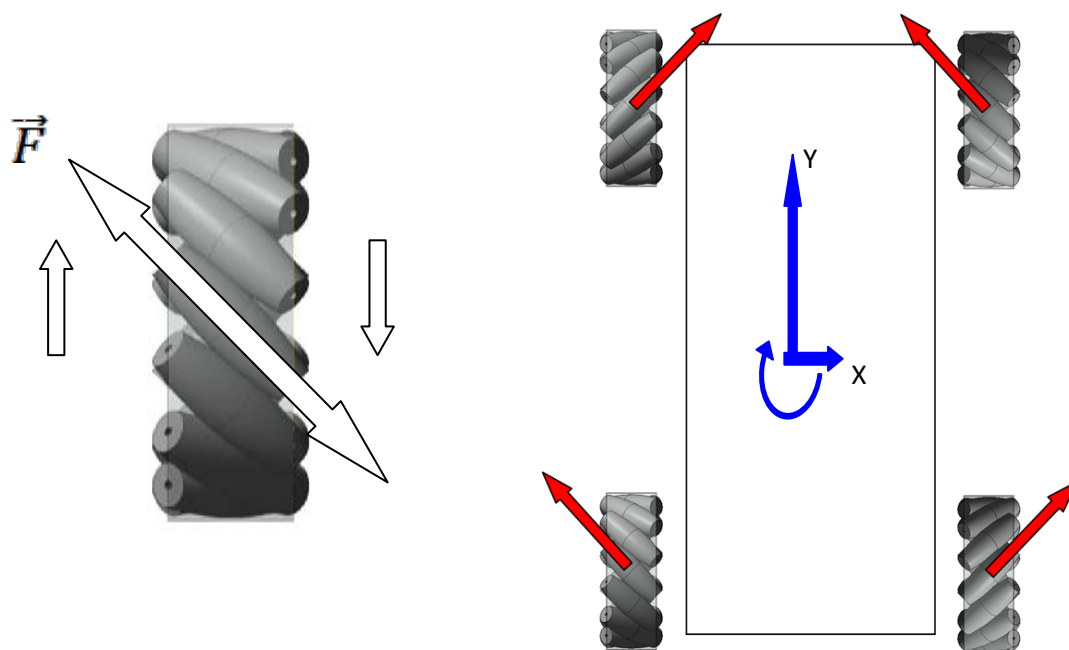
Особенность «Omni» колес заключается в том, что они позволяют осуществлять не просто поступательное перемещение вперед и назад, а в любом направлении в плоскости дороги, что показано на рисунке (2). Задавая различные взаимные комбинации вращения колес можно обеспечить различные варианты движения платформы-манипулятора.

Кинематика движения манипулятора на «Omni» колесах



При вращении «Omni» колеса сила трения будет направлена не вдоль плоскости вращения колеса, а под углом в 45 градусов к ней благодаря наличию роликов. В зависимости от взаимного направления вращения всех колес установки, силы трения будут частично компенсировать друг друга, а их равнодействующая будет реализовывать различный вид движения на плоскости дороги, показанный на рис. №2. Баланс сил трения «Omni» колес при поступательном движении вперед представлен на рисунке №3.

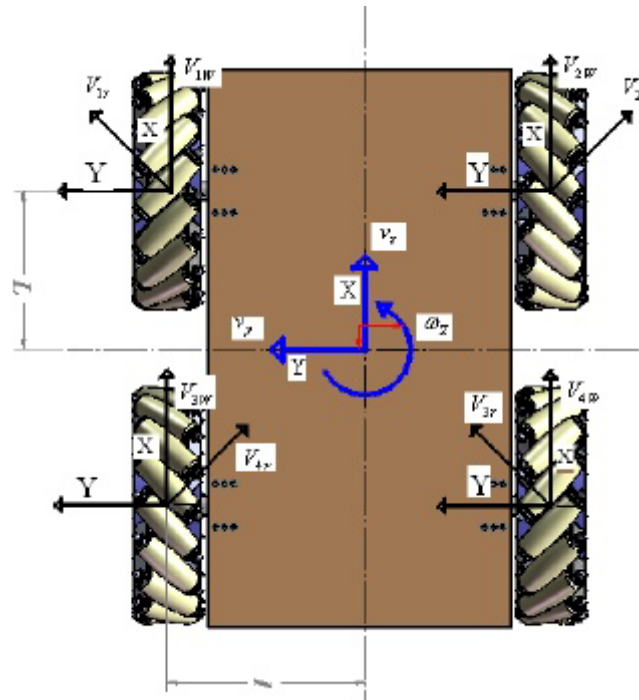
Баланс сил «Omni» колес



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ПЛАТФОРМЫ МАНИПУЛЯТОРА НА «OMNI» КОЛЕСАХ

Как было указано выше, сила трения, действующая со стороны дороги на «Omni» колесо будет направлена под углом 45 градусов к плоскости вращения.

Рисунок №4
Векторы скоростей для платформы манипулятора на «Omni» колесах



Если за $\dot{\theta}_i$ обозначить угловую скорость i -го колеса, то производя суммирование векторов скоростей для каждого колеса получим выражения для результирующих скоростей всей платформы. Имеем две поступательные скорости V_x и V_y , формулы (1), (2) и одну вращательную ω_z , формула (3).

$$V_x = \frac{R_w}{4} \left(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4 \right); \quad (1)$$

$$V_y = \frac{R_w}{4} \left(-\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_4 \right); \quad (2)$$

$$\omega_z = \frac{R_w}{4(L+l)} \left(-\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4 \right); \quad (3)$$

Результирующий вектор скорости поступательного движения может быть найден по его компонентам с использованием теоремы Пифагора, формула (4), а соответствующий угол вектора результирующей скорости как арктангенс их отношения, формула (5).

$$V_R = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}; \quad (4)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{V_x}{V_y}\right); \quad (5)$$

Если задавать угловую скорость вращения колес не одинаковой, то, глядя на формулу (3), одновременно поступательное движение будет сопровождаться вращением платформы.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БАЛАНСИРОВКИ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА

Обратный маятник представляет собой жесткий вертикально расположенный стержень, один конец которого шарнирно закреплен на платформе манипулятора, ко второму концу которого прикреплен груз. Маятник находится в состоянии неустойчивого равновесия, любое возмущение выводит его из равновесия, и сила тяжести стремится повернуть его в состояние с меньшей потенциальной энергией, т.е. вниз.

Маятник балансируется движением платформы манипулятора. При «падении» маятника платформа начинает двигаться в сторону наклона и инерциальные силы, действующие на груз маятника, возвращают его в вертикальное положение.

К маятнику закреплен гироскопический датчик, который возвращает данные по углам поворота и ускорениям его движения.

Считанные с датчика данные обрабатываются системой управления, и она подает управляющий сигнал на исполнительные двигатели платформы.

Маятник совершает вращательное движение вокруг шарнира, закрепленного на платформе манипулятора. Используем для описания движения обратного маятника второй закон Ньютона для вращательного движения:

$$J \ddot{\varphi} = M; \quad (6)$$

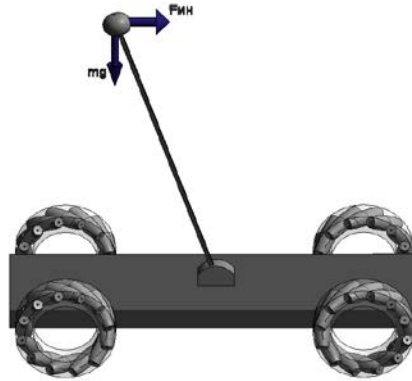
где

J – момент инерции груза относительно шарнира подвеса;

$\ddot{\varphi}$ – угловое ускорение;

M – сумма моментов сил;

Рисунок №5
Устройство обратного маятника



Распишем момент инерции и сумму моментов сил:

$$mL^2 \cdot \ddot{\varphi} = mg \cdot L \cdot \sin(\varphi) + ma \cdot \cos(\varphi); \quad (7)$$

где

m – масса маятника

L – длина маятника

$\ddot{\varphi}$ – угловое ускорение

φ – угол отклонения

a – ускорение, с которым должна двигаться установка для удержания маятника в равновесии

Мы видим, что данное выражение можно разделить на $m \cdot L$

$$L \cdot \ddot{\varphi} = g \cdot \sin(\varphi) + a \cdot \cos(\varphi) \quad (8)$$

Выразим ускорение:

$$a = g \cdot \tan(\varphi) + \frac{L}{\cos(\varphi)} \ddot{\varphi} \quad (9)$$

По формуле (9) мы будем рассчитывать полное ускорение, с которым должна будет двигаться установка, чтобы вернуть маятник в положение равновесия.

Для пространственного маятника данное искомое ускорение будет разложено на две проекционные составляющие вдоль осей направленным по сторонам платформы.

ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ПЛАТФОРМЫ-МАНИПУЛЯТОРА ОТ СИГНАЛОВ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

Гироскопический датчик возвращает данные по углам поворота и угловым ускорениям маятника.

В рамках данной работы рассмотрим одноосный случай балансировки маятника.

Управляющий сигнал пропорционален найденному в предыдущем параграфе значению ускорения и примет вид:

$$U_{упр} = k(g \cdot \text{Tan}(\varphi) + \frac{L}{\cos(\varphi)} \ddot{\varphi}); \quad (10)$$

где k – экспериментально найденный коэффициент, который учитывает особенности поведения исполнительных двигателей, инерциальность системы;

В качестве первого шага рассматривалось только одноосное движение при балансировке плоского маятника. В дальнейшем решение будет распространено на объемный случай.

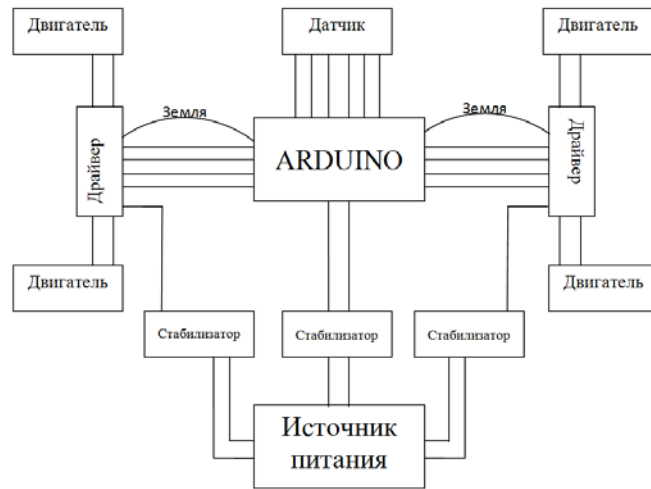
ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА УСТАНОВКИ

Созданная в данной работе платформа манипулятор состоит из следующих компонентов:

1. Шасси платформы с «Omni» колесами;
2. Приводы на каждое колесо платформы. В качестве привода использованы двигатели постоянного тока с редуктором от шуруповерта;
3. Аккумуляторная батарея;
4. Плата управления «Arduino»;
5. Драйверы двигателей. По одному на двигатель;
6. Стабилизатор напряжения;
7. Гироскопический датчик;
8. Обратный маятник;

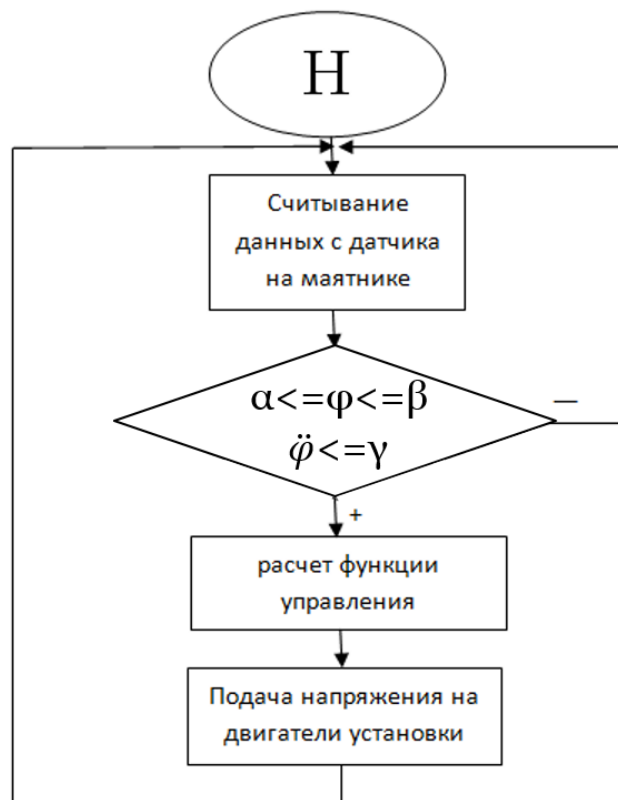
Принципиальная схема системы управления платформой представлена на рисунке №6

Рисунок №6
Принципиальная схема системы управления платформой



Блок схема работы программы управления установкой представлена на схеме №1

Схема №1
Блок схема работы программы управления



ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрена задача о создании роботизированной платформы-манипулятора на «Omni» колесах, реализующего задачу балансировки расположенного на ней обратного маятника с двумя степенями свободы.

При выполнении работы была создана экспериментальная установка платформы-манипулятора использующей «Omni» колеса. Создана элементная база системы управления на базе платы «Arduino». Выполнены теоретические и экспериментальные исследования по построению функции управления для задачи балансировки обратного маятника.

Выполнена серия испытаний установки, подтверждающая правильность принятых решений. В процессе работы были выполнены все поставленные задачи.

ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. http://www.academia.edu/4557426/KINEMATICS_MODELLING_OF_MECHANUM_WHEELED_MOBILE_PLATFORM
2. <https://pdfs.semanticscholar.org/c3df/c169f2b132b45033d192899262b90523e947.pdf>
3. <https://bharat-robotics.github.io/blog/kinematic-analysis-of-holonomic-robot/>
4. <https://www.roscomponents.com/pdf/atributos/en/Omni-Wheels.pdf>
5. <https://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&aId=2195>
6. <http://robot-develop.org/archives/4792>
7. <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=2856116&fileId=2856133>
8. http://faculty.mae.carleton.ca/John_Hayes/Papers/R05-CSME-42-RHHL.pdf
9. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.99.1083&rep=rep1&type=pdf>
10. <http://www.waset.org/publications/14923/the-framework-of-beebot-binus-multi-client-of-intelligent-telepresence-robot>
11. <http://elibrary.udsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/12635/Kilin,%20Bobykin.pdf?sequence=1>
12. http://www.keldysh.ru/papers/2016/prep2016_127.pdf