# СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ……………………………..1

1.1 Введение………………………………..………………………..……..1

1.2 Задачи, решаемые в рамках дипломного проектирования…………..1

2. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬКАЯ ЧАСТЬ…………….…………..1

2.1 Кинематическая схема системы……………………………...………..1

2.1.1 *Обзор и сравнение существующих кинематических схем управления конечностями робота*………………………..……………………..1

2.1.2 *Решение обратной задачи кинематики для одной конечно*……...1

2.1.3 *Построение виртуального прототипа системы*……………………..1

2.2 Энергетический расчет исполнительных элементов системы……………..1

2.2.1 *Проверка двигателей по мощности*………………..……………………..1

2.2.2 *Выбор двигателя*…………………………………..………………………..1

2.3 Синтез алгоритмов управления исполнительными элементами системы……………………………………………………………………...……..1

2.4 Разработка математической модели системы…………………...…………..1

2.4.1 *Модель системы*……………………………...……………………………..1

2.4.2 *Результаты моделирования*………………………………………………..1

3. КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ……………………………………………….1

3.1 Функциональная схема системы управления……………………………..1

3.2 Функциональная схема робота……………………………………………….1

3.3 Плата управления……………………………………………………………..1

3.3.1 *Структура платы управления*……………………………………………..1

3.3.2 *Микроконтроллер*……………………….…………………………………..1

3.3.3 *Разъемы*……………………………………….……………………………..1

3.3.4 *Электрозащита*……………………..……………………………………..1

3.3.5 *Интерфейсы*………………………………………………………………1

3.3.6 *Питание*…………………………………………………………………….1

3.3.7 *Разработка печатной платы*……………………………………………1

3.4 Плата стабилизации напряжения………………………………...…………..1

3.4.1 *Расчет платы*………………………………………...……………………..1

3.4.2 *Разработка печатной платы стабилизации напряжения*……………..1

3.5 Программное обеспечение платы управления……………………………..1

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ……………………………………………..1

4.1 Введение……………………………………………...………………………..1

4.2 Разработка технологии сборки платы управления………………………..1

4.3 Анализ особенностей конструкции платы управления…………………..1

4.4 Оценка технологичности конструкции платы управления………………..1

4.5 Стенд проверки платы управления на функционирование………………1

5. ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ……………………..1

5.1 Планирование ОКР…………..………………………………………………..1

5.1.1 *Выбор метода организационно-экономического планирования ОКР*…..1

5.1.2 *Сетевое планирование*……………………………………………………..1

5.1.3 *Анализ и оптимизация сетевого графика*………………………………..1

5.2 Расчет сметы затрат…………………………………………………………..1

5.2.1 *Расчет затрат на проектно-конструкторские и другие инженерные работы*……………………………………………………………………………..1

5.2.2 *Расчет затрат на изготовление опытного образца*…………………...1

5.3 Выводы………………………………………………………………………..1

6. ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ………………………..…………………..1

6.1 Анализ опасных и вредных факторов при разработке шестиногого шагающего робота…………………….…..……………………………………..1

6.2 Расчет заземления…………………………………………………………..1

6.3 Анализ влияния на окружающую среду технологического процесса сборки печатной платы управления приводами шестиногого шагающего робота……………………………………………….……………………………..1

6.4 Расчет фильтра тонкой очистки………………………………..…………..1

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ………………………………………….……………………..1

8. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ……………..…………..1

9. ПРИЛОЖЕНИЯ………………………………………………………………..1

# 1.1 Введение

Создание промышленных роботов-манипуляторов, способных заменить человека на многих участках современного производства, а также автоматических систем, которые могут быть использованы в условиях, опасных для человека, является актуальной научной и технической проблемой. Одним из важных классов роботов являются шагающие роботы, предназначенные для перемещения по труднопроходимой местности.

Хотя колесные транспортные средства в настоящее время явно преобладают, известно, что при ходьбе по неподготовленной поверхности существенные преимущества имеют шагающие системы передвижения. Шагающий аппарат при движении использует для опоры лишь некоторые точки на поверхности в отличие от колесных и гусеничных машин, имеющих непрерывную колею. Кроме того, шагающий аппарат существенно меньше повреждает почвенный покров, что может оказаться важным для некоторых районов.

Однако указанные преимущества шагающего аппарата определяют его высокую сложность. Большое число управляемых степеней свободы аппарата требует сложной компоновки, разработки высокоэффективных приводов, специальной организации стоп, рассеивающих энергию удара, и т.д. Система управления должна обеспечить переработку информации о местности, принятие решений о характере движения, контроль за их реализацией. Именно создание системы управления аппаратом – центральная проблема шагающего робота, так как опыт создания даже самых сложных систем автоматического управления невозможно непосредственно использовать для построения системы управления шагающим роботом.

Шагающие роботы по сравнению с колесными или же гусеничными машинами имеют ряд преимуществ:

* система имеет дискретные точки опоры;
* маневренность в узких пространствах;
* проходимость;

А так же и ряд недостатков:

* малые скорости перемещения;
* в инсектойдных кинематических схемах в фазе опоры требуются энергозатраты на удержание в горизонтальной плоскости (Выход: использовать специальные кинематические схемы и механизмы, например пантографный механизм)
* сложность реализации;

Движение шагающего робота можно организовать двумя путями, используя при этом следующие виды походок:

* Статически устойчивые походки – походки, при которых центр масс системы всегда находится внутри многоугольника, образованного точками опоры системы; т.е. если в любой момент времени остановить приводы системы, то она останется в устойчивом положении. Недостатком данного метода является неравномерное распределение нагрузки между опорными ногами (вытекает из замкнутости кинематической схемы), который можно устранить, используя обратную связь не только по позиции, но и по силе (использование силомоментных датчиков). Так же в статически устойчивых походках фаза опоры длится дольше фазы переноса, что сказывается на скоростях движения и энергозатратах;
* Статически неустойчивые походки (динамические походки) – походки, при которых не соблюдается правило устойчивости (см. выше). При таких походках возникает дефицит управления (пример: двуногий антропоморфный робот). Выход из данной ситуации – нахождение периодических устойчивых состояний системы (автоколебания);

Статически устойчивое движение на маленьких скоростях и ускорения легко реализуется на кинематическом уровне. Из условия устойчивости вытекает, что для организации такого вида движения одним типом походки шагающему роботу требуется как минимум 4 ноги с 3-мя степенями свободы. Для увеличения числа возможных вариантов походки требуется увеличить число ног.

В нашей работе будем реализовывать управление движение на кинематическом уровне. Будет использована шестиногая инсектойдная кинематическая схема, каждая нога которой имеет 3 степени свободы. Перемещаться в пространстве будем с помощью походки «трешками».

Во время поиска робота перед нами стояли следующие задачи:

* возможности совместимости с контроллером;
* небольшие габариты робота в сборе;
* наличие сервоприводов в комплекте;
* легкость конструкции;
* невысокая цена относительно других предложений на рынке.

Проведя подробное исследование рынка робототехники был подобран ряд различных роботов, отличающихся, в основном, материалом, из которого изготовлен робот и непосредственной стоимостью. Так как задачи найти сверхпрочный робот не стояло, мы стали выбирать гексапод исходя из его стоимости и остановили свой выбор на гексаподе под названием Hexy компании ArcBotics.

Выбранный нами робот сделан из легкого пластика, оснащён ультразвуковым дальномером, девятнадцатью сервоприводами (18 на конечностях и один на ультразвуковом дальномере), полностью готовой к работе плате Servator32, основанной на Arduino. Так же комплект поставки включает в себя Bluetooth – модуль и USB – кабель для управления.

Робот Hexy полностью соответствует всем поставленным нами задачам и в следующей работе все расчеты приведены по параметрам, снятым с него.

# 1.2. Задачи, решаемые в рамках дипломного проектирования

В рамках данного дипломного проектирования были решены следующие задачи:

* Энергетический расчет трехзвенного манипулятора с 3-мя степенями свободы для шестиногого робота. Расчет и подбор двигателей для каждого звена.
* Частотный синтез следящего привода трехзвенного манипулятора с 3-мя степенями свободы.
* Решение обратной кинематической задачи (ОКЗ) для трехзвенного манипулятора с 3-мя степенями свободы.
* Проверка правильности решения ОКЗ с помощью графической среды имитационного моделирования Simulink, встроенной в среду MATLAB.
* Проверка правильности решения ОКЗ с помощью шестиногого робота, управляемого с помощью программного кода, написанного на языке C++.
* Анализ популярных алгоритмов поиска кратчайшего пути.
* Реализация алгоритма Ли (волнового алгоритма) для поиска кратчайшего пути по заданной карте местности
* Проведение натурного эксперимента и определение ошибки в прохождении заданной траектории.

# 2. НАУЧНО-ИССЛЕДОВТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

# 2.1. Энергетический расчет

## Расчет моментов инерции звеньев, приведенных к оси вращения.

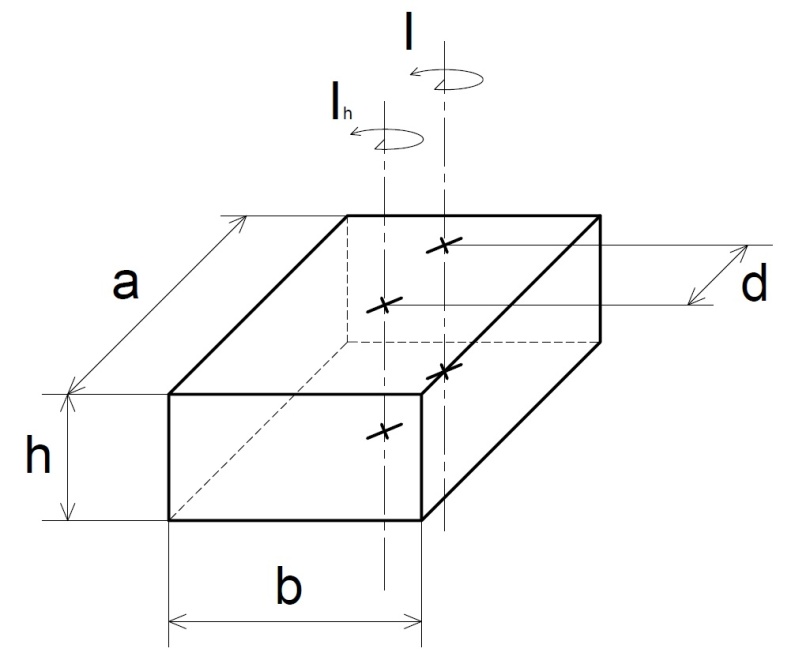
Твёрдый кубоид с высотой h, шириной a, глубиной b и массой m имеет следующие осевые моменты инерции, приведенные к центру одной из граней:

## Теорема Гюйгенса — Штейнера [4].

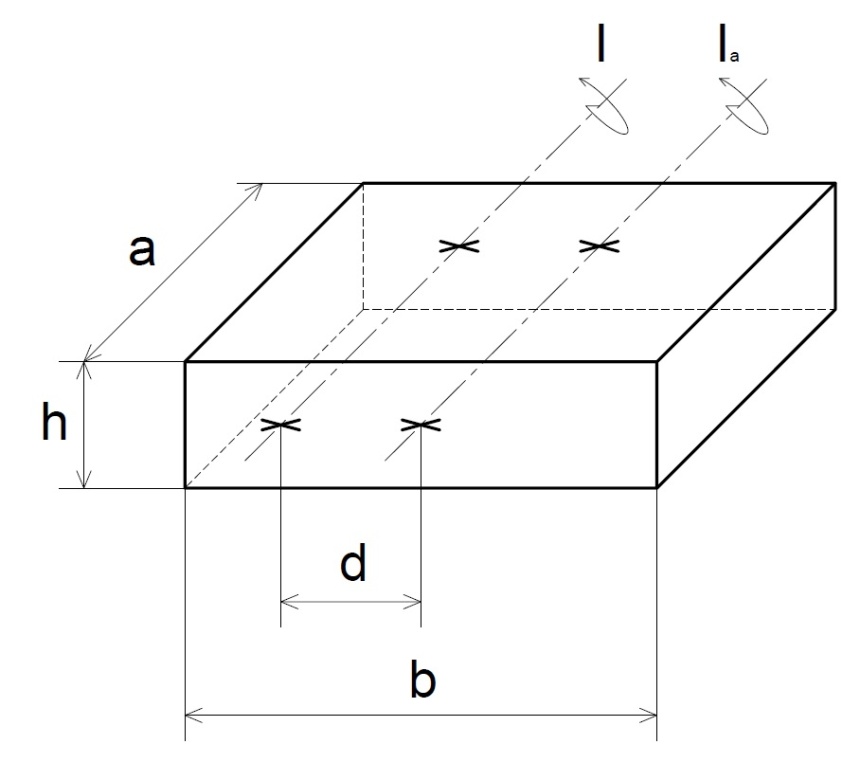
Момент инерции твёрдого тела относительно какой-либо оси зависит от массы, формы и размеров тела, а также и от положения тела по отношению к этой оси. Согласно теореме Штейнера (теореме Гюйгенса-Штейнера), момент инерции тела I относительно произвольной оси равен сумме момента инерции этого тела  относительно оси, проходящей через центр масс тела параллельно рассматриваемой оси, и произведения массы тела *m* на квадрат расстояния *d* между осями:

,

где *m* — полная масса тела.

****

## Рис. 1. Момент инерции плеча.

****

## Рис. 2. Моменты инерции предплечья и кисти.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № |  |  |  |  |  |
| 1 | 0.030 | 50 | 45 | 10 | 35 |
| 2 | 0.030 | 30 | 70 | 25 | 17 |
| 3 | 0.030 | 53 | 60 | 27 | 10 |

## Таблица 1.Начальные условия для расчетов

# Плечо

# Предплечье

# Кисть

Энергетический расчет будем проводить для одной ноги, приняв следующие ограничения и допущения:

* Лапу робота примем за 3х-звенный манипулятор с 3-мя степенями свободы;
* Нагрузкой является каркас (тело робота, к которому крепятся ноги), масса которого сосредоточена в точке и закреплена на конце манипулятора;
* Расчет будем вести от последнего звена, установленного на землю;
* Допускаем, что робот стоит абсолютно жестко, и не проскальзывает в точке контакта ноги с поверхностью опоры;
* Рассматриваем наихудший вариант, т.е. когда нога абсолютно выпрямлена. В этом случае на сочленения действуют самые большие силы и моменты;

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Привод |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | Плеча | 0.030 | 0.026 | 0.013 |  | 2.5 | 5.0 | 0 | 0,125 |
| 2 | Локтя | 0.030 | 0.050 | 0.025 |  | 2.5 | 5.0 | 0 |
| 3 | Кисти | 0.030 | 0.054 | 0.027 |  | 2.5 | 5.0 | 0 |

## Таблица 2. Начальные условия для расчетов

## Обозначения

массы звеньев;

длины звеньев;

радиусы инерции звеньев ();

моменты инерции звеньев, приведенные к осям вращения;

рабочие угловые скорости и ускорения звеньев;

максимально допустимая ошибка копирования;

масса груза (объекта манипулирования; в роли объекта выступает платформа гексапода);

# Энергетический расчет ЭМП плеча (I приближение)

Расчет Jп MAX Mп MAX

# Расчет механической части ЭМП с объектом управления (ОУ)

Требуемые скорости и ускорения:

*Расчет наибольшего значения требуемого момента на валу ОУ*

*Расчет эквивалентной скорости движения ОУ*

Примем предварительно

*Расчет граничного значения максимальной требуемой мощности*

Для данного расчета зададимся значениями КПД редуктора прямого и обратного хода:

*Расчет ориентировочного значения требуемой номинальной мощности двигателя кисти*

Для расчета ориентировочного значения требуемой номинальной мощности двигателя кисти необходимо определить теоретическую кратность пускового момента. Для этого достаточно принять

Так номинальную мощность двигателя получим из соображений:

коэффициент кратности пускового момента двигателя.

Выбор двигателя по номинальной мощности с учетом жесткости механической характеристики из таблиц ДПТ

**Выбираем по результатам расчетов I приближения ДПТ TowerPro SG92R (Табл. 3)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | кг |  |
|  | 0.675 | 600 | 13 | 0.250 | 0.575 | 0.009 | 11 |

Таблица 3. Технические характеристики TowerPro SG92R

Выполним пересчет параметров для выбранного двигателя.

1. Номинальная угловая скорость:
2. Номинальный момент двигателя:
3. Коэффициент момента
4. Коэффициент противоЭДС

*Выбор усилителя мощности (УМ), расчет его внутреннего сопротивления, вычисление сопротивления якорной цепи УМ-двигатель*

действующее сопротивление цепи УМ – ЭД, Ом;

выходное сопротивление усилителя мощности, Ом;

сопротивление обмотки якоря, Ом.

Выбираем транзисторный УМ ()*.* Необходимо назначить коэффициенты форсирования (КФ)

В силу естественного насыщения УМ по выходному напряжению, ЭД присуще ограничение по управляющему напряжению (скорости вращения):

максимальный КФ по напряжению (для транзисторных УМ )

Для получения запаса по управляющему напряжению в расчет принимается допустимое значение управляющего напряжения :

Для ЭД характерно естественное насыщение по электромагнитному моменту:

максимальный КФ по моменту (току) (назначаем )

Допустимый момент двигателя:

КФ двигателя в рабочем режиме (назначаем )

*Расчет передаточного отношения редуктора в первом приближении*

Требуемый момент на валу двигателя:

Требуемый момент, при котором обеспечивается заданное движение ОУ:

двигатель данному критерию удовлетворяет

Требуемая скорость вращения вала ЭД:

двигатель данному критерию удовлетворяет

Требуемое напряжение цепи якоря ЭД:

*Масса звена (плеча)*

## Энергетический расчет ЭМП локтя (I приближение)

*Расчет JЛ MAX ; MЛ MAX*

## Расчет механической части ЭМП с ОУ

Требуемые скорости и ускорения:

*Расчет наибольшего значения требуемого момента на валу ОУ*

*Расчет эквивалентной скорости движения ОУ*

Примем предварительно

*Расчет граничного значения максимальной требуемой мощности*

Для данного расчета зададимся значениями КПД редуктора прямого и обратного хода:

*Расчет ориентировочного значения требуемой номинальной мощности двигателя кисти*

Для расчета ориентировочного значения требуемой номинальной мощности двигателя кисти необходимо определить теоретическую кратность пускового момента. Для этого достаточно принять

Так номинальную мощность двигателя получим из соображений:

коэффициент кратности пускового момента двигателя.

*Выбор двигателя по номинальной мощности с учетом жесткости механической характеристики из таблиц ДПТ*

**Выбираем по результатам расчетов I приближения ДПТ TowerPro SG92R (Табл. 4)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | кг |  |
|  | 0.675 | 600 | 13 | 0.250 | 0.575 | 0.009 | 11 |

Таблица 4. Технические характеристики TowerPro SG92R

Выполним пересчет параметров для выбранного двигателя.

1. Номинальная угловая скорость:
2. Номинальный момент двигателя:
3. Коэффициент момента
4. Коэффициент противоЭДС

*Выбор усилителя мощности (УМ), расчет его внутреннего сопротивления, вычисление сопротивления якорной цепи УМ-двигатель*

действующее сопротивление цепи УМ – ЭД, Ом;

выходное сопротивление усилителя мощности, Ом;

сопротивление обмотки якоря, Ом.

Выбираем транзисторный УМ (). Необходимо назначить коэффициенты форсирования (КФ)

В силу естественного насыщения УМ по выходному напряжению, ЭД присуще ограничение по управляющему напряжению (скорости вращения):

максимальный КФ по напряжению (для транзисторных УМ )

Для получения запаса по управляющему напряжению в расчет принимается допустимое значение управляющего напряжения :

Для ЭД характерно естественное насыщение по электромагнитному моменту:

максимальный КФ по моменту (току) (назначаем )

Допустимый момент двигателя:

КФ двигателя в рабочем режиме (назначаем )

*Расчет передаточного отношения редуктора в первом приближении*

Требуемый момент на валу двигателя:

Требуемый момент, при котором обеспечивается заданное движение ОУ:

двигатель данному критерию удовлетворяет

Требуемая скорость вращения вала ЭД:

двигатель данному критерию удовлетворяет

Требуемое напряжение цепи якоря ЭД:

*Масса звена (локтя)*

## Энергетический расчет ЭМП кисти (I приближение)

*Расчет Jк MAX ; Mк MAX*

## Расчет механической части ЭМП с ОУ

Требуемые скорости и ускорения:

*Расчет наибольшего значения требуемого момента на валу ОУ*

*Расчет эквивалентной скорости движения ОУ*

Примем предварительно

*Расчет граничного значения максимальной требуемой мощности*

Для данного расчета зададимся значениями КПД редуктора прямого и обратного хода:

*Расчет ориентировочного значения требуемой номинальной мощности двигателя кисти*

Для расчета ориентировочного значения требуемой номинальной мощности двигателя кисти необходимо определить теоретическую кратность пускового момента. Для этого достаточно принять

Так номинальную мощность двигателя получим из соображений:

коэффициент кратности пускового момента двигателя.

*Выбор двигателя по номинальной мощности с учетом жесткости механической характеристики из таблиц ДПТ*

**Выбираем по результатам расчетов I приближения ДПТ TowerPro SG92R (Табл. 5)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  | кг |  |
|  | 0.675 | 600 | 13 | 0.250 | 0.575 | 0.009 | 11 |

Таблица 5. Технические характеристики TowerPro SG92R

Выполним пересчет параметров для выбранного двигателя.

1. Номинальная угловая скорость:
2. Номинальный момент двигателя:
3. Коэффициент момента
4. Коэффициент противоЭДС

*Выбор усилителя мощности (УМ), расчет его внутреннего сопротивления, вычисление сопротивления якорной цепи УМ-двигатель*

действующее сопротивление цепи УМ – ЭД, Ом;

выходное сопротивление усилителя мощности, Ом;

сопротивление обмотки якоря, Ом.

Выбираем транзисторный УМ (). Необходимо назначить коэффициенты форсирования (КФ)

В силу естественного насыщения УМ по выходному напряжению, ЭД присуще ограничение по управляющему напряжению (скорости вращения):

максимальный КФ по напряжению (для транзисторных УМ )

Для получения запаса по управляющему напряжению в расчет принимается допустимое значение управляющего напряжения :

Для ЭД характерно естественное насыщение по электромагнитному моменту:

максимальный КФ по моменту (току) (назначаем )

Допустимый момент двигателя:

КФ двигателя в рабочем режиме (назначаем )

*Расчет передаточного отношения редуктора в первом приближении*

Требуемый момент на валу двигателя:

Требуемый момент, при котором обеспечивается заданное движение ОУ:

двигатель данному критерию удовлетворяет

Требуемая скорость вращения вала ЭД:

двигатель данному критерию удовлетворяет

Требуемое напряжение цепи якоря ЭД:

*Масса звена (кисти)*