

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра _____

«ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ»

Зав. кафедрой

Бегматов Р.О.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
«18» 06 201__ г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Миниатюрный реактор для исследования опасности для человека среды.

Специальность 513 04 1600 Приборостроение

Выполнил (а) Исмаилов Ренат Аманжолдынович Группа П С 15-4
(Ф.И.О.)

Научный руководитель доцент, к.т.н. Байкенов Б.С.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

Консультанты:

по экономической части:

К.Э.Н., доцент Векмашева А.У.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
«05» 06 2019 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Д.Х.Н., профессор Бухаров Н.Г.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
«31» 05 2019 г.
(подпись)

Нормоконтролер:

к.т.н., доцент Бегматов Р.О.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
«18» 06 2019 г.
(подпись)

Рецензент:

(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
«__» __ 201__ г.
(подпись)

Алматы 2019

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Институт количественной Технологии и телеком
муникаций

Кафедра Электроники и робототехники

Специальность 5В071600 Приборостроение

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студенту Искакову Ренату Амангельдиевичу
(Ф.И.О.)

Тема проекта Миниатюрный гексапод для
исследования опасной для человека
среды.

Утверждена приказом по университету № ____ от « ____ » ____ 201__ г.

Срок сдачи законченного проекта « ____ » ____ 201__ г.

Исходные данные к проекту (требуемые параметры результатов исследования (проектирования) и исходные данные объекта):

1. Структура сборки гексапода
2. Алгоритм работы робота.

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломном проекте, или краткое содержание дипломного проекта:

1. Исследование конструкции роботов
2. Исследования преимуществ использования роботов
3. Исследование структурного строения гексаподов.
4. Выбор нужных приспособлений и создание схем робота.

чертежей): 1. Гидрографическая

- ## 2. Цели и актуальность работы

- ### 3. Преимущества использования роботов

- ### 4. Схема подключения

- ### 5. Технические характеристики

6. Экономическая часть

7. часть безотказности жизнедеятельности

Основная рекомендуемая литература:

1. Shonwalter, M. Hexapod Work space and walking algorithm, 2009.

2. Saranli, M., Buehler, M., Koditschek, D. E. RHEx - A simple and highly mobile hexapod robot, 2001.

Консультации по проекту с указанием относящихся к ним разделов проекта

[illegible]

График

ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

[illegible]

Дата выдачи задания « » 201 г.

Заведующий кафедрой

(подпись)

(Ф.И.О.)

Научный руководитель
проекта

(подпись)

(Ф.И.О.)

Задание принял к
исполнению студент

(ПОДПИСЬ)

(Φ.Η.Ο.)

Аннотация

Данная дипломная работа посвящена созданию прототипа миниатюрного гексапода. Описаны трудности создания роботов, особенности классификации, характеристики и возможности роботов-гексаподов. Главное достоинство созданного прототипа – использование его в опасных средах вместо человека, а также увеличить успешность проведения спасательных операций.

Аннотация

Бұл дипломдық жұмыс миниатюрді гексаподтың прототипін құруға арналған. Роботты жасаудағы қиыншылықтар, классқа бөлу ерекшеліктері, техникалық сипаттамалары және гексапод мүмкіншіліктері сипатталған. Құрылған прототиптің басты артықшылығы – адамдардың орнына қауіпті ортада және құтқару операцияларының табысқа жету мүмкіндігін көбейту.

Annotation

The following diploma is devoted to the development of a miniature hexapod prototype. In it hardships in developing a robot, classification features, technical specifications and hexapod capabilities are described. The main advantage of developed prototype is taking humans place in working in a dangerous environment and the increase in a success rate of rescue operations.

Содержание

Введение.....	7
1 Основные понятия о роботах.....	8
1.1 Эксплуатация роботов.....	8
1.2 Классификация роботов.....	9
1.3 Структура роботов, принцип работы.....	15
1.4 Гексапод, последние разработки.....	17
1.5 Создание модели гексапода.....	19
1.6 Архитектура тела и ножек робота.....	21
1.7 Система контроля гексапода.....	23
2 Описание используемых технологий.....	24
2.1 Платы Arduino.....	24
2.1.1 Среда разработки Arduino IDE.....	26
2.2 Ультразвуковой дальномер HC-SR04.....	27
2.3 ШИМ/Servo Driver 16-канальный – PCA 9685.....	28
2.4 Сервоприводы MG90S.....	29
2.5 Конструкторская часть.....	30
3 Технико-экономическое обоснование проекта.....	35
3.1 Цели и задачи проекта.....	35
3.2 Финансовый плат.....	36
3.2.1 Расчет инвестиционных затрат.....	36
3.2.2 Затраты на электроэнергию.....	38
3.2.3 Расчет заработной платы работников разрабатывающих Роботов.....	39
3.2.4 Социальный налог.....	40
3.2.5 Амортизация Основных фондов.....	40
3.2.6 Прочие затраты.....	42
3.2.7 Смета затрат на разработку ПП.....	42
3.2.8 Определение возможной (договорной) цены ПП.....	43
3.2.9 Расчет показателей экономической эффективности ПР... 3.2.10 Оценка социально-экономических результатов функционирования ПП.....	43 45
4 Безопасность жизнедеятельности.....	46
4.1 Анализ условий труда	46
4.2 Микроклимат рабочего помещения.....	47
4.3 Пожарная безопасность.....	48
4.4 Расчет средств пожаротушения с содержанием углекислого газа и хлоргидрата.....	51
4.5 Расчет вентиляции помещения.....	53
Использованная литература.....	58
Приложение 1.....	60
Приложение 2.....	61

Введение

Слово «робот» вызывает в воображении множество изображений для большинства людей, начиная с R2D2 и C3PO, известной в «Звездных войнах», и заканчивая мужеподобным Арнольдом Шварценеггером в серии «Терминатор» Ровера Соджорнера, которые исследовали марсианский пейзаж как часть исследования жизни на Марсе. Некоторые люди также считают, что роботы вскоре будут иметь автономные мысли и в конечном итоге захватят мир. Есть другие, которые думают, что мы скоро окажемся во власти этих роботов из-за нашей растущей зависимости от них для выполнения наших ежедневных задач. Эти понятия возникают полностью из-за отсутствия осведомленности. Робот – это любая машина, способная автоматически выполнять сложную последовательность действий, особенно программируемую компьютером[1]. Это может быть простая рука (используемая в хирургии), шпионский беспилотник или даже автоматические управляемые транспортные средства, которые используются для перевозки материалов на фабрике. Все подпадает под категорию «робототехника». Кроме того, робот не обязательно должен быть в форме человека (гуманоида). От простой механической птицы до солдат-роботов робототехника прошла очень долгий путь. Машины, которые уже являются частью любого крупного производства, образуют основу современного мира, эти роботы появлялись и развивались в течение многих лет. Само название «робот» было придумано лишь в прошлом веке, но роботы уже были в использовании (хоть и самые их простые версии) во времена до нашей эры.

Робототехника прошла огромный путь от самых простых установок до имитаций полноценно похожих на человека, собаку или многих других видов живых существ. Роботы не просто создаются для облегчения жизни человека (хоть это и является основной причиной), они также являются машинами, которые могут проходить сквозь труднопроходимые или и вовсе неприемлимые для человека среды. Одним из таких созданий является шестиногий робот-паук – гексапод.

1. Основные понятия о роботах

1.1 Эксплуатация роботов

Для полного понимания значения существования роботов в нашей жизни стоит начать с понятия, стоящего за самим словом робот. Так что такое робот? Робот происходит от чешского слова «robota», что означает «принудительная работа или труд». Сегодня мы используем слово «робот», чтобы обозначить любую искусственную машину, которая может выполнять работу или другие действия, обычно выполняемые человеком, либо автоматически, либо с дистанционным контролем. Робототехника в свою очередь – это наука изучения роботов[2].

Чем занимаются роботы? Ответ на этот вопрос может быть туманным, но имеет довольно простое объяснение. Для лучшей верности можно привести в пример какую-нибудь работу. Представьте, если б ваша работа заключалась в том, чтобы затягивать освободившиеся винты на, скажем, тостере. И вы затягиваете эти винты день за днём, неделя за неделей, год за годом... Такую работу, где нужно лишь выполнять определенное движение для каждого тостера (винта), можно поручить роботу. Большинство роботов в сегодняшний день занимаются именно этим: они выполняют определенные циклические движения или в некоторых случаях опасные для жизни человека процессы.

В зависимости от классификации роботов, они могут использоваться практически в любой отрасли промышленности или повседневной жизни.

Промышленные роботы имеют электронное управление, программируемое и перепрограммируемое для выполнения определенных задач с высокой аккуратностью и точностью. Роботы уже давно широко используются на высокоразвитых производственных объектах или сборочных линиях большого объема. Они эффективны и дают высокую производительность или результат. Наиболее распространено использование роботов в автомобильной промышленности, где они используются для практически всей работы, связанной со сборкой машины, таких как сварка, покраска и т. д. Роботы могут выполнять задачи с практически абсолютной точностью и лишь нуждаются в поддержке людей в остальном полностью их заменяя[3].

Поскольку роботы используют копию заранее выработанной стратегии для устранения неполадок, проблемы и какие-либо вычисления легко решаются и реализуются. При наличии и соблюдении надлежащих процедур и графиков технического обслуживания, износ машины или поломки можно легко прогнозировать, устранять и контролировать. В целом, производственные предприятия, управляемые промышленными роботами, могут работать без особых проблем и с меньшим взаимодействием людей.

Еще одно применение роботов нашло себя в аэрокосмической сфере для исследования космического пространства. Аэрокосмические роботы или беспилотные космические корабли-роботы играют ключевую роль в исследовании космоса. Ученые могут проводить исследования в космосе, не подвергая себя какой-либо опасности, как в том случае, если бы они сами отправились в космос. С контролируемыми роботами те же результаты достигаются более безопасно. Риск потерять жизнь/жизни членов исследовательских экспедиций в космосе в таком случае равен нулю.

Предоставление медицинской помощи. Весьма вероятное продвижение в здравоохранении – использование роботов в роботизированной хирургии. Благодаря технологическому прогрессу это возможно, даже если пациент находится в отдаленных районах[4]. Эта возможность бросает вызов расстоянию. С надлежащими инструментами и настройкой, нужное медицинское обслуживание может быть предоставлено пациенту отдаленных районов до прибытия кареты скорой помощи.

Роботы, похожие на людей и домашних животных. Использование этих роботов пока что не сильно развито в основном они могут выполнять какие-нибудь простые вещи как играть на музыкальных инструментах, танцевать под музыку и т.д.

Еще одно возможное применение роботов – это использование в военных целях. Несмотря на добрые намерения людей, создающих таких разных и, казалось бы, безобидных созданий, всегда найдутся люди, которые смогут создать из них боевых машин. На эту тему было написано множество книг и сняты фильмы, и, если посудить, то это ведь не просто фантазия. Солдат, не имеющий нужды во сне или потребностях пищи, не имеющий хрупкого тела человека и независимый от окружающей среды представляет из себя страшное зрелище.

1.2 Классификация роботов

Как известно, существует практически неисчислимое количество различных роботов. Это объясняется тем фактом, что само понятие робот очень пространственно и охватывает такую область, что роботами можно назвать практически любой гаджет или прибор, который действует автономно. Чаще всего для определения слова робот используется определение, данное Британской Ассоциацией Роботов, заключающееся в следующем: «Устройство, которое можно перепрограммировать, используемое для воздействия и транспортировки деталей, выполнения вещей или особых производственных принадлежностей посредством меняющихся запрограммированных движений для выполнения определенных задач»[5]

Благодаря этому определению можно сделать вывод, что классифицировать роботов в одну систему невозможно. Есть множество типов роботов в зависимости от того, по какому типу их распределять, некоторые из них уже были признаны по всему миру как официальные. Здесь же я опишу основные всемирно признанные классификации роботов.

Начну я с классификации, составленной Институтом Робототехники Америки:

- класс III или робот с переменной последовательностью: устройство, которое работает так же, как роботы класса 2, но управление которых можно изменить;
- класс IV или проигрывающий робот: устройство, которое повторяет задачи, выполняемые людьми, следуя записанной версии ручной работы;
- класс V или робот с числовым программным управлением: устройство, управляемое компьютером с помощью программы движения;
- класс VI или разумный робот: устройство, которое хорошо оценивает окружающую среду и выполняет задачи, управляя собственными движениями в соответствии с изменениями в окружающей среде;

Также есть роботы класса I и II, но они не были признаны Институтом как соответствующие значению слова робот. Класс I или устройство с ручным управлением: устройство с несколькими степенями свободы (в разных направлениях, в котором может перемещаться деталь), приводимое в действие оператором (рисунок 1).



Рисунок 1 – робот класса I, Кран

Класс 2 или робот с фиксированной последовательностью: устройство, которое выполняет последовательные этапы задачи по фиксированному методу.

Количество существующих роботов также допускает классификацию по кинематической структуре.

Слово «кинематический» относится к изучению движения точек, тел и системы тел без учета массы каждого тела. Прежде чем углубляться в изучение робототехники, давайте сначала разберемся с простой аналогией -

подумайте о своей руке. У неё есть 3 сустава. Верхний или плечевой сустав позволяет вашей руке двигаться в угловом направлении и, следовательно, является вращательным суставом[6]. Средний или локтевой сустав допускает движение руки в разных угловых направлениях и, следовательно, является вращательным суставом. Нижний или ладонный сустав также является вращательным суставом и, таким образом, обеспечивает вращательное движение.

Точно так же роботы могут быть классифицированы на основе их систем координат, то есть на основе достижимых координат точки конечного расположения.

1. Декартовый робот (Cartesian). Декартовый робот – это робот, руки которого движутся в прямоугольной системе координат XYZ. Он нуждается в большом объеме для работы и имеет жесткую структуру. Набор вращающихся двигателей в сочетании с гайкой и шариковыми винтами позволяет достигать прямолинейного движения. Однако из-за частого технического обслуживания этих винтов роботы становятся более дорогими.

2. Цилиндровый (Cylindrical). Этот тип робота подразумевает робота, руки которого движутся в одном угловом и двух линейных направлениях. У него есть основное вращение, высота и охват. В отличие от декартовых роботов, эти роботы требуют меньшего объема. Они используются в приложениях, где требуется проникновение в маленькие отверстия или работа на цилиндрических поверхностях, таких как сварочные трубы.

3. Сферический. Руки такого робота движутся в двух угловых и одном линейном направлении. Он имеет базовое вращение, угловую высоту и охват. Используется для работы со сферическими деталями.

4. SCARA – рукоятка селективного соответствия для роботизированной сборки или SCARA имеют два параллельных поворотных соединения, обеспечивающих соответствие в выбранной плоскости. Соответствие относится к гибкому поведению робота в ответ на внешние силы. Области применения включают сборку, упаковку, сортировку, легкое бурение.

5. Сочлененный (articulated). Также известен как антропоморфный робот, рука робота имеет 3 вращающихся сустава. Поскольку исполнительные механизмы непосредственно связаны через набор элементов вращательного механизма или ремня, эти роботы просты в изготовлении и обслуживании. Однако, поскольку этот робот предназначен для обеспечения вращательного движения, для достижения линейного движения требуются сложные математические вычисления.

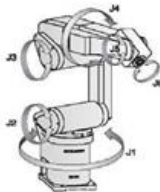
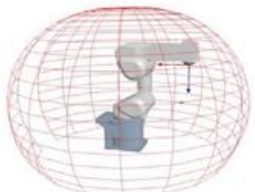


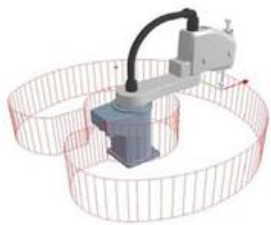

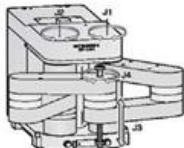
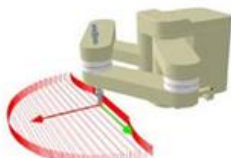







Principle	Kinematic Structure	Photo
Articulated Robot 		
SCARA Robot 		
SCARA Robot 		
Cartesian Robot 		
Parallel Robot 		

Рисунок 2 – классификация роботов по кинематической структуре

Классификация по типу движений

Неподвижный робот. Большинство стационарных роботов – это промышленные роботы, которые работают в четко определенных средах. Эти роботы установлены на устойчивой основе на какой-нибудь поверхности и, основываясь на их внутренней конфигурации, могут рассчитывать свои позиции.

Мобильный. Как следует из названия, мобильные роботы не прикреплены к поверхности, а могут свободно перемещаться по поверхности. Это может быть робот на ножках или на колесах.

Наземные роботы. В зависимости от типа передвижения есть несколько видов:

1. Колесные. Подобно транспортным средствам, колесные роботы руководствуются кинематическими моделями, которые полагаются на

движение, а не на причину движения. Самой примитивной версией была 4-колесная электрическая машина с автоматическим управлением (AGV).

1.1. Одноколесные. Состоят из одного колеса для балансировки и навигации. Практический пример - девушка Мурата (Сейко).

1.2. Двухколесные. Состоят из параллельных колес с центром тяжести под колесной осью. Датчик наклона используется для поддержания баланса колес путем определения наклона робота, а затем направляет привод для перемещения робота в этом направлении. Практическим примером является двухколесный NBOT.

1.3. Трехколесные. Имеют три колеса составляющих треугольник, следовательно, баланс обеспечен. Обычно переднее колесо – рулевое, а задние колеса обеспечивают движение.

1.4. Четырехколесные. Это самые эффективные роботы в списке. В то время как первые два обеспечивают рулевое управление, два других обеспечивают движение. Примером является марсоход НАСА – Скарабей.



Рисунок 3 – четырехколесный робот Husarian

1.5. Многоколесные. Проектирование этих роботов является наиболее сложным из-за того, что каждое колесо должно иметь одинаковую скорость, когда роботы движутся вперед. Практический пример включает в себя Mars Rover с 6 колесами.

2. Ходячие. Это, как правило, шагающие роботы, которые используют конечности для движения. Они в основном используются для обеспечения движения в крайне неструктурной среде. Несмотря на сложную конструкцию, эти роботы имеют большие преимущества перед колесными роботами с точки зрения навигации по любому типу пути или местности.

2.1. Двуногие. Роботы с двумя ногами. Классическим примером является робот-гуманоид. Эти роботы работают в такой же среде, как люди, и предназначены для имитации поведения человека. Стабильность поддерживается путем расчета каждого шага и перемещения веса в четко определенном порядке. Практические примеры включают QRIO от Sony, ASIMO от Honda и Atlas от Boston Dynamics.



Рисунок 4 – Atlas

2.2. Трехноги. Эти роботы имеют 3 точки контакта с землей и являются статически устойчивыми, то есть они хорошо сбалансированы и могут стоять, не опрокидываясь. Практический пример включает в себя STRIDER (самодостаточный трехногий динамический экспериментальный робот) от RoMeLa.

2.3. Четырехногие. Также известные как роботы-тетраподы, у них 4 ноги, и их ходьба похожа на передвижения животных. Будучи статически устойчивыми, они хорошо сбалансированы в различных положениях. Они могут двигаться, перемещая одну ногу за раз или перемещая чередующуюся пару ног.

2.4. Гексаподы. У этих роботов есть 6 ног, и их ходьба подражает паукам. Они имеют более высокую стабильность в положении стоя и в движении. Они могут двигаться, перемещая каждую пару ног последовательно или перемещая попеременные ноги каждой пары. Практические примеры включают Нехарод Государственного университета штата Огайо (OSU), автомобиль с адаптивной подвеской OSU и т.д.



Рисунок 5 – гексапод

3. Плавающие роботы. Эти роботы являются последним дополнением к семейству роботов, которые работают под водой и используются для навигации, помощи в плавании и т.д. Практический пример включает в себя автономный подводный аппарат (AUV), PacX Wave Glider (который путешествовал на расстоянии ок. 17000 км над Тихим океаном для сбора данных об океане с высоким разрешением) и робот Swumanoid (который создан японскими исследователями, чтобы помочь спортсменам плавать быстрее)

4. Летающие роботы. В основном это роботы микроразмера, имитирующие морфологию насекомых. Некоторые из них также разработаны как беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Существует два типа беспилотных летательных аппаратов – дроны и квадраноты. Дроны могут варьироваться от маленького радиоуправляемого игрушечного вертолета до 32000-фунтового Глобального Ястреба. Первоначально используемые в основном для исследовательских целей, эти роботы находят свое применение и в коммерческих целях.

1.3 Структура роботов, принцип работы

В этом отделе мы ознакомимся с основными компонентами роботизированной системы.

Механическая система:

- Локомоторный аппарат (колеса, гусеницы, ноги и т.д.)
- Манипуляционный аппарат (механическая рука, концевой эффектор, искусственная рука).

Система приведения в действие:

- Предоставляет возможность оказывать действие (передвижение или манипулирование).

Сенсорная система:

- «проприоцептивные датчики» = получают данные о состоянии робота (например, положение, углы соединения и т. д.)
- «Экстероцептивные датчики» = собирают данные о внешнем состоянии окружающей среды.

Система контроля:

- Она командует выполнением действий относительно целей.

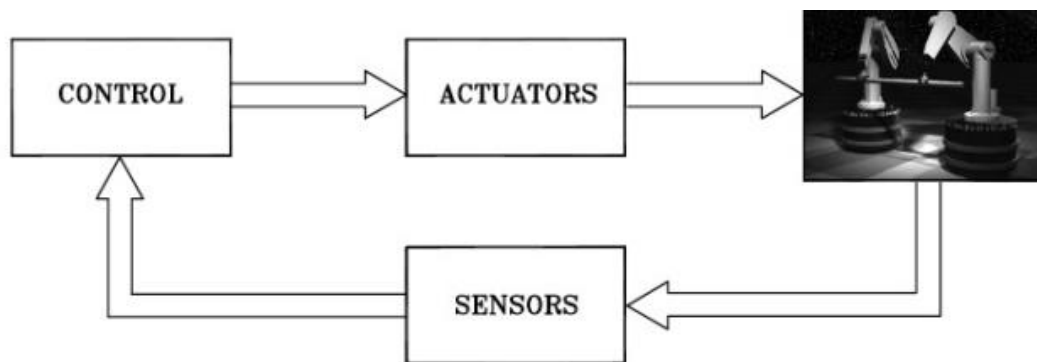


Рисунок 6 – принцип работы роботизированной системы

Манипуляторы. Манипуляторы являются одной из важнейших составляющих робота, поскольку, как и подразумевает название, позволяют манипулировать объектами[7].

- робот с твердой основой;
- состоит из серии твердых тел (звеньев) которые связаны между собой посредством соединений (суставов).
- запястье дает ловкость, а эффектор выполняет требуемое задание

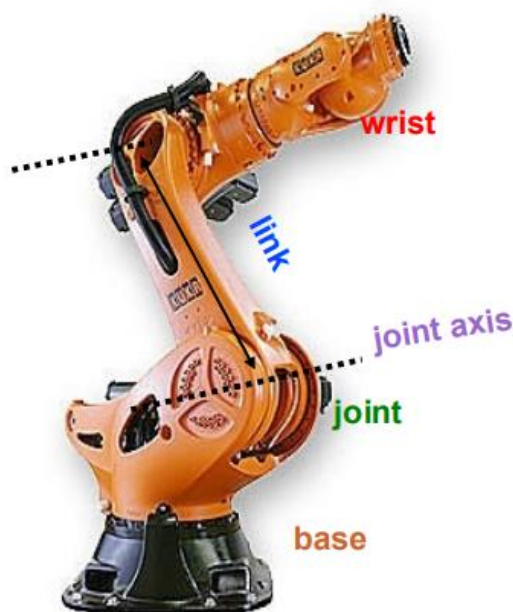


Рисунок 7 – структура промышленного робота

Соединения и DoF (степень свободы).

Соединения роботов бывают 2 видов: вращающиеся соединения (revolute) и призматические соединения (которые показаны на рисунке 5)

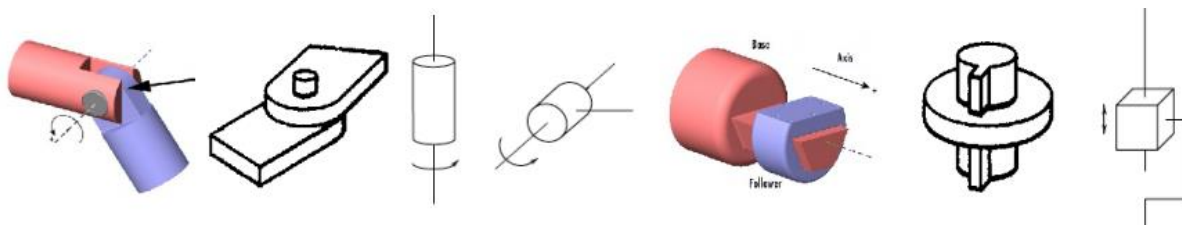


Рисунок 8 – виды соединений роботов

1.4 Гексапод, последние разработки

Два последних десятилетия характеризовались бурным развитием технологий систем управления. Роботы Hexarod были оснащены различными сенсорными системами. Системы искусственного интеллекта широко применялись для анализа окружающей среды и движения роботов по сложной поверхности. В конце 90-х годов в Case Western Reserve University (США) была разработана серия био-вдохновленных роботов, такие как, например, Robot III, в общей сложности имевшим 24 DoF. Архитектура Robot III была основана на структуре тараканов, пытаюсь подражать их поведению[8]. В частности, каждая задняя нога имела три степени свободы, каждая средняя нога четыре степени свободы и каждая передняя нога пять степеней свободы. Точно так же, Биобот был биомиметическим роботом, физически смоделированным как американский таракан (*Periplaneta Americana*), и передвигался на сжатом воздухе[9]. Этот гексапод обладал большой скоростью и ловкостью. Каждая нога робота имела три сегмента, соответствующие трем основным сегментам ног насекомого: тазобедренная, бедренная и большеберцовая кость.

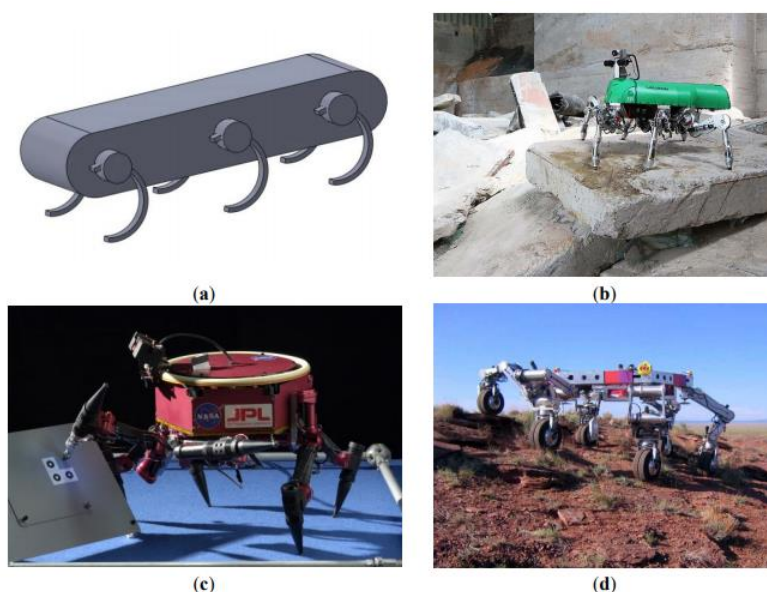


Рисунок 9 – последние разработки гексаподов; (a) простая архитектура RHex, (b) шестиногий Lauro V из Исследовательского центра информационных технологий FZI; (c) одна из конфигураций прототипа Lemur; (d) Athlete во время экспериментальных тестов.

Несколько прототипов RHex были разработаны. В настоящее время проект все еще активен.

Робот *Lauron V hexapod* (рис. 9b) стал результатом около 10 лет прогрессивного улучшения предыдущих конфигураций *Lauron I*, *II*, *III* и *IV*. *LAURON* биологически вдохновлен палочником-насекомым [10]. Подобно этому насекомому, робот имеет шесть ног, прикрепленных к центральному телу. Каждая из шести ног приводится в действие четырьмя суставами. Каждая нога имеет трехосевой датчик силы, а каждый двигатель имеет датчик тока, который определяет силы, противодействующие его движению. В настоящее время проект все еще активен.

Грегор I воспроизводит ловкость таракана, в которой контроль локомоции основан на теории «Центрального генератора путей» [11]. Дизайн Грегор I имел биологические отсылки, где каждая пара ног имеет уникальный дизайн. Пара передних ног и пара средних ног имеют по три степени свободы на каждой ноге, а пара задних ног имеет две степени свободы. Другой робот-шестигранник по имени *Sprawlita* [12] был разработан с учетом основных принципов передвижения тараканов: самостабилизирующаяся осанка, различные функции для ног, пассивная вязко-упругая структура, управление с разомкнутым контуром и интегрированная конструкция. В 2005 году был разработан робот-гексапод с именем *BILL-Ant-p* [13]. Робот основывался на поведении муравьев и состоит из трех степеней свободы на каждой ноге с шестью чувствительными к силе ногами, шеей и головой с тремя степенями свободы и приводимыми в действие мандибулами с определением силы в общей сложности для 28 степеней свободы.

Лаборатория реактивного движения [14] разработала серию гексаподов, названных *LEMUR* (робот с механическими вспомогательными механизмами), с целью использования роботов для ремонта и обслуживания в условиях почти нулевой гравитации на поверхности космического корабля (рис. 9c). *MARS* (*Multi Appendage Robotic System*) была мобильной роботизированной исследовательской платформой *hexapod*, разработанной после проекта *LEMUR* для аналогичных приложений с использованием радиальной симметрии. Платформы *MARS* способны двигаться в любом направлении, не поворачиваясь [15].

В 2004 году Лаборатория реактивного движения разработала шестиногого лунного робота под названием *ATHLETE*. Этот робот обладал способностью быстро катиться на вращающихся колесах по ровной ровной местности и осторожно ходить на неподвижных колесах по неровной и крутой местности. *ATHLETE* имел грузоподъемность 450 кг, диаметр около 4 м и охват около 6 м (рис. 9d).

1.5 Создание модели гексапода

Создание роботов-гексаподов далеко не тривиально. Существует очень большой и широкий спектр возможностей для разработки шестиногового, как и утверждалось ранее. Конструкторы должны принять несколько решений, которые влияют на работу и технические характеристики. Некоторые из наиболее важных проблем проектирования и ограничений в соответствии с [16] могут быть обозначены как:

- механическая структура корпуса робота;
- архитектура ног;
- максимальные размеры;
- исполнительные механизмы и приводные механизмы;
- архитектура управления;
- источник питания;
- положение и скорость;
- способность избегать препятствий;
- полезная нагрузка;
- автономия;
- особенности работы;
- стоимость.

Вышеупомянутые проблемы и ограничения проекта могут быть классифицированы как входные данные проекта (или ключевые особенности) и выходные данные проекта (или основные характеристики проекта), как показано на схеме на рисунке 10.

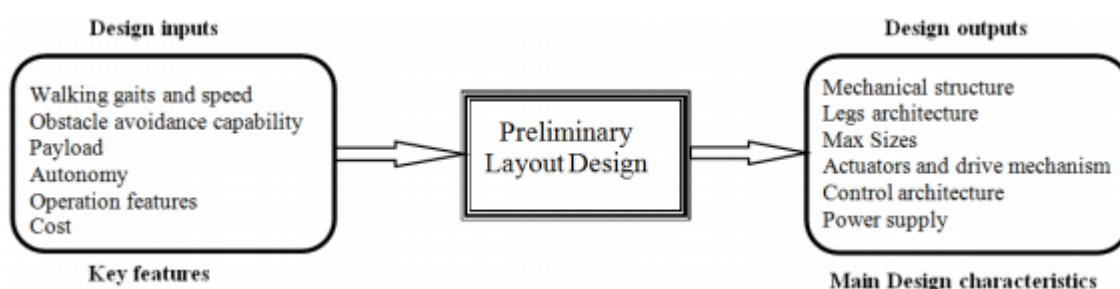


Рисунок 10 – схема проектирования модели ходячего робота-гексапода

Опрос на современном уровне техники показывает, что каждая конструкция робота-гексапода практически уникальна. Нехарод может быть разработан в нескольких конфигурациях, и у каждого решения есть свои критерии проектирования, технические характеристики, формы, преимущества и недостатки, но в литературе отсутствует систематическая процедура проектирования роботов-шестигранников, относящаяся к конкретным функциональным требованиям. Следовательно, каждый

гексапод проектируется уникальным образом в связи с требованиями и характеристиками. На рисунке 11 изображена блок-схема предлагаемой конструкции с целью систематического рассмотрения основных характеристик конструкции и ключевых характеристик.

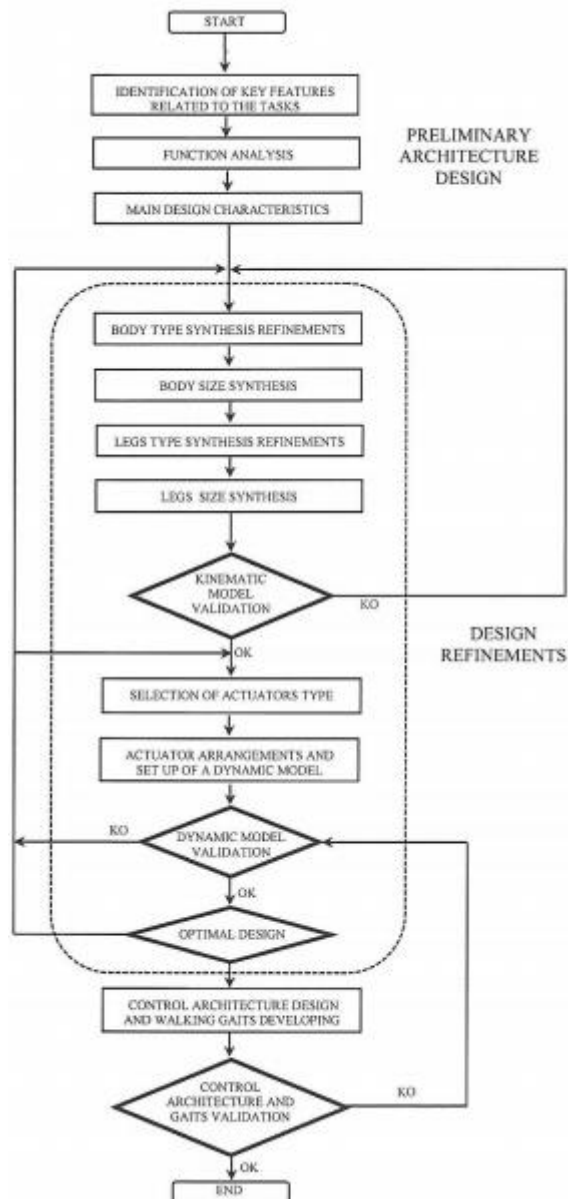


Рисунок 11 – блок-схема создания модели гексапода

Выше обсуждаются основные характеристики проекта и проблемы моделирования, чтобы показать, как можно реализовать предложенную процедуру проектирования. Стоит также упомянуть, что существуют другие конструктивные характеристики, и для конкретных применений могут быть рассмотрены дополнительные функции. Таким образом, наиболее замечательные характеристики конструкции были рассмотрены в качестве примеров для заполнения данных в матрице причин и следствий.

1.6 Архитектура тела и ножек робота

Существует две основные архитектуры роботов-гексаподов: прямоугольные и шестиугольные. Первая имеет шесть ножек, распределенных симметрично вдоль двух сторон, каждая сторона имеет три ножки. Вторая имеет ноги, распределенные аксиально-симметрично вокруг тела, в шестиугольной или круглой форме. Много информации можно найти в литературе о прямоугольных шестиногих роботах. Двусторонняя симметрия может лучше подходить, чем радиальная симметрия, для движения по прямой линии. Прямоугольные архитектуры требуют особой походки для поворота; как правило, им нужно четыре шага, чтобы осуществить поворотное действие.

Шестиугольные гексаподы демонстрируют лучшие характеристики, чем прямоугольные роботы по некоторым аспектам. Например, шестиугольные роботы могут иметь различные виды походок и могут легко менять направление – фактически истинная радиальная симметрия подразумевает, что все ноги равны, а тело не имеет «передних» или «задних» – таким образом, нет никакого предпочтительного направления для движения. В работе Прумонта доказали, что гексагональные гексаподы могут легко поворачиваться во всех направлениях и имеют больший запас устойчивости. А Такахашаи и еще несколько ученых обнаружили, что шестиугольные роботы вращаются и двигаются во всех направлениях одновременно, лучше, чем прямоугольные, сравнивая запас устойчивости и ход в волновой походке. Учёные Чу и Пан теоретически доказали, что шестиугольные роботы-шестигранники обладают превосходным запасом устойчивости, шага и способности к повороту по сравнению с прямоугольными роботами.

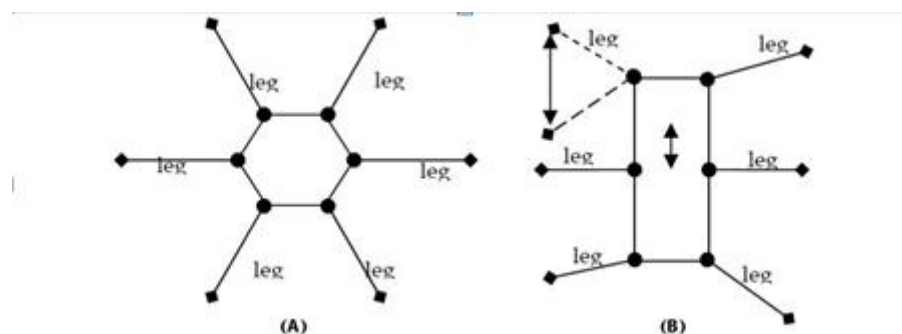


Рисунок 12 – шестиугольные и четырехугольные гексаподы

Архитектура кинематики зависит от факторов, связанных с приложением, для которого требуется робот-гексапод, например, для формы местности, рабочей области и полезной нагрузки. Разные источники показывают, что в настоящее время для роботов-гексаподов используется

целый ряд различных типов ног. У всех есть свои преимущества и недостатки. На рисунке 13 показана схематическая классификация типов ножек гексаподов.

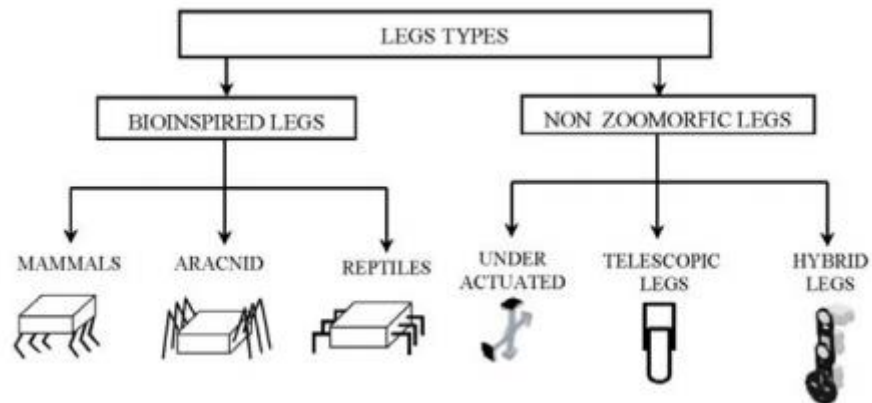


Рисунок 13 – типы ножек робота-шестинога

На первом этапе можно выбирать между био-вдохновленными и незоморфными ногами. Биовдохновленная конфигурация ног мотивируется прежде всего походкой животных, таких как рептилии, млекопитающие или паукообразные. Первый имеет ноги и тела для перемещения по грубой и неровной местности. Основной характеристикой рептилийского типа является то, что ноги расположены на обоих концах выступающего тела и коленях по бокам основания. Тела млекопитающих находятся выше ног, что обеспечивает меньшую поддержку основания и требует меньшего энергопотребления для поддержки тела, но требует большей устойчивости, чем у других типов животных. В конфигурации «Арахнид» конечности ног расположены с обеих сторон, придерживая колени в верхней части тела паука. Ориентация ног относительно тела робота-гексапода может быть выполнена в трех конфигурациях (Рисунок 14): фронтальная, стреловидная или круговая. В первом из них направления перпендикулярны продвижению положения ног, в отличие от стреловидного, который движется параллельно ногам робота, в то время как при круговом расположении ноги расположены радиально относительно корпуса системы, что позволяет механизму двигаться в любом направлении. В конфигурации млекопитающих ноги находятся ниже тела и могут располагать колени в разных положениях в зависимости от приложения, которое для этого требуется. Не зоморфные ножки могут быть гибридами.

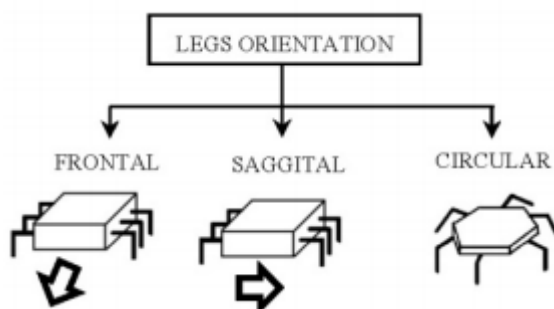


Рисунок 14 – конфигурация ориентации ножек гексапода
1.7 Система контроля гексапода

Системы управления последних роботов гексаподов представляют собой распределенные иерархические системы, состоящие из главного компьютера, встроенного контроллера и различных исполнительных механизмов и датчиков. Пример иерархической архитектуры управления показан на рисунке 15.

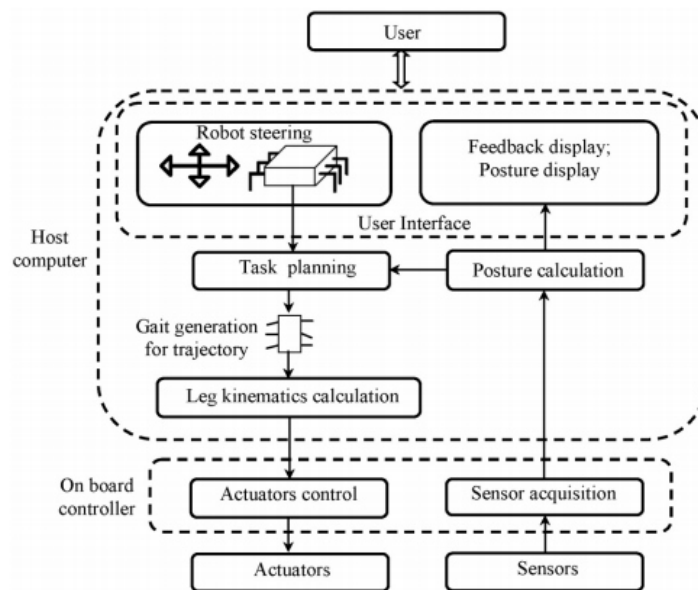


Рисунок 15 – пример иерархической архитектуры управления гексаподом

Схема базового управления движением гексапода показана на рисунке 16. Пользователь устанавливает желаемое положение и движение, которое является входом для генератора траектории. Генератор траектории отправляет координаты участка в обратную кинематическую модель для каждого участка. Обратная кинематическая модель пересчитывает эти данные координаты в свои угловые координаты для всех соединений. Результатами модели обратной кинематики являются углы соединения, которые затем входят в контур управления. Управление на уровне соединения почти всегда осуществляется с использованием ПИД-регулятора. Управление на уровне соединения почти всегда осуществляется с использованием ПИД-регулятора.

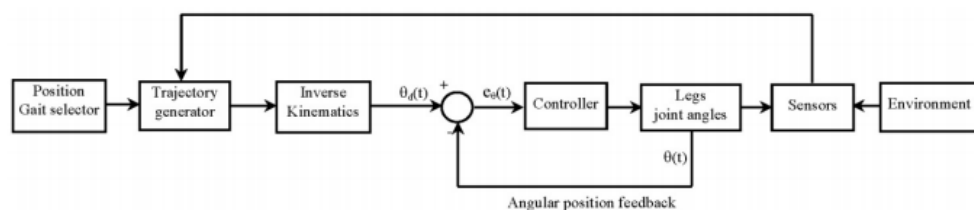


Рисунок 16 – схема базового управления движением робота-гексапода

2 Описание используемых технологий

2.1 Платы Arduino

Начиная описание технологий, я хотел выделить особое и первое место для плат серии Arduino (рисунок 17), на основе которых я собрал прототип робота в данной дипломной работе.

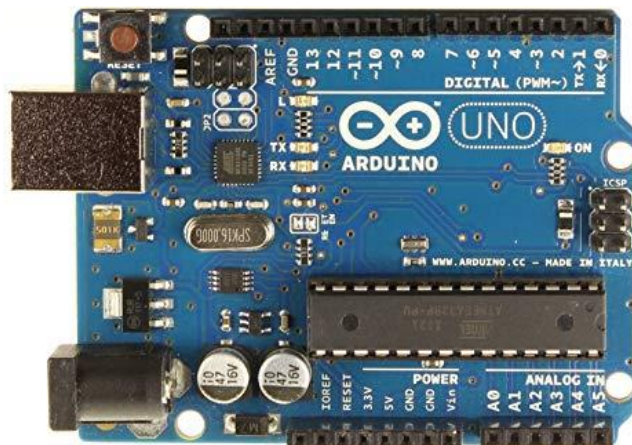


Рисунок 17 – Плата Arduino Uno

Первым вопросом, которым я задавался при выборе технологий для прототипа, это выбор платы (микроконтроллера и т.д.), на базе которого и будет работать робот.

Почему Ардуино? Благодаря простому и доступному пользовательскому интерфейсу Arduino используется в тысячах различных проектов и приложений. Программное обеспечение Arduino простое в использовании для начинающих, но и достаточно гибкое даже для опытных пользователей. Оно работает на Mac, Windows и Linux, то есть не имеет значения, какая операционная система стоит на компьютере. Преподаватели и студенты используют его для создания недорогих научных проектов, для доказательства принципов химии и физики или для обучения в сфере программирования и робототехники. Дизайнеры и архитекторы создают интерактивные прототипы, музыканты и художники используют их для инсталляций и экспериментов с новыми музыкальными инструментами. Проектировщики, конечно же, используют его для создания многих проектов, например, таких представленных на Maker Faire. Arduino – это ключевой инструмент для изучения новых вещей. Любой – ребенок, любитель, художник, программист – могут начать мастерить, просто следуя пошаговым инструкциям набора или узнать различные способы создания проектов в Интернете, и обсудить эти идеи с другими членами сообщества Arduino.

Существует множество других микроконтроллеров и платформ микроконтроллеров, доступных для физических вычислений. Parallax Basic Stamp, Netmedia BX-24, Phidgets, Handyboard MIT и многие другие микроконтроллеры предлагают аналогичную функциональность. Все эти инструменты собирают запутанные и сбивчивые детали программирования микроконтроллера и упаковывают его в простой в использовании пакет. Arduino также как и вышеупомянутые платформы упрощает процесс работы с микроконтроллерами, но предлагает учителям, студентам и любителям некоторые преимущества перед другими системами:

- Цена – платы Arduino относительно недороги по сравнению с другими подобными платформами. Самая дешевая версия модуля Arduino может быть собрана вручную, и даже предварительно собранные модули Arduino стоят менее 50 долларов.

- Кроссплатформенность. Программное обеспечение Arduino (IDE) работает в операционных системах Windows, Macintosh OSX и Linux. Большинство микроконтроллерных систем ограничены Windows.

Простая, понятная среда программирования - Arduino Software (IDE) проста в использовании для новичков, но достаточно гибка для опытных пользователей, чтобы также воспользоваться ее преимуществами. Для учителей он удобен основан на среде программирования Processing, поэтому учащиеся, обучающиеся программированию в этой среде, будут знакомы с работой Arduino IDE.

Программное обеспечение с открытым исходным кодом и расширяемое программное обеспечение. Программное обеспечение Arduino выпускается в виде инструментов с открытым исходным кодом, доступных для расширения опытными программистами. Язык может быть расширен с помощью библиотек C ++, и люди, желающие понять технические детали, могут перейти от Arduino к языку программирования AVR C, на котором он основан. Точно так же вы можете добавить код AVR-C непосредственно в ваши программы Arduino, если хотите.

Открытый исходный код и расширяемое оборудование. Планы плат Arduino публикуются под лицензией Creative Commons, поэтому опытные конструкторы схем могут создать собственную версию модуля, дополнив его и улучшив его. Даже относительно неопытные пользователи могут создать макетную версию модуля, чтобы понять, как он работает, и сэкономить средства.

Как видно из вышеперечисленного, платы Arduino идеально подходят для выполнения и создания различных устройств, роботов, контроллеров и приборов. Теперь я остановлюсь на причине выбора именно платы Arduino NANO (рисунок 18). Для этого мне понадобится прибегнуть к обычному сравнению характеристик и возможностей каждой платы.

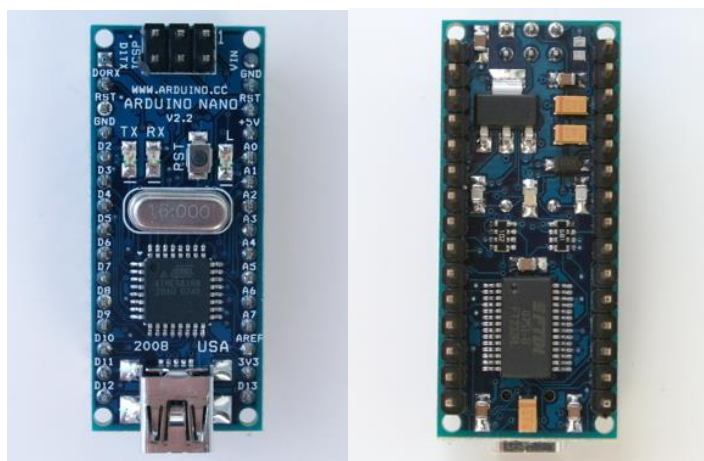


Рисунок 18 – вид спереди и сзади платы Arduino NANO

Таблица 1 – основные технические характеристики платы Arduino NANO

Микроконтроллер	Atmel ATmega328
Рабочее напряжение	5В
Напряжение питания (рекомендуемое / предельное)	7-12В / 6-20В
Цифровые входы/выходы	14 (6 из которых могут быть использованы как ШИМ-выходы)
Аналоговые входы	8
Максимальный ток одного вывода	40мА
Flash-память	32КБ
SRAM	2КБ
EEPROM	1КБ
Тактовая частота	16 МГц
Размеры платы	1.85 см x 4.3 см

2.1.1 Среда разработки Arduino IDE

Интегрированная среда разработки Arduino (IDE) - это кроссплатформенное приложение (для Windows, macOS, Linux), написанное на языке программирования Java. Оно используется для написания и загрузки программ на совместимые с Arduino платы, а также на платы других производителей с помощью сторонних программ.

Исходный код для среды IDE выпущен под Общедоступной Лицензией (GNU) версии 2. Среда Arduino IDE поддерживает языки C и C++ с

использованием специальных правил структурирования кода. Arduino IDE предоставляет библиотеку программного обеспечения из проекта «Wire», которая предоставляет множество общих процедур ввода и вывода. Для написанного пользователем кода требуются только две основные функции – для запуска эскиза и основного цикла программы, которые компилируются и связываются с программой `stub main ()` в исполняемую циклическую программу с помощью цепочки инструментов GNU, также включенной в дистрибутив IDE. Arduino IDE использует программу «avrdude» для преобразования исполняемого кода в текстовый файл в шестнадцатеричном коде, который загружается в плату Arduino программой - загрузчиком во встроенном программном обеспечении платы. Пример среды разработки Arduino показан на рисунке 19.

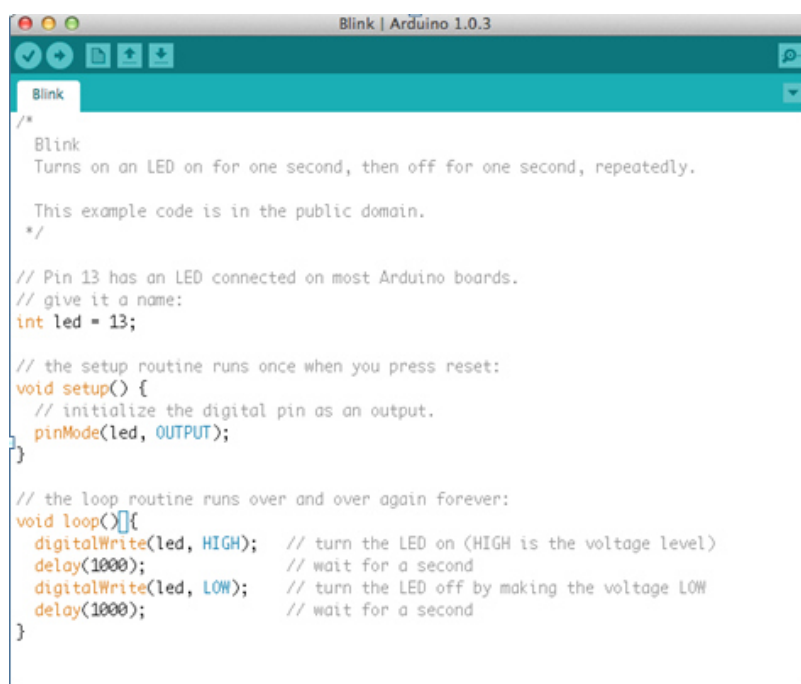


Рисунок 19 – среда разработки Arduino IDE

2.2 Ультразвуковой дальномер HC-SR04

Ультразвуковой дальномер HC-SR04 обеспечивает бесконтактное расчитывание расстояния от 2 до 400 см. Функция измерения, точность измерения дальности может достигать 3 мм. Модули включают в себя ультразвуковые передатчики, приемник и схему управления. Основной принцип работы:

- Использование триггера ввода-вывода для сигнала высокого уровня не менее 10us,
- Модуль автоматически отправляет восемь 40 кГц и определяет, есть ли импульсный сигнал в обратную сторону.

- Если сигнал возвращается через высокий уровень, время высокой длительности ввода-вывода – время от отправки ультразвука до его возвращения.

Тестовое расстояние = (время высокого уровня × скорость звука (340м/с) / 2



Рисунок 20 – ультразвуковой дальномер HC-SR04

Таблица 2 – характеристики ультразвукового дальномера HC-SR04

Рабочее напряжение	5В
Потребление тока в режиме тишины	2мА
Потребление тока во время работы	15мА
Диапазон расстояния измерения	2-400см
Угол наблюдения	15°
Размер	45x20x15мм

2.3 ШИМ/Servo Driver 16-канальный – PCA 9685

Данный драйвер позволяет подключать 16 устройств управляемых ШИМ: моторы, сервоприводы, светодиоды. Используя адресные контакты можно объединить несколько таких драйверов для управления большим количеством устройств (до 512).

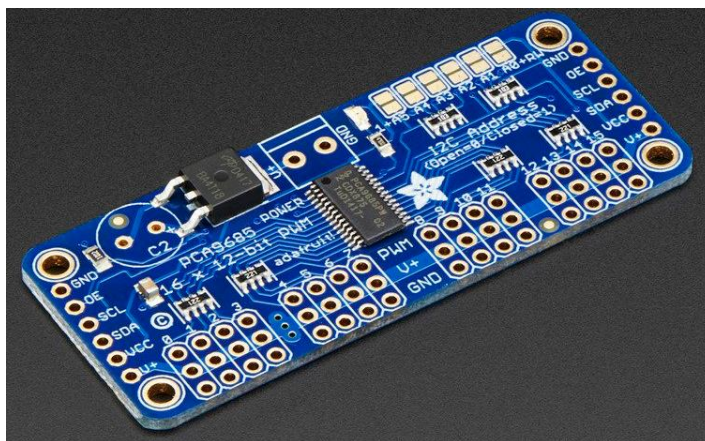


Рисунок 21 – ШИМ 16-канальный PCA 9685

Таблица 3 – характеристики ШИМ/Серво драйвера PCA 9685

Диапазон ШИМ	12 бит
Количество разъемов для серво	16
Интерфейс	I2C (адрес по умолчанию 0x40)
Напряжение питания моторов	До 6В
Мощность нагрузки	До 50Вт
Максимальное количество драйверов	32

Таблица 4 – характеристики ультразвукового дальномера HC-SR04

Рабочее напряжение	5В
Потребление тока в режиме тишины	2мА
Потребление тока во время работы	15мА
Диапазон расстояния измерения	2-400см
Угол наблюдения	15°
Размер	45x20x15мм

2.4 Сервоприводы MG90S

Крошечный и лёгкий с высокой выходной мощностью этот сервопривод в основном используется для создания гексаподов, квадрокоптеров или других роботов. Благодаря тому, что имеет металлическую часть, является более прочным.



Рисунок 22 – Сервопривод MG90S

Таблица 5 – характеристики сервопривода MG90S

Напряжение питания	4.8 – 6В
Скорость без нагрузки:	
при 4.8В	0.11 с/60°
при 6В	0.1 с/60°
Рабочая температура	-30...+60° С
Диапазон расстояния измерения	2-400см
Вес	13.4г
Размер	23x12.2x29мм

Остальные части гексапода были напечатаны на 3D принтере: ножки, крепления, основная часть тела. Модели можно найти в приложении 1.

2.5 Конструкторская часть

В моем гексапode используется 12 сервоприводов +1 для дальномера HC SR-04. То есть, это дает гексаподу 2 степени свободы, 2 сервопривода на 1 ножку. В сравнении с популярными 3 сервоприводами (3 степени свободы) на многих роботах, 2 сервопривода имеют ряд преимуществ:

- меньше энергии для запуска сервоприводов;
- меньше времени на обработку сервоприводов.

Однако это также означает, что пожертвовав 1 DoF (степенью свободы) мы также имеем трудности с устойчивостью, следственно, сложнее запрограммировать робота ползать ровно. Для того, чтобы компенсировать отсутствие одного сервопривода на каждой ножке, все они должны иметь

механическую систему, переводящую угловое движение сервопривода в линейное движение ножки.

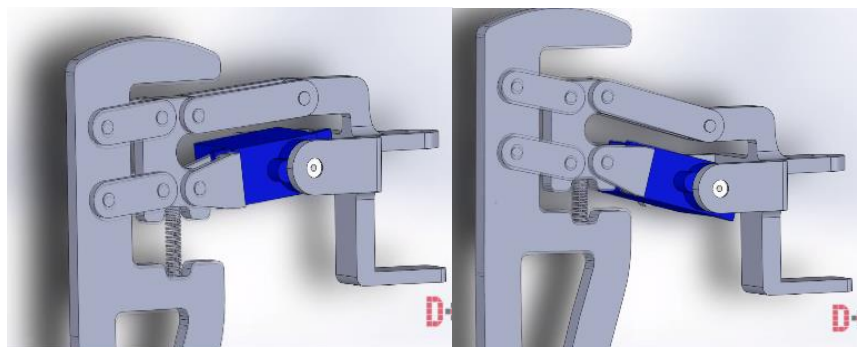


Рисунок 23 – механизм перевода углового движения сервопривода в линейное ножки

Как можно увидеть на рисунке 23 там также имеется пружина. Эта пружина нужна для компенсации любых возможных неточностей, возникших во время печати деталей. Пружина также поможет добиться более естественного ползучего движения из-за оказывания ей большой поддержки самой ножке. Эти пружинки были взяты из обычных шариковых ручек, однако понадобится немного подрезать длину.

При сборке ножки нужно помнить, что надо поставить шайбу между между каждым пластиковыми деталями,двигающимися вверх-вниз. Может понадобится отрегулировать размер отверстий с помощью дрели. Болты нужно составить так, чтобы они оставались подвижными, но не разваливались. Также для каждого болта понадобится по 2 гайки.

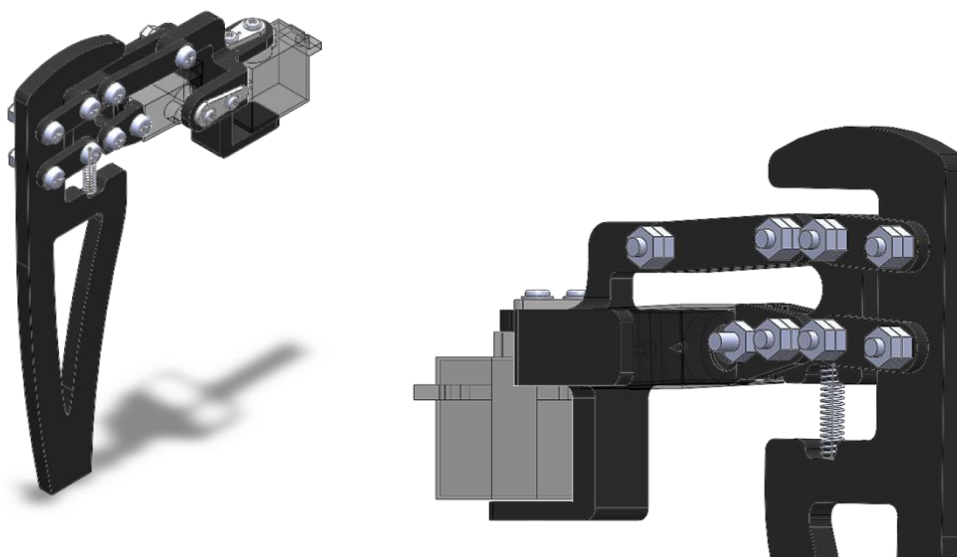


Рисунок 24 – сборка ножки

Чрезвычайно важно, чтобы вся система поддержки работала. При сборке ножек надо убедиться, что нижняя гайка не затянута слишком сильно, и отрегулировать ее так, чтобы пластиковые детали могли свободно двигаться. Затем затянуть верхнюю гайку как можно сильнее. Нижняя гайка обеспечит свободное движение, а верхняя будет держать все вместе. Если слишком ослабить гайки, ноги будут очень неустойчивыми. Если слишком сильно затянуть их, они станут ненужной нагрузкой на сервоприводы. Это самая важная часть сборки, поэтому этот шаг должен быть выполнен с особой тщательностью.

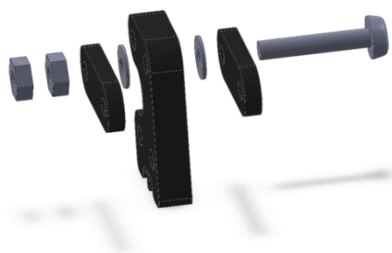


Рисунок 25 – детальное прикрепление соединений ножек

Сервоприводы удерживаются на месте небольшим «рупором», который обычно используется для крепления оси сервопривода к чему-либо, что нужно переместить. В этом случае, однако, рупор будет зафиксирован на месте, так что когда сервопривод движется, он будет двигаться сам, следовательно, перемещая ногу.

Именно вот здесь и раскрывается важность использования именно металлических сервоприводов, поскольку пластиковые не только слабее, но и их шестерни быстро разрушаются.

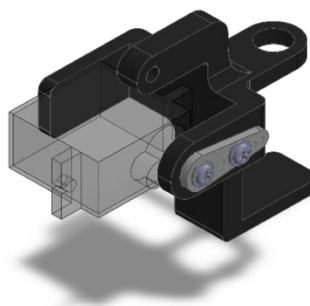


Рисунок 26 – прикрепление сервопривода к ножке

Остальная часть тела гексапода имеет менее комплексный характер. Основной корпус состоит из двух пластин, на которые мы устанавливаем всю необходимую электронику, батареи и датчики. Отверстия для монтажа можно делать перед или после печати.

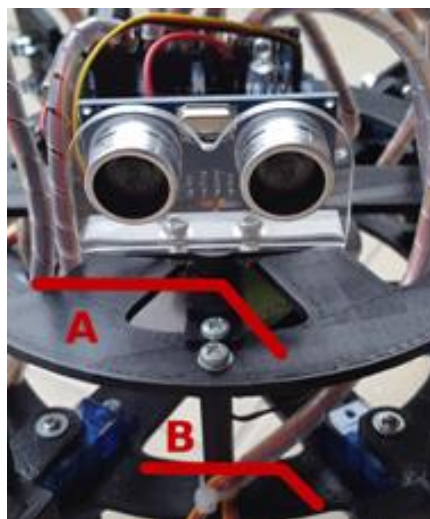


Рисунок 27 – основная часть тела гексапода; А – верхняя часть, В – нижняя часть тела.

Дальше мы рассмотрим проводку. Эта часть является сравнительно легкой, поскольку мы используем щит Adafruit PWM 9685 для выполнения большей части работы. Подключим щит к Arduino, а сервоприводы – к щиту. В нашем модуле нет возможности прямого подключения к Arduino, следовательно мы подключаем SDA, SCL и V + к соответствующим контактам Arduino (рисунок 28).

На щите можно заметить отдельный разъем питания. Это из-за того, что сам Arduino не может обеспечить достаточно тока, чтобы перемещать более одного или двух сервоприводов одновременно. Подключаем аккумулятор к разъему, а также ко входу питания Arduino (контакты VIN и GND).

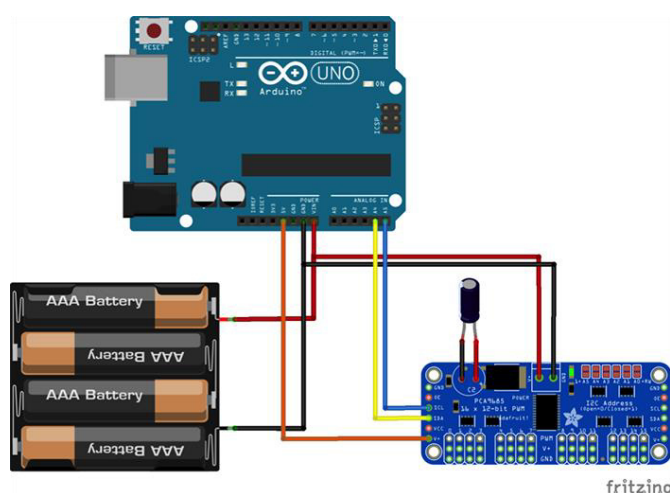


Рисунок 28 – диаграмма подключения

Дальше осталось только добавить ультразвуковой датчик HC-SR04. Устанавливаем датчик на дополнительный сервопривод. Подключаем контакт VCC к выходу Arduino 5V и GND к GND. Далее подключаем TRIG и ECHO к контакту 3 (TRIG) и контакту 2 (ECHO).

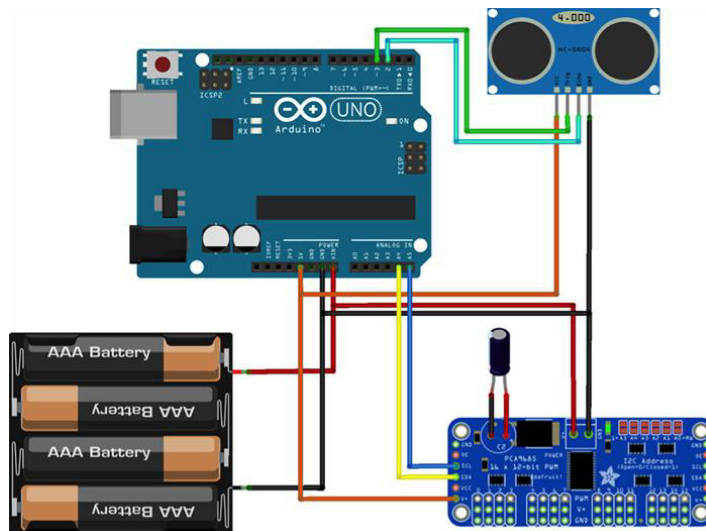


Рисунок 29 – Диаграмма подключения с ультразвуковым датчиком

3 Технико–экономическое обоснование проекта

3.1 Цели и задачи проекта

Целью моей дипломной работы является разработка и создание действующего прототипа миниатюрного гексапода на основе микроконтроллера Arduino Nano. Разрабатывая новый продукт, нужно правильно рассчитать проектную стоимость, которая напрямую зависит от сроков проектного исполнения. Есть ряд трудностей в оценке затрат на разработку и создание робота, так как необходимо учитывать множество разнообразных факторов: сложность и объем решаемой задачи, стоимость и доступность необходимых ресурсов, необходимый уровень абстракции при разработке и др.

Разработка подобных проектов связана со значительными затратами ресурсов (трудовых, материальных, финансовых). В связи с этим создание и реализация каждого робота нуждается в соответствующем технико-экономическом обосновании.

Для того, чтобы определить трудоемкость разработки прототипа робота, необходимо составить список всех основных этапов и видов работ, которые должны быть выполнены. Определение трудоемкости (затрат времени) на разработку робота вызывает такие же трудности, что и нормирование любого творческого труда, содержащего технические (рутинные) элементы.

Определение затрат на разработку прототипа производится путем составления соответствующей сметы, которая включает следующие статьи: материальные затраты, затраты на оплату труда, социальный налог, амортизация основных фондов, прочие затраты. Прямые материальные затраты включают в себя фактическую себестоимость основных материалов, израсходованных на производство [17].

Первичными документами для составления «сметы затрат» являются: план проведения работ по модернизации и реконструкции – график основных этапов и содержание работ, смета на приобретение оборудования для проведения работы, смета на приобретение основных и вспомогательных материалов, смета на покупку комплектующих изделий, расчет затрат на потребляемую электроэнергию, а также определение суммы амортизационных отчислений, используемых оборудования и приборов.

Основными экономическими показателями для оценки эффективности решений по автоматизации являются:

- капитальные вложения;
- срок окупаемости произведенных капитальных затрат;
- затраты на разработку прототипа.

3.2 Финансовый плат

3.2.1 Расчет инвестиционных затрат

Расчет инвестиционных затрат на разработку прототипа гексапода.

Рассчитаем объем капиталовложений необходимых для сборки и программирования робота гексапода. При этом должны учитываться не только расходы на различное оборудование, но и расходы на распечатывание нужных деталей на 3D принтере.

Таблица 6 – Затраты на оборудование и составляющие прототипа

Наименование	Количество, шт.	Сумма, тенге
Системный блок Neuron	2	250,000
Монитор ViewSonic VX3216-SCMH-W	2	54,000
Мышь Ryzen Super edition LED	2	12,000
Оперативная система Microsoft Windows 10 Maximal	2	32,000
Клавиатура Razer P. edition	2	9,500
3D принтер Wanhao Duplicator D9/400, Black	1	214,000
Пластик для 3D принтера, Blue	1	6,900
Микроконтроллер Arduino Nano	1	3,500
Сервоприводы MG90S	13	19,500
Ультразвуковой дальномер HC-SR04	1	700
Макетная плата	1	1,000
Набор болтов и гаек М3	1	3,500
Источник бесперебойного питания RT-6KL-LCD	1	23,000
Сервер Supermicro CSE-813	1	175,000

Итого		804,600
-------	--	---------

Общие капитальная вложения по сборке и программированию гексапода включают также вложения на монтаж и капитальные вложения на транспортные расходы.

$$\sum K = K_O + K_M + K_{TP} \quad (1),$$

где $\sum K$ – общие капитальные вложения;

Для оборудования:

K_O – капитальные вложения на оборудования;

K_M – капитальные вложения на монтажные работы (20% от стоимости оборудования);

$$K_M = 804600 \times 0,2 = 160920 \text{ [тг.]}$$

K_{TP} – капитальные вложения на транспортные расходы (5% от стоимости оборудования).

$$K_{TP} = 804600 \cdot 0,05 = 40230 \text{ [тенге]}$$

$$\sum K = 804600 + 160920 + 40230 = 1\,005\,750 \text{ [тенге]}$$

План по разработке и конструированию робота и оценка трудоемкости. Трудоемкость работ определяется с учетом срока окончания работ, объема выполненных функций, выбранного программного обеспечения [18].

Оценка трудоемкости работ созданию прототипа робота приведена в таблице 7 Для разработки проекта был задействован 1 человек – инженер-проектировщик.

Инженер-проектировщик отвечает за программную часть робота и конструирование, создание алгоритма на Arduino, реализацию вычислительных алгоритмов завершеного робота, инверсную кинематику (передвижение в пространстве), оптимизация работы и показаний робота.

Таблица 7 – Комплекс работ по разработке автоматизации котла.

Этапы разработки ПР	Вид работы на данном этапе	Трудоемкость разработки ПР	
		Чел. х час	Час х день
Анализ требований	Формирование цели и задач проекта, выделение базовых сущностей и взаимосвязей между ними	1 х 24	8 х 3
Проектирование	Получение технических заданий, назначение	1 х 24	8 х 3

	требований к структуре робота, оценка и подбор оборудования		
Реализация	Экспериментирование и анализ, строение моделей прототипа, как целого робота, так и отдельных частей (ножек)	1 x 40	8 x 5
Тестирование прототипа	Тестирование и оптимизация ПР	1 x 40	8 x 5
Заключительная часть ПР	Оптимизация передвижения, приведение прототипа в правильный вид (паук)	1 x 40	8 x 5
Итоговая трудоемкость выполнения дипломной работы		1 x 168	8 x 21

3.2.2 Затраты на электроэнергию

Эта статья включает затраты по электроэнергии на технологические нужды. Затраты на электроэнергию приведены в Таблице 8.

Общая сумма затрат рассчитывается по формуле (2).

$$Z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n M_i * K_i * T_i * Ц, \quad (2)$$

где M_i - паспортная мощность i -го электрооборудования, кВт;

K_i - коэффициент использования мощности i -го электрооборудования (принимается $K_i=0.7, 0.9$);

T_i - время работы i -го оборудования за весь период разработки ПП ч;

$Ц$ - цена электроэнергии, тг/кВт*ч;

i - вид электрооборудования;

n - количество электрооборудования.

В 2019 году цена на электроэнергию по тарифу ТОО «АлматыЭнергоСбыт» составляет 16,65 тг/кВт*ч без НДС.

Таблица 8 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Паспортная мощность, кВт	Коэффициент использования	Время работы оборудования для разработки	Цена электроэнергии и тг/кВт*ч	Сумма, тг

		мощности	ПП, ч		
Сервер	1,8	0,9	168	16,65	4531,46
Кондиционер	0,9	0,9	168	16,65	2265,73
ИБП	1,4	0,9	168	16,65	3524,47
3D принтер	0,8	0,9	168	16,65	2013,98
Стационарный компьютер	1,2	0,9	168	16,65	3020,98
Освещение	0,4	0,7	168	16,65	783,22
Итого затраты на электроэнергию					16139,84

3.2.3 Расчет заработной платы работников разрабатывающих роботов

Эта статья затрат учитывает выплаты по заработной плате за выполненную работу, исчисленные на основании тарифных ставок и должностных окладов в соответствии с принятой в организации – разработчике системой оплаты труда. Затраты на оплату труда рассчитывают по форме, приведенной в таблице 9.

Общая сумма затрат на оплату труда рассчитывается по формуле (3).

$$З_{тр} = \sum_{i=1}^n ЧС_i * T_i, \quad (3)$$

где $ЧС_i$ - часовая ставка i -го работника, тг;

T_i - трудоемкость разработки ПП, чел.×ч;

i - категория работника;

n - количество работников, занятых разработкой ПП.

$$ЧС_i = \frac{ЗП_i}{ФРВ_i} \quad (4)$$

где $ЗП_i$ - месячная заработная плата i -го работника, тг;

$ФРВ_i$ - месячный фонд рабочего времени i -го работника, час.

Таким образом находим часовую ставку работников:

$$ЧС_{инж.проект.} = \frac{100\,000}{22*8} = 568,18 \text{ [тг]}$$

Таблица 9 – Расчет основной заработной платы

Категория работника	Трудоемкость разработки ПП, чел. х ч	Часовая ставка, тг/ч	Сумма, тг
Инженер - проектировщик	1 х 168	568,18	95454,24
ИТОГО затрат на оплату труда			95454,24

3.2.4 Социальный налог

Отчисления на социальные нужды в 2019 году учитывает 9,5 % от затрат на оплату труда всех работников, однако пенсионные отчисления (10% от Зтр) не облагаются социальным налогом.

Обязательные пенсионные отчисления составят:

$$\text{ОПВ} = 95\,454,24 * 10\% = 9542,424 \text{ (тенге).}$$

Отсюда, сумма социального налога рассчитывается:

$$\text{СН} = (95\,424,24 - 9542,424) * 9,5\% = 8158,772 \text{ (тенге).}$$

Медицинское страхование составляет 1.5% от зарплаты работника:

$$\text{МС} = (95\,454,24 - 9542,424) * 1,5\% = 1288,677 \text{ (тенге)}$$

3.2.5 Амортизация Основных фондов

По статье «Амортизация основных фондов» рассчитываются амортизационные отчисления, исходя из стоимости основных средств, используемых в процессе разработки программного продукта, сроков эксплуатации оборудования и годовой нормы амортизации.

Амортизация отчисления определяются согласно Таблице 10. Сумма амортизационных отчислений вычисляется по формуле (3).

$$З_{ам} = \frac{C_{обор} * H_a * N}{100 * 12 * t}, \quad (5)$$

где H_a – норма амортизации (%);

$C_{\text{обор}}$ – первоначальная стоимость оборудования;
 N – время использования оборудования;
 t – количество рабочих дней в месяце.

Необходимо учитывать, что в стоимость ОФ также входят затраты на такие вещи как: доставка, монтаж, установка программного обеспечения и оборудования. Норма амортизации для линейного способа начисления вычисляется по формуле (6).

$$H_{ai} = \frac{100}{T_{Ni}}, \quad (6)$$

где T_{Ni} - возможный срок использования i -го ОФ, год;

Использование ОФ варьируется от 3 до 10 лет. Все оборудование, кроме источника бесперебойного питания (ИБП) и стационарного компьютера (и его составляющих) используется в течении 7 лет. ИБП – 10 лет, стационарные компьютеры – 3 года. Используя формулу (6), заполним Таблицу 10 для отображения амортизации основных фондов.

$$H_{A1} = 100/7 = 14,29\%.$$

$$H_{A2} = 100/10 = 10\%.$$

$$H_{A3} = 100/3 = 33,33\%.$$

Расчеты амортизации:

$$Z_{\text{ам}} = (175000 \times 0,1429 \times 21) / (1 \times 12 \times 22) = 1989,23 \text{ тг.}$$

$$Z_{\text{ам}} = (250000 \times 0,3333 \times 21) / (1 \times 12 \times 22) = 6628,125 \text{ тг.}$$

$$Z_{\text{ам}} = (54000 \times 0,3333 \times 21) / (1 \times 12 \times 22) = 1431,675 \text{ тг.}$$

$$Z_{\text{ам}} = (214000 \times 0,1429 \times 21) / (1 \times 12 \times 22) = 2432,55 \text{ тг.}$$

$$Z_{\text{ам}} = (12000 \times 0,3333 \times 21) / (1 \times 12 \times 22) = 318,15 \text{ тг.}$$

$$Z_{\text{ам}} = (32000 \times 0,3333 \times 21) / (1 \times 12 \times 22) = 848,4 \text{ тг.}$$

$$Z_{\text{ам}} = (9500 \times 0,3333 \times 21) / (1 \times 12 \times 22) = 251,87 \text{ тг.}$$

$$Z_{\text{ам}} = (23000 \times 0,1 \times 21) / (1 \times 12 \times 22) = 182,95 \text{ тг.}$$

Таблица 10 – Амортизация основных фондов

Наименование оборудования и ПО	Стоимость оборудования и ПО, тг	Годовая норма амортизации, %	Время работы оборудования и ПО для разработки ПР, д	Сумма, тг
Сервер	175 000	14,29	21	1989,23

Монитор ViewSonic	54 000	33,33	21	1431,675
Стационарный компьютер	250 000	33,33	21	6628,125
Мышь Ryzen	12 000	33,33	21	318,15
3D принтер Wanhao Duplicator	214 000	14,29	21	2432,55
Microsoft Windows Maximal 10 64 bit	32 000	33,33	21	848,4
Клавиатура Razer	9 500	33,33	21	251,87
ИБП	23000	10	21	182,95
ИТОГО амортизация основных фондов				14 082,95

3.2.6 Прочие затраты

Статья «Прочие затраты» представляет собой расходы за коммунальные услуги, затраты на лицензирование и сертификацию, рекламу и другие хозяйственные и организационные расходы.

При разработке моего прототипа робота мною был приобретен модем и арендная плата за предоставление интернета (5500 за модем и 6100 за аренду интернета), также арендная плата за помещение в размере 30 000 тенге, и коммунальные услуги в размере 7900 тенге. В сумме прочие затраты составили 49 500 тенге.

3.2.7 Смета затрат на разработку ПП

Рассчитав все возможные затраты, связанные с созданием программного обеспечения, опираясь на расчеты, полученные в пунктах 3.2.2-3.2.6 составила смету общих затрат и отразила ее в Таблице 11.

Таблица 11 – Смета затрат на разработку ПП

Статья затрат	Сумма, тг
Оплата труда	95 454,24
Социальный налог	8 158,722
Мед. страхование	1 288,677
Электроэнергия	16 139,84
Амортизация основных фондов	14 082,95
Прочие затраты	49 500
Затраты на покупку составляющих к роботу	45 000
ИТОГО по смете	229 624,429

3.2.8 Определение возможной (договорной) цены ПП

Величина возможной (договорной) цены ПП устанавливается на основе эффективности, качества и сроков её выполнения на уровне, отвечающим экономическим интересам заказчика (потребителя) и исполнителя и вычисляется по формуле (7).

$$Ц_d = 3_{\text{нир}} \left(1 + \frac{P}{100} \right), \quad (7)$$

P – средний уровень рентабельности ПП принимается в размере 20%.

$$Ц_d = 229624,429 * (1+0,2) = 275\,549,3148 \text{ (тенге).}$$

Далее определяется цена реализации с учетом налога на добавленную стоимость (НДС), ставка (НДС) устанавливается законодательно. Налоговым Кодексом РК. На 2019 год ставка НДС установлена в размере 12%.

Цена реализации с учетом НДС рассчитывается по формуле (4.8):

$$Ц_p = Ц_d + Ц_d * НДС, \quad (8)$$

$$Ц_p = 275\,549,3148 + 275\,549,3148 * 0,12 = 308\,615,233 \text{ (тенге).}$$

Рассчитанная возможная цена ПП составляет 308 615,233 тенге.

3.2.9 Расчет показателей экономической эффективности создания ПР

Основными показателями экономической эффективности АС являются:

- годовой прирост прибыли;
- годовой экономический эффект;
- расчетный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений;
- срок окупаемости затрат.

Годовой рост прибыли ($\mathcal{E}_{\text{год}}$) рассчитывается по формуле (9):

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \frac{BA - BB}{BB} * ПБ + (C^B - C^A) * B^A; \quad (9)$$

где B^B и B^A – годовой выпуск продукции до и после внедрения ПР, тг;
 C^B , C^A – затраты на тенге реализуемой продукции до и после начала производства ПР, тг;

$ПБ$ – прибыль от реализации продукции до производства ПР, тг.

Годовой экономический эффект (\mathcal{E}) определяется по формуле (10):

Предпроизводственные затраты на создание ПР рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{год}} - E_H * K^A; \quad (10)$$

где E_H – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений (0,15).

Расчетный коэффициент эффективности капитальных вложений на разработку и программирование ПР (E_P) находится по формуле (11):

$$E_P = \frac{\mathcal{E}_{\text{год}}}{KA}; \quad (11)$$

если $E_P \geq E_H$, то разработка работа эффективна.

Срок окупаемости затрат определяется по формуле (12):

$$T = \frac{KA}{\text{Эгод}}; \quad (12)$$

Теперь находим годовой рост прибыли:

$$\text{Э}_{\text{Год}} = \frac{225000 - 45000}{45000} * 10000 + (1 - 0,2) * 225000 = 220\,000 \text{ (тенге)}$$

Находим предпроизводственные затраты на создание ПР:

$$\text{Э} = 220\,000 - 0,15 * 1\,005\,750 = 69\,137,5 \text{ (тенге)}$$

Расчетный коэффициент эффективности капитальных вложений:

$$E_p = \frac{220\,000}{1\,005\,750} \approx 0,219;$$

Срок окупаемости затрат:

$$T = \frac{1\,005\,750}{220\,000} = 4,57;$$

3.2.10 Оценка социально-экономических результатов функционирования ПП

По результатам расчета экономической эффективности проектирования и внедрения средства автоматизации сразу можно сказать, что это выгодно. Хотя выгода и косвенная, но, как правило, заметная в средне и долгосрочной перспективе.

В дипломном проекте разрабатывается создание прототипа миниатюрного робота. Делается это с целью разведывания труднодоступных для человека пространств, получения информации о загрязненности пространства. На сегодняшний день с эволюцией промышленности данная проблема имеет особую важность и требует особого внимания. Взять в пример взрыв, произошедший 2 июня на заводе по производству тротила в России. Спасательные операции длились больше 24 часов из-за труднодоступности и огромного количества завалов. Миниатюрный робот мог бы использоваться как быстрое и маленькое средство выявления жизни среди обломков, что облегчило бы поиски пропавших и/или раненных.

При этом же робота можно запрограммировать автономно выполнять операции, то есть без управления человека, что еще лучше улучшило бы его возможности.

По расчетам на внедрение ПП было затрачено 308 615,233 тенге, в том числе на оплату труда, электроэнергию и прочие затраты.

4 Безопасность жизнедеятельности

В данной дипломной работе был создан прототип миниатюрного гексапода на базе микроконтроллера Arduino с функцией автономной работы посредством определения расстояний до препятствий, объектов.

4.1 Анализ условий труда

Для сборки прототипа гексапода было взято помещение для распечатывания деталей (3D принтером) и сборки проекта. Размер производственного помещения 5х3х2,7 м. Площадь помещения равняется 15 м², объём – 40 м³. В помещении имеется 4 окна и 1 входная дверь. Средняя норма площади для каждого работающего составляет не менее 15 м², стены и потолок имеют белый цвет или окрашены в теплые светлые тона. Это отделение также является хранилищем разработок, собранных ранее.

План отделения представлен на рисунке 1.

Для оптимальной работы рабочих инженеров помещение оборудовано следующими типами техники:

а) Системный блок Neuron (IC i9-9900K, 5 Hz/64GB RAM/2TB/RTX 2060 6GB/DVD-RW/TES) – 2 шт;

б) Монитор ViewSonic – VX3216-SCMH-W 31.5" 1920x1080 16:9 75Hz Silver – 2 шт;

в) 3D принтер Wanhao Duplicator D9/400, Black.



Рисунок 30 – план рабочего помещения

В ходе исследования были проанализированы факторы, влияющие на качество производственной работы. Все вычисления выполняются на персональных компьютерах, а сборка некоторых деталей на 3D принтере. Все эти приспособления выделяют ряд опасных факторов, влияющих на здоровье. В этот ряд входят: рентген-, ультрафиолет- и инфракрасное излучения.

При превышении допустимого уровня этих факторов тело человека может начать показывать следующие симптомы:

- усталость;
- ухудшение зрения;
- общее раздражение;
- боли в суставах;

Во избежание этого нужно соблюдать определенные нормы допущения электромагнитных излучений.

Таблица – 12. Предельно допустимые значения энергетической экспозиции (согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96)

Диапазоны частот	Предельно допустимая энергетическая экспозиция		
	По электрической составляющей, $(В/м)^2 \times ч$	По магнитной составляющей, $(А/м)^2 \times ч$	По плотности потока энергии $(мкВт/см^2) \times ч$
30 кГц - 3 МГц	20000,0	200,0	-
3 - 30 МГц	7000,0	Не разработаны	-
30 - 50 МГц	800,0	0,72	-
50 - 300 МГц	800,0	Не разработаны	-
300 МГц - 300 ГГц	-	-	200,0

4.2 Микроклимат рабочего помещения

Микроклимат рабочих помещений – климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей. Мероприятия по доведению микроклиматических показателей до нормативных значений включаются в комплексные планы предприятий по охране труда. Для создания благоприятных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения (таблица 13).

Таблица 13 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [19] (СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	24-26	22-27	80-60	0,1
Теплый	21-23	20-24	60-40	0,1

Как мы видим из таблицы 13, микроклиматические показатели в помещении не соответствуют санитарным нормам «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям работы с источниками физических факторов (компьютеры и видеотерминалы), оказывающих воздействие на человека». Если в производственных помещениях невозможно установить не только оптимальные, но и допустимые нормативные величины показателей микроклимата, то в этом случае условия микроклимата рассматриваются как вредные и опасные. Для компенсации воздействия вредных факторов необходимо подобрать соответствующее оборудование в помещение для обеспечения комфортных и безопасных условий труда, а также установить для работников дополнительный перерыв для отдыха, который включается в общую продолжительность рабочего времени.

4.3 Пожарная безопасность

В производстве в наше время не представишь себе помещения, не напичканного электроникой или электронными девайсами. Но это также является и источником многих опасностей и проблем. Электрические приборы могут создать пожар, который может принести чудовищный урон человеческому организму. Из-за этого пожарная безопасность в любом производственном помещении является одной из самых важных частей обеспечения безопасности жизнедеятельности человека.

Пожар – это неконтролируемое сгорание веществ, несущее опасность здоровью и жизни людей, материальным ценностям, обществу и государству, а также создающее опасные условия в окружающей среде. Появление лесных пожаров может быть вызвано нарушением требований пожарной безопасности или воздействием вредных факторов.

Пожарная безопасность - это применение необходимых мер для устранения негативных последствий пожарных рисков для людей, строительных и материальных ценностей в случае пожара.

Пожарная безопасность была главной задачей человечества даже на самых ранних этапах его развития, так как огонь создает наибольшую опасность для людей и их имущества. В последнее время наблюдается тенденция к производству большого количества синтетических материалов,

которые наиболее устойчивы к воздействию огня и взрывоопасных сред.

Хотя новые материалы обладают хорошей огнестойкостью, они не могут обеспечить полную защиту от огня и его воздействия. Таким образом, в каждой стране развивается и совершенствуется профилактика и своевременное реагирование на пожары. Эти меры утверждены государством как единый стандарт пожарной безопасности для всех предприятий и организаций. Причина, по которой у нас такой спрос на пожарную безопасность, заключается в том, что мы стремимся обеспечить безопасность на предприятиях, в многоэтажных домах, сельскохозяйственных зданиях и других местах – свести к минимуму воздействие на здоровье людей. Согласно мировой статистике, 7-8 миллионов случаев пожаров случаются ежегодно, из которых 70-80 тысяч случаев имеют фатальный исход и 500-800 тысяч случаев так или иначе принесли вред и/или ранения здоровью людей. Как правило, причиной пожара является износ приборов, зданий и оборудования, возгорание в результате неопознанного пожара и увеличение населенных пунктов на территории опасных производственных объектов. В целях регулирования пожарной безопасности создан нормативный документ «Закон о пожарной безопасности Республики Казахстан». Этот документ ежегодно обновляется для обеспечения пожарной безопасности. Одной из самых главных мер по предотвращению возникновения пожара является соблюдение правил пожарной безопасности[20].

Правила пожарной безопасности - это комплекс мер, которые устанавливают требования по соблюдению норм пожарной безопасности и требований к строительству.

Меры пожарной безопасности:

- строительные и проектные работы;
- технические меры;
- организационные мероприятия.

Строительные и проектные меры определяются огнестойкостью строительных конструкций, а устойчивость к нагреву определяется поддержанием его функциональных возможностей благодаря способности противостоять внешним воздействиям в течение определенного периода времени.

Технические меры предосторожности:

- соблюдение правил пожарной безопасности при монтаже спасательных систем (отопление, освещение, вентиляция и т. д.);
- мониторинг работы оборудования и параметров технологических процессов;
- использование различных систем защиты.

Организация мероприятий:

- обучение сотрудников правил пожарной безопасности;
- контроль за соблюдением требований пожарной безопасности.

Причиной пожара на производстве является поломка технологических режимов, неправильное использование электрооборудования и т. д.

Руководитель производства обязан обеспечить противопожарные средства всем необходимым оборудованием. Каждый сотрудник должен соблюдать все правила эксплуатации на рабочем месте. Сотрудник несет ответственность за выполнение правил и следование применению мер безопасности.

На всех объектах пожаротушения должны использоваться следующие огнетушители:

- огнетушитель (жидкий огнетушитель, пенный огнетушитель, углекислотный огнетушитель, аэрозольный огнетушитель, порошковый огнетушитель);

- средства противопожарной защиты (песок, вода, ведро и т. д.).

Огнетушители - это техническое устройство, используемое на начальной стадии пожара.

Огнетушители классифицируются по типу огнетушителя, объему огнетушителя и типу передачи содержимого.

По объему корпуса выделяют следующие виды:

- газ, выпускаемый вручную объемом до 5 литров;
- ручной промышленный объемом 5-10 литров;
- стационарный и мобильный объемом более 10 литров.

По способу выпуска состава:

- давление газа, вызванное химическими реакциями компонентов заряда;

- давление газа из специального баллона, расположенного в корпусе огнетушителя;

- при собственном давлении огнетушителя.

Для расчета пожарной безопасности производственного помещения определяется класс опасности объектов этого производственного помещения. Все производственные помещения делятся на 5 классов. Они перечислены в таблице 14. В настоящее время каждая страна развивает и совершенствует меры по предотвращению и своевременному тушению пожаров. Эти меры утверждены государством как единый стандарт пожарной безопасности для всех предприятий и организаций.

Таблица 14 – класс пожаробезопасности в производственном помещении

Класс производственных помещений и зданий	Описание материалов
А (взрывчатые вещества)	ЛВЖ (легковоспламеняющиеся жидкости), газы с температурой возгорания ниже 28 ⁰ С и способные к образованию взрывчатых испарений. Комнаты с вещами, способными взрываться в воде

Б (взрывчатые вещества)	ЛВЖ, воспламеняющиеся маленькие частицы с температурой возгорания ниже 28 ⁰ С, газы с температурой возгорания выше 28 ⁰ С. ВЖ (горючие жидкости)
В1-В4	Слабо горючие вещи, трудновозгораемые твердые вещества.
Г	Негорючие вещества. Нагретые материалы. Материалы вырабатывающие тепло
Д	Негорючие вещества в холодном состоянии или температуре равной окружающей среде

4.4 Расчет средств пожаротушения с содержанием углекислого газа и хлагана

Массовая масса углекислотного состава для массивного пожаротушения m_d , кг, рассчитывается следующим образом

$$m_d = k_6 \cdot q_n \cdot V, \quad (13)$$

где k_6 - коэффициент компенсации незарегистрированных потерь состава углекислого газа в составе диоксид-хладона. Значения приведены в таблице 15.

q_n - нормативная масса концентрации содержания хлористого углекислого газа,

$q_n = 0,27$ кг / м³ при заполнении в течение 30 секунд и $q_n = 0,4$ кг / м³ при времени заполнения 60 с;

V - объем производственного помещения, $V = 5 \cdot 3 \cdot 2.7 = 40.5$ м³.

Таблица 15 – Коэффициент компенсации неопределенного содержания углекислого газа

Производственное помещение	Значения коэффициента k_6
С отверстиями для дверей и окон	1,13-1,25
Без отверстий для окон	1,07-1,15

Поставив перечисленные выше значения, находим m_d :

$$m_d = 1,13 \cdot 0,4 \cdot 40.5 = 18,306 (\text{кг}).$$

При расчете количества баллонов нужно учитывать, что 40 литровому баллону соответствует 25 килограмм углекислого диоксид-хладона.

$$\zeta_2 = m_d/25. \quad (14)$$

С помощью формулы выше посчитаем количество баллонов в помещении.

$$\zeta_2 = 18.306/25 = \approx 1 \text{ баллон.}$$

Внутренний диаметр магистрального потока d_i , определяется следующей формулой:

$$d_i = d_1 \cdot \sqrt{\zeta_2}, \quad (15)$$

где d_1 – диаметр сифонной трубки балона, $d_1=10$ мм.

По формуле определяем внутренний диаметр трубопровода d_i :

$$d_i = 10 \cdot \sqrt{1} = 10 \text{ (мм)}.$$

Эквивалентная длина магистрального трубопровода определяется по следующей формуле:

$$l_2 = k_7 \cdot l, \quad (16)$$

где k_7 – коэффициент роста трубопровода для неопределенных затрат. Значения представлены в таблице 16.

l – длина по проекту, $l=3$ м.

Таблица 16 – Коэффициент роста длины трубопровода для неопределенных затрат

Диаметр магистральной трубы, мм	Значения коэффициента k_7
До 35	1,2
35-50	1,1
Больше 50	1,05

Используя предыдущую формулу находим приблизительную длину магистрального трубопровода:

$$l_2 = 1,2 \cdot 3 = 3,6 \text{ (м)}.$$

Находим площадь сечения увлажнителя A_3 с помощью следующей формулы:

$$A_3 = S/\zeta_1, \quad (17)$$

здесь S – объем поперечного сечения магистрального трубопровода.

При диаметре 35 мм, объем магистрального трубопровода:

$$S = 3,14 \cdot 17,5 \cdot 17,5 = 961,625 \text{ (мм}^2\text{)},$$

где ζ_1 – количество увлажнителей, $\zeta_1=1$.

По формуле определяем объем:

$$A_3 = 961.625/1 = 961.624 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Время отправки содержания определяется формулой ниже:

$$t = m_d/(60 \cdot Q), \quad (18)$$

здесь m_d – найденная масса состава, в нашем случае $m_d = 18,306$ кг;

Q – потребление содержимого баллона, $Q=8,9$ кг/с.

$$t = 18,306 / (60 \cdot 8,9).$$

Основной массовый резерв состава определяется по следующей формуле:

$$m = 1,1 \cdot m_d(1 + k_8/k_6), \quad (19)$$

где k_8 – коэффициент рассчитывающий остаток смеси в баллонах и трубопроводе. Значения приведены в таблице 17.

k_6 – уже нам известен.

Подставляем данные и вычисляем массу:

$$m = 1,1 \cdot 18,306 \cdot (1 + 0,2/1,13) = 23,7 \text{ (кг)}.$$

Таблица 17 – Значения коэффициента k_8

Диаметр Коэффициент k_8 в зависимости от длины трубопровода сифонной трубки,

мм	До 100	101- 200	Больше 200
10	0,2	0,23-0,25	0,25
12	0,2		0,28

Таким образом мы высчитали количество баллонов $\zeta_2=3$ в помещении и основную массовый резерв смеси $m=93,632$ кг.

4.5 Расчет вентиляции помещения

Перед тем как начать расчет стоит для начала записать требования к вентиляции производственного помещения.

Основные санитарно-гигиенические требования к вентиляции производственных помещений определены гигиеническими нормативами, а также строительными нормами и правилами (далее СНиП). Для эффективной работы вентиляции важно, чтобы еще на стадии ее проектирования было предусмотрено выполнение ряда санитарно-гигиенических и технических требований.

Количество воздуха, необходимого для вентиляции производственных помещений и обеспечения требуемых параметров воздушной среды в рабочей зоне, устанавливается расчетным способом. Расчет ведется по избытку тепла, влаги или по количеству выделяющихся вредных веществ (пыли, газов, паров). При одновременном выделении в помещении тепла, влаги и вредных веществ необходимый воздухообмен должен устанавливаться по преобладающей вредности.

Система вентиляции не должна быть источником шума и загрязнения окружающей среды. В процессе эксплуатации вентиляционные системы

должны обслуживаться, очищаться от загрязнений, ремонтироваться в соответствии с установленным графиком подготовленным персоналом.

Расчет вентиляции будет производиться для кабинета отдела сборочного цеха. Общая площадь помещения составляет 15 квадратных метров. Вентиляционную систему и ее производительность будем выбирать после расчета воздухообмена.

Последовательность расчета необходимого воздухообмена включает следующие пункты:

- определение необходимого воздухообмена для заданного периода по вредным выделениям, людям и минимальной кратности;
- выбор максимального воздухообмена из всех расчетов по разным факторам.

Расчет вентиляции начинается с определения ее главного параметра — производительности, измеряемой кубическими метрами в час. Для того, чтобы определить необходимую производительность, нужно рассчитать два значения воздухообмена:

- по кратности;
- по количеству людей.

Далее выбираем наибольшее из двух значений. Расчет воздухообмена по кратности рассчитывается по следующей формуле (20).

$$L = n \cdot S \cdot H \text{ (м}^3\text{/час)}, \quad (20)$$

где L – требуемая производительность приточной вентиляции, $\text{м}^3/\text{ч}$;

n – нормируемая кратность воздухообмена, час;

S – площадь помещения, м^2 ;

H – высота помещения, м.

Нормируемая кратность воздухообмена есть отношение объема воздуха поступающего в помещение в течение часа к объему помещения. Согласно СНиП РК 3.02-25-2004 нормируемая кратность воздухообмена для технического помещения в учреждении $n=1$.

Таблица 18 – Нормируемая кратность воздухообмена

Помещение	Кратность воздухообмена
Техническое помещение	1

Подставив все полученные данные в формулу (20) вычислим требуемую производительность приточной вентиляции:

$$L_1 = 1 \cdot 15 \cdot 2.7 = 40.5 \text{ м}^3\text{/час.}$$

Расчет воздухообмена по количеству людей осуществляется по формуле (21).

$$L_2 = N * L_{\text{норм}} \text{ (м}^3\text{/час)}, \quad (21)$$

где L_2 – требуемая производительность приточной вентиляции, м³/ч;

N – количество людей;

$L_{\text{норм}}$ – норма расхода воздуха на одного человека.

В кабинете ежедневно находится 2 человека, соответственно $N=2$. Согласно СНиП РК 3.02-25-2004 в производственных помещениях норма расхода воздуха на одного человека составляет - 30 м³/час.

Подставив данные в формулу (21) получим следующее значение:

$$L_2 = 2*30=60 \text{ (м}^3\text{/час)}.$$

В таких помещениях постоянным вредным выделением является выдыхаемая людьми углекислота (CO₂). Определение потребного воздухообмена производится по количеству углекислоты, выделяемой человеком и по допустимой концентрации её. Потребный воздухообмен определяется по формуле :

$$L_3 = \frac{N * G}{X_n - X_b} \text{ (м}^3\text{/час)}, \quad (22)$$

где L_3 – потребный воздухообмен, м³/час;

G – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения, г/ч;

N – количество людей;

X_n – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.014-84;

X_b – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест.

Количество углекислоты, выделяемой одним человеком при легкой работе составляет $G = 23$ л/ч.

Согласно ГОСТ 12.1.014-84 предельно допустимая концентрация углекислоты в воздухе рабочей зоны помещения равна $X_n = 1,25$ л/м³, а для больших городов (свыше 300 тыс. жителей) $X_b = 0,5$ л/м³.

Подставляем значения в формулу (4.9) и определяем потребный воздухообмен:

$$L_3 = \frac{2*23}{1,25-0,5} = 61 \text{ (м}^3\text{/час)}.$$

Рассчитав производительность по трем критериям, выбираем наибольший из них, то есть по кратности воздухообмена, где $L_3=61$ м³/час.

Согласно производительности, выбираем вентиляционное оборудование для помещения. Исходя из полученных данных, для данного

помещения целесообразно будет выбрать вентилятор марки Вентс ТТ 100, как показано на рисунке 31.



Рисунок 31 – вентилятор Вентс ТТ100

Вентилятор Вентс ТТ 100 в пластиковом корпусе предназначен для использования в составе вытяжной или приточной вентиляции. Вентилятор может перемещать воздух с максимальной производительностью **187 м³/ч** и максимальной температурой до **60°C**. Подсоединяется к круглым воздуховодами сечением **100 мм**. Вентилятор можно устанавливать в закрытом помещении с температурой внутри помещения выше +1°C.

Данная серия объединяют в себе широкие возможности и высокие характеристики осевых и центробежных вентиляторов. Благодаря этому сочетанию удалось достичь высокого давления, мощного воздушного потока и низкого уровня шума при достаточно низких показателях энергопотребления.

Вентиляторы ТТ являются отличным выбором для установки в вытяжные системы помещений с повышенной влажностью (санузлы, кухни, моечные), так как пластиковый корпус вентилятора не подвержен воздействию влаги по сравнению с вентиляторами в металлическом корпусе.

Таблица 19 – Технические характеристики вентилятора

Параметр	Величина
Напряжение, В	220
Ток, А	0,12-0,2
Частота тока, Гц	50
Максимальная мощность, Вт	21-33
Производительность, м ³ /ч	145-187
Скорость вращения, мин-1	2450-2500
Уровень шума на расстоянии 3 м, дБ(А)	28-35

Максимальная температура перемещаемого воздуха, С	60
--	----

Мною был проведен анализ условий труда в производственном помещении ТОО “Electorat RT”

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что в помещении установлены благоприятные условия для комфортной работы персонала. Пожарная безопасность, электромагнитное и ионизирующее излучения соответствуют всем нормам, прописанным в «Санитарно-эпидемиологических требованиях к условиям работы с источниками физических факторов (компьютеры и видеотерминалы), оказывающих воздействие на человека». Единственным недостатком являются параметры микроклимата, в следствие чего был проведен расчет вентиляции и подобрано соответствующее оборудование в отделе.

Использованная литература

1. Chàvez-Clemente, D. Gait Optimization for Multi-legged Walking Robots, with Application to a Lunar Hexapod. Ph.D. Thesis, Stanford University, California, CA, USA, 2011.
2. Bartholet, T.; Crawson, R. Robot Applications for Nuclear Power Plant Maintenance; EPRI Report-NP-3941, Research Report Center: Palo Alto, CA, USA, 1985.
3. Gregorio, P.; Ahmadi, M.; Buehler, M. Design, control, and energetics of an electrically actuated legged robot. Syst. Man Cybern. B IEEE Trans. 1997, 27, 626–634.
4. Schneider, A.; Schmucker, U. Force sensing for multi-legged walking robots: Theory and experiments part 1: Overview and force sensing. In Mobile Robotics, Moving Intelligence; Buchli, J., Ed.; Pro Literatur Verlag ARS: Germany; Austria, 2006; pp. 125–174.
5. McGhee, R. Control of legged locomotion systems. In Proceedings of the 18th Automatic Control Conference, San Francisco, CA, USA, 3–8 December 1977; pp. 205–215.
6. Delcomyn, F.; Nelson, M.E. Architectures for a biomimetic hexapod robot. Robot. Auton. Syst. 2000, 30, 5–15.
7. Saranli, U.; Buehler, M.; Koditschek, D.E. RHex—A simple and highly mobile hexapod robot. Int. J. Robot. Res. 2001, 20, 616–631.
8. Showalter, M. Hexapod Work Space and Walking Algorithm; VDM Verlag: Saarbrücken, Germany, 2009; pp. 20–34.
9. Song, S.M.; Choi, B.S. The optimally stable ranges of 2n-Legged wave gaits. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. B 1990, 20, 888–902.
10. Zielinska, T. Autonomous walking machines, discussion of the prototyping problems. Bulletin of the Polish academy of sciences.
11. Waldron, K.J.; McGhee, R.B. The adaptive suspension vehicle. IEEE Control Syst. Mag. 1986, 6, 7–12.
12. Silva, M.F.; Tenreiro Machado, J.A. A historical perspective of legged robots. J. Vib. Control 2007.
13. Nonami, K.; Barai, R.K.; Irawan, A.; Daud, M.R. Hydraulically Actuated Hexapod Robots; Springer: London, UK, 2014.
14. Shih, T.; Tsai, C.S.; Her, I. Comparison of alternative gaits for multiped robots with severed legs.
15. Goldberg, D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning; Addison-Wesley Longman Publishing Co.: Upper Saddle River, NJ, USA.
16. Lee, T.T.; Liao, C.M.; Chen, T.K. On the stability properties of hexapod tripod gait.
17. Техничко-экономическое обоснование дипломных проектов. Под редакцией Беклешова В.К.- Москва, «Высшая школа», 2001.

18. Шепеленко Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии. Учебное пособие.- Ростов-на-дону, «МАРТ», 2004.
19. СанПиН 2.2.4.548-96, Минздрав России, Москва, 1997
20. <http://emer.gov.kz/ru/gosudarstvennyye-uslugi/v-pomoshch-predprinimatel'yu/metodicheskie-rekomendatsii>

Приложение 1

- AP_Utils(void)
Default constructor, used to create AP_utils object, ie. AP_Utils ardupod;
- begin(int *offsets)
This method performs initial setup, similarly to calling Serial.begin(9600); you have to call ardupod.begin(offsets); before calling any other methods. The offsets is an integer array with 16 members. This is to calibrate all the servos to the middle position. See examples/calibration.ino for details.
Note: *It is necessary to adjust few settings in AP_Utils.h according to the physical boundaries of the servos used. On lines 19 and 20, both variables have to be adjusted so that the servos won't get damaged. The easiest approach to this is to set the SERVOMIN value higher and SERVOMAX lower and uploading the examples/servo_test.ino. The servo will try to move back and forth from one end to the other. If the servo isn't reaching the physical limit, adjust the settings back towards their former value a bit, then upload again and observe the difference. Repeat this process until the servo is moving to both its limits while not stepping over them! Setting the SERVOMAX too high (or SERVOMIN too low) might destroy your servo!*
Also in AP_Utils.h, on line 12 there is an option for debug mode. When uncommented, debug data will be sent to the serial port. It is highly recommended to not use this option unless absolutely necessary, as it will slow down everything else considerably.
- moveServo(uint8_t servo, int deg, bool smooth = true, float speed = 2.5)
Move servo number servo (numbering consistent with Adafruit PWM Shield from 0 to 15) to position deg (where 0 and 180 degrees are the servos physical boundaries). If smooth is set to true, then the movement will be smooth. The speed argument is optional and defines the speed at which the servo will move, with higher value meaning slower movement. The value for this can vary for each servo type, most common values are from 2.0 to 5.0.
- reset(int *offsets)
Reset all servos to their middle position with supplied offsets. See examples/calibration.ino for details.
- traceLeg(uint8_t leg, float phi, float z, int resolution)
This method calculates a path for specified leg to follow, where phi and z are the leg ending positions and resolution is the path resolution. Note that this function itself won't move the leg, it will only return the path as an array of pointLeg structures.
- setLegs(pointLeg *legs, uint8_t *numLegs, uint8_t total, bool smooth = true, float speed = 2.5)
Move the legs whose numbers are specified in array numLegs (the total number of moving legs has to be supplied by the total argument). This function will effectively move legs to the positions specified by legs, while driving all of them at once. See examples/walk.ino for details.
Note: *It is NOT possible to achieve the same effect by using multiple calls to moveServo, as this function will only move one servo at a time!*
- stretch(void) *Raise and lower all the legs. This can be useful when one of the legs gets stuck.*
- step(int direction) *ArduPod will take a single step in the given direction. Supported directions are FORWARD, BACKWARD, LEFT and RIGHT. Note that LEFT and RIGHT will turn the robot one step (approx. 30 degrees).*
- walk(int direction) *Each time this function is called, Ardupod will walk one step in the given direction. Unlike the step function however, legs will not be reset to the default position, allowing for continuous movement by calling this function again. Supported directions are FORWARD, BACKWARD, LEFT and RIGHT. Note that LEFT and RIGHT will turn the robot on the spot.*
- sr04(uint8_t trig, uint8_t echo, int unit)
Take a single measurement with HC-SR04 rangefinder. trig and echo are numbers of Arduino pins to which the SR04 TRIG and ECHO pins are connected. The result will be returned as a floating point number with unit specified by unit: currently supported constants are MM for millimeters, CM for centimeters, and M for meters.
- sr04_average(uint8_t trig, uint8_t echo, int unit, int samples, int time)

Take muber of measurements specified by samples over time milliseconds. The result will be an average of these measurements returned as floating point number with the specified unit.

- `sr04_median(uint8_t trig, uint8_t echo, int unit, int samples, int time)`
Similar to the above, however, this method returns median of all the measurements. This function is recommended over `sr04_average` as it's result are much less prone to be affected by exceedingly wrong measurements.

Приложение 2

