

Некоммерческое Акционерное Общество «Казахский Национальный Исследовательский  
Технический Университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»



Ким Валерия Алексеевна

Разработка робота для очистки солнечных панелей

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
к дипломному проекту

Специальность 6В07111 – Робототехника и мехатроника

Алматы 2023 г.

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»



SATBAYEV  
UNIVERSITY

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»



### ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

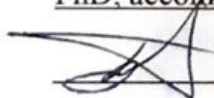
Тема: «Разработка робота по очистке солнечных панелей»

по специальности 6В07111 – Робототехника и мехатроника

Выполнила: Ким В.А.

Научный руководитель:  
Магистр технических наук,  
старший преподаватель  
Кальменов Е.Т.

Рецензент:  
PhD, ассоциированный профессор

 Балбаев Г.К.

«26» май 2023 г.

«26» май 2023 г.

Алматы 2023

Некоммерческое акционерное общество «Казахский Национальный Исследовательский  
Технический Университет имени К.И.Сатпаева»



SATBAYEV  
UNIVERSITY

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматики»



### ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающейся Ким Валерии Алексеевны

Тема: Разработка робота для очистки солнечных панелей

Утверждена приказом Ректора Университета № \_\_\_\_\_ от «\_\_» май 2023 г.

Срок сдачи законченной работы «\_\_» май 2023 г.

Исходные данные к дипломному проекту:

Перечень подлежащих разработке вопросов в дипломном проекте:

- а) Влияние загрязнений на производительность солнечных панелей
- б) Изучение методов очистки солнечных панелей
- в) Улучшение методов очистки и внедрение проекта в частное производство энергии.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

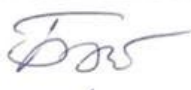


*представлены 19 слайдов презентации работы*

Рекомендуемая основная литература: из 15 наименований 15

**ГРАФИК**  
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Исследовательская часть	25.01.2023 г.	Выполнено
Теоретическая часть	17.02.2023 г.	Выполнено
Практическая часть	27.03.2023 г.	Выполнено
Специальная часть	03.04.2023 г.	Выполнено

Подписи  
консультантов и нормоконтролера на законченный проект с указанием  
относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Бигалиева Ж.С., магистр технических наук, старший преподаватель	30.05.23	
Основная часть	Кальменов Е.Т., магистр технических наук, старший преподаватель	30.05.23	
Расчетная часть	Кальменов Е.Т., магистр технических наук, старший преподаватель	30.05.23.	

Научный руководитель



Кальменов Е.Т.

Задание приняла к исполнению обучающаяся



Ким В.А.

Дата

«26» мая 2023 г.

## АННОТАЦИЯ

Данный дипломный проект посвящен разработке роботизированного устройства, очищающего солнечные панели. Проект позволит компаниям занимающимся или использующим солнечную энергию наладить автоматизацию производства, облегчить эксплуатацию, а также увеличить объемы производимой энергии.

Основная цель проекта – своевременное и бережное очищение солнечных панелей от загрязнений с минимальным вмешательством человека.

Теоретическая часть дипломной работы состоит из определения актуальности, проблемы и способов ее решения, также представлена краткая характеристика робота, задача, принцип работы и эффективность.

В практической части приведены электронные схемы подключения робота, 3D модель, расчеты надежности, степеней свободы и финансовые расходы.

Основной замысел проекта заключается в демонстрации эффективности робота и дальнейшее его приобретение государственными и частными лицами.

По моему мнению проект сможет удовлетворить нужды пользователей солнечных электростанций, а также стать коммерчески успешным благодаря развитию зеленой энергии и выгодному географическому расположению страны.

## АНДАТПА

Бұл дипломдық жоба роботталған, күн батареяларын тазартатын, құрылғыны жасауға арналған. Жоба күн энергиясымен айналысатын немесе пайдаланатын компанияларға өндірісті автоматтандыруға, жұмысты жеңілдетуге, сондай-ақ өндірілетін энергия көлемін арттыруға мүмкіндік береді.

Жобаның басты мақсаты – күн батареяларын адамның араласуынсыз ластанудан уақытылы және мүқият тазалау.

Дипломдық жұмыстың теориялық бөлімі мәселені анықтаудан және оны шешу жолдарынан тұрады, сонымен қатар роботтың қысқаша сипаттамасы, міндеті, жұмыс принципі және тиімділігі берілген.

Практикалық бөлімде роботтың алгоритмдері, функционалдық және қағидалық сызбалары, 3D моделі, сенімділік есебі және қаржылық шығындар.

Жобаның негізгі идеясы - роботтың тиімділігін көрсету және оны мемлекеттік және жеке тұлғалардың одан әрі сатып алуы.

Менің ойымша, жоба жасыл энергетиканың дамуы мен еліміздің ыңғайлы орналасуының арқасында табысты болады.

## ABSTRACT

This diploma project devoted to the development of a robotic device that cleans solar panels. The project will allow companies engaged in or using solar energy to establish production automation, facilitate operation, also increase the amount of energy produced.

The main goal of the project is the timely and careful cleaning of solar panels from pollution without human intervention.

The theoretical part of the graduate work consists of defining the problem and solutions, a brief description of the robot, the task, principle of operation and efficiency.

The practical part contains the algorithms of the robot, functional and schematic diagrams, 3D model, reliability calculation and financial costs.

The main idea of the project is to demonstrate the effectiveness of the robot and its further acquisition by public and private entities.

The project will be successful due to the development of green energy and the convenient.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Исследовательская часть	8
1.1 Актуальность проекта	8
1.2 Определение проблемы и методы ее решений	9
2 Практическая часть	11
2.1 Характеристика робота	11
2.2 Электронные компоненты робота	12
2.3 Электронная схема подключения	13
2.4 3D-модель робота, материал изготовления	14
2.5 Программный код	16
3 Расчеты	17
3.1 Расчет степеней свободы	17
3.2 Расчет устойчивости робота при подъеме и уклоне	19
3.3 Расчет надежности	21
3.4 Экономический расчет	24
4. Готовый макет робота	26
Заключение	28
Список сокращений и терминов	29
Список использованной литературы	30
Приложение А.1	32
Приложение А.2	34

## ВВЕДЕНИЕ

Использование невозобновляемых источников энергии является традиционным способом ее добычи, что не считается полезным для окружающей среды. Данный способ катастрофически загрязняет природу, нанося огромный ущерб экологии. Дальнейшее использование полезных ископаемых в качестве топлива, приведет к увеличению выбросов парниковых газов и к необратимым изменениям климата. Со временем полезные ископаемые будут полностью исчерпаны и на смену им придет эра альтернативной энергии.

В настоящее время альтернативная энергия становится приоритетом, имея множество достоинств. Во-первых, ресурсы пополнения энергии неисчерпаемы. Во-вторых, добыча энергии не наносит вред окружающей среде и не производит загрязнений. В-третьих, получение энергии доступно благодаря низкой себестоимости и может происходить практически повсеместно.

Развитие возобновляемой энергии требует определенных условий. Необходимо распределение энергостанций в зависимости от климата и природных ресурсов местности (ветреность, солнечность, наличие водоемов). Также требуется современное оборудование (солнечные панели, ветряные мельницы, гидроэлектростанции, инверторы и аккумуляторы с большим объемом). Немаловажным фактором является правильная эксплуатация и техническое обслуживание оборудования, так как это значительно влияет на эффективность.

По прогнозам экспертов солнечные панели могут выработать 50% необходимой электроэнергии для всего мира, а по данным Bloomberg Intelligence на 2023 год, спрос солнечной энергии вырастит до 30%. Если в качестве примера рассматривать Казахстан, то страна имеет высокий потенциал для развития возобновляемой энергии. В особенности благоприятный климат и расположение, позволяет в полной мере использовать энергию солнца. На территорию Казахстана приходится до 260 световых дней, т. е. до 3000 световых часов в год, этот показатель ведет к устойчивому росту использования солнечной энергии.

В ближайшем будущем данный вид энергии станет самым распространенным и дешевым. Как мы знаем солнечные электростанции занимают огромную территорию, где безусловно, своевременный уход за панелями является решающим фактором в получении нужного объема энергии, и именно решению этой проблемы будет посвящена данная дипломная работа.



## 1 Исследовательская часть

### 1.1 Актуальность проекта

Для многих стран солнечная энергия становится более предпочтительным видом энергии, это связано с тем, что цена на поликремний из которого изготавливают солнечные панели за последние полгода, снизилась на 50%. [1] Кроме этого, солнечная энергия имеет множество преимуществ и находит свое применение практически во всех сферах жизнедеятельности человека начиная от домашнего источника питания, заканчивая спутниковыми и космическими аппаратами. А солнечные панели могут хорошо интегрироваться с городской застройкой и стать неотъемлемой частью крыш и фасадов. [2]

Европейские страны такие как Германия в связи с отсутствием или небольшими запасами полезных ископаемых, разрабатывают механизмы регулирования, поощряющие использование солнечной энергии при помощи налоговых и финансовых льгот, а также государственных программ. [3]

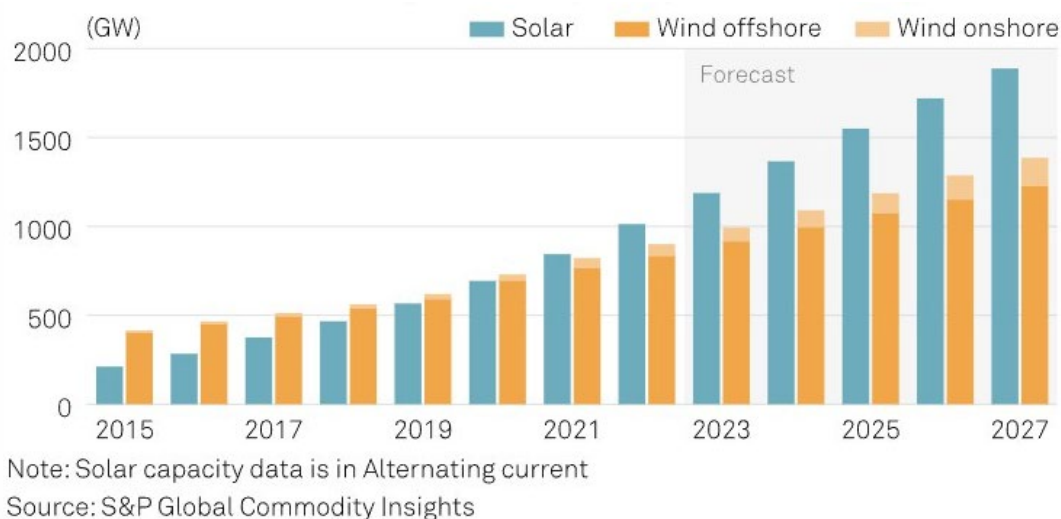


Рисунок 1 - Глобально установленная солнечная и ветровая мощность в Европе

Потенциал производства урбанизированной солнечной энергии смог удовлетворить энергопотребление таких городов как Оэйраш (Португалия) на 62% и Бардееве (Словакия) на 66%.

Международное энергетическое агентство (МЭА) прогнозирует, что интегрированные в крышу фотоэлектрические системы могут обеспечивать около 32% городского спроса на энергию и около 17% мирового спроса на энергию к 2050 году. [4]

Статистические данные позволяют продемонстрировать актуальность и пользу энергии солнца в достижении нулевого энергопотребления, а также уменьшения загрязнения экологии.



## 1.2 Определение проблемы и методы ее решений

Солнечная фотоэлектрическая система использует солнечные элементы для преобразования энергии солнечного излучения в электричество. Система состоит из набора панелей, аккумулятора, регулятора заряда и нагрузки. Солнечные фотоэлектрические панели, обычно устанавливаемые на крышах и подключаемые к зданию с помощью инвертора, преобразуют энергию постоянного тока, получаемую от солнечных панелей, в электрический ток.

Ухудшение эффективности солнечной фотоэлектрической панели на протяжении всего ее жизненного цикла не является желательным, поскольку капитальные затраты на систему высоки, а срок службы системы ограничен примерно 25 годами.[5]

Кроме того, солнечному фотоэлектрическому модулю требуется около шести лет, чтобы генерировать эквивалентное количество энергии, потребляемой в его производственных процессах. Основным фактором снижения эффективности солнечных фотоэлектрических панелей является скопившаяся на панели пыль.

К примеру, по всему миру был проведен широкий спектр исследований воздействия пыли, хотя и в различных условиях, окружающей среде и временных рамках. Фотоэлектрические системы первого поколения нуждаются в регулярной промывке, чтобы избежать снижения эффективности. Осаждение пыли на поверхности ограничивает проникновение солнечного света в фотоэлектрические элементы и, следовательно, мощность фотоэлектрической энергии. Эффективность может упасть на 50% через месяц без очистки модулей. Этот эффект сильно зависит от местности, поскольку климат пустыни более проблематичен из-за распространения частиц пыли и, как следствие, высоких скоростей ветра до 4,7% при средних потерях падающего солнечного излучения менее 1%.



Рисунок 1.2 – Загрязненная солнечная панель

Исследование в Саудовской Аравии показало, что накопление пыли привело к снижению производительности солнечных фотоэлектрических систем на 32% в течение восьми месяцев. Город Оаким в Эль-Кувейте зафиксировал снижение мощности фотоэлектрических систем на 17% из-за накопления песка через шесть дней. [6]

Загрязнение солнечной панели может происходить по разным причинам, например оседание пыли и грязи, птичий помет и снег. Иногда загрязнения иногда могут снизить КПД солнечной панели в два раза. Для борьбы с данными проблемами есть несколько решений: ручная очистка панели, автоматический обдув и автоматическое чистящее устройство.



Рисунок 1.3 – Загрязненная солнечная панель

Ручная очистка панели — это трудоемкая работа, которая занимает большое количество времени в связи с неудобным расположением панелей и их огромной площадью.

Обдув панелей довольно удобный, но не всегда эффективный метод очистки в случае, если грязь влажная.

И последнее, это автоматическое чистящее средство, на данный момент является самым удобным способом очистки, благодаря легкости, маневренности и эффективности.



Рисунок 1.4 – Пример автоматизированного устройства

## 2. Практическая часть

### 2.1 Характеристика робота

При разработке робота будут учитываться следующие требования:

Эффективность, т.е. робот должен эффективно очищать солнечные панели для поддержания от сухих и влажных загрязнений для оптимальной производительности.

Робот должен уметь двигаться по плоским или по поверхностям с небольшим наклоном, для их очистки.

Робот должен уделять первостепенное внимание безопасности во время работы. Он должен быть оснащен средствами безопасности, чтобы избежать падения с высоты и повреждения солнечной панели.

При лучших обстоятельствах робот должен работать автономно, сводя к минимуму необходимость вмешательства человека.

Механизм очистки робота должен удалять грязь и мусор с поверхности солнечных панелей. Самым эффективным методом очистки является влажная уборка щеткой и струей воды.

Чтобы робот был энергоэффективным. В нем должны использоваться источники питания, такие как перезаряжаемые батареи или солнечная энергия, которые обеспечивают длительную работу без чрезмерного потребления энергии.

Робот должен быть устойчивым к различным погодным условиям, должен переносить холод, жару, ветер и дождь, поскольку работа находится в открытой и незащищенной местности.

Робот должен быть изготовлен из прочных материалов и спроектирован так, чтобы его было легко использовать и обслуживать. Компоненты, быстро приходящие в негодность такие как щетки и батарейки должны своевременно заменяться.

Робот должен соответствовать всем требованиям безопасности для людей и окружающей среды.

## 2.2 Электронные компоненты робота и схема подключения

Для создания макета потребовались следующие электронные компоненты:

- Arduino Uno
- Драйвер двигателя L298N
- DC двигатели 5В x 3
- Насос ТСН-002 6-12В
- Литий-ионные батареи 18650 x 2
- Одноканальное реле 5В
- Батарея крона 9В

Arduino Uno – микроконтроллер среднего размера, построенный на базе ATМega 328.

Драйвер двигателя L298N – это модуль для управления моторами постоянного тока, драйвер состоит из пары Н-мостов. Способен управлять одним шаговым биполярным двигателям или же двумя двигателями постоянного тока. Также способен управлять двигателями с напряжением от 5В до 35В. [8]

DC двигатель – это коллекторный двигатель постоянного тока, рабочее напряжение которого колеблется от 5В до 6В.

Насос ТСН-002 – насос с напряжением от 6-12В, лево вращательный, в основном используется для подачи горячей воды в термопотах.

Литий-ионные батарея 18650 – перезаряжаемый аккумулятор высокой мощности, номинальное напряжение 3.7В.

Одноканальное реле - реле для управления мощной нагрузкой через один канал. Способен находится под нагрузкой до 250В.

Батарея крона – не перезаряжаемая солевая батарейка, выходное напряжение 9В.



## 2.3 Электронная схема подключения

Схема подключения была создана в программе Fritzing.

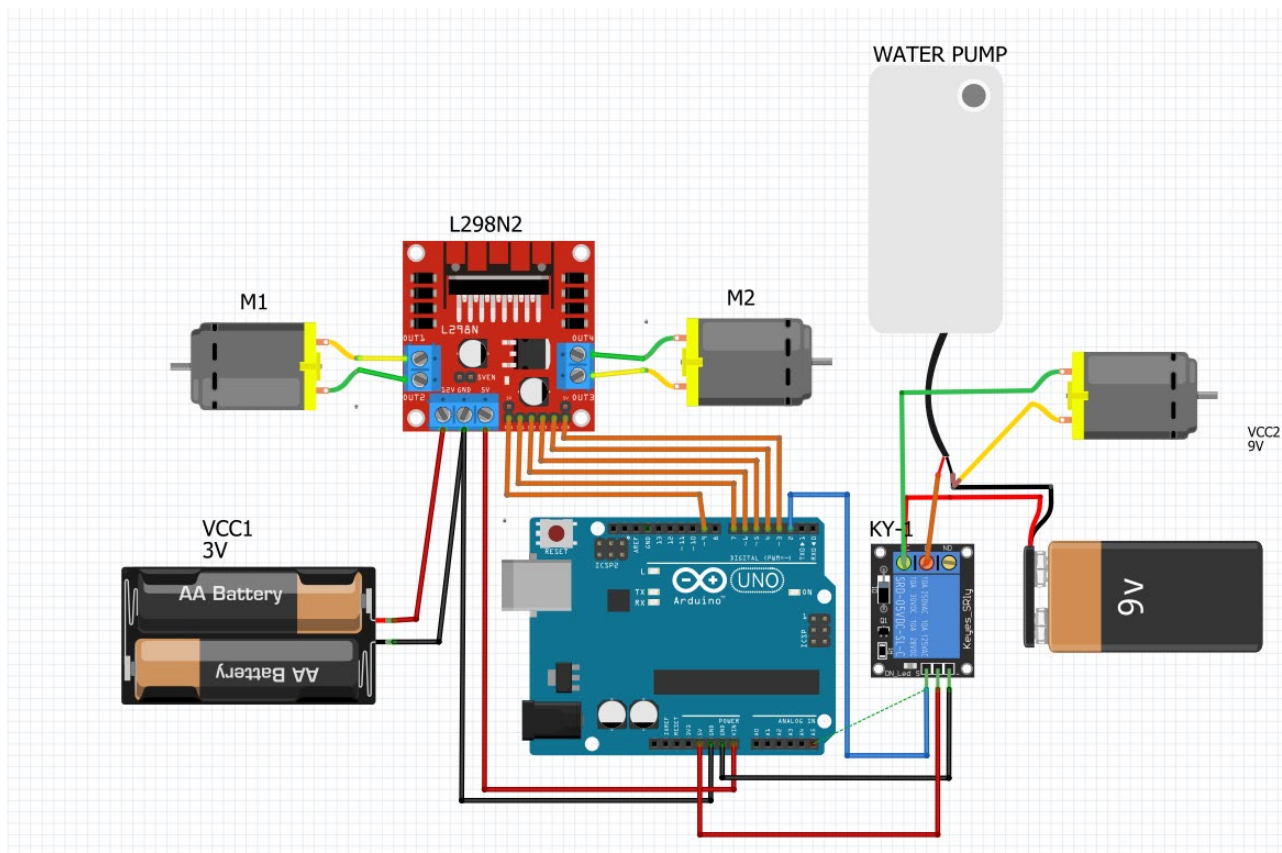


Рисунок 2.1 – Схема подключения

Два мотор-редуктора подключаются к Arduino не напрямую, а через драйвер двигателя. Это связано с тем, что пины Arduino не способны выдавать ток больше 40мА, а мотор-редукторы потребляют ток от 500мА. Для того чтобы контролировать скорость и направление двигателей используются ШИМ (PWM) выходы, ENA- для первого мотора и ENB- для второго мотора.

Третий мотор-редуктор подключается к Arduino через одноканальное реле 5В, так как здесь не обязательно изменять направление движения и скорость.

Питание первых двух мотор-редукторов и Arduino происходит за счет двух литий-ионных батареек 18650, а насос и мотор-редуктор для щетки питаются от батареи кроны 9В.

### 3D-модель, материал изготовления

Данный дипломный проект является макетом. Корпус макета был создан в программе Fusion 360 и распечатан 3D принтером из переработанного пластика типа PET-G – для жёсткости и устойчивости корпуса робота и пластика типа ABS для более высокой стойкости к ударным нагрузкам и химической резистентности.

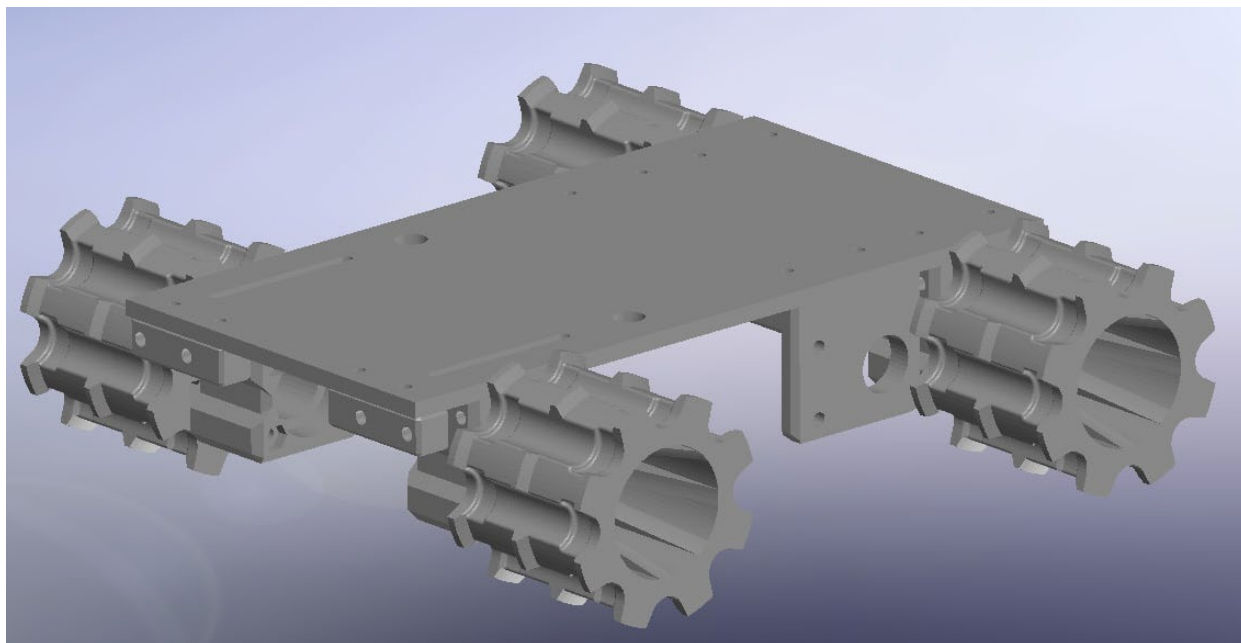


Рисунок 2.2 – 3D модель корпуса робота сбоку

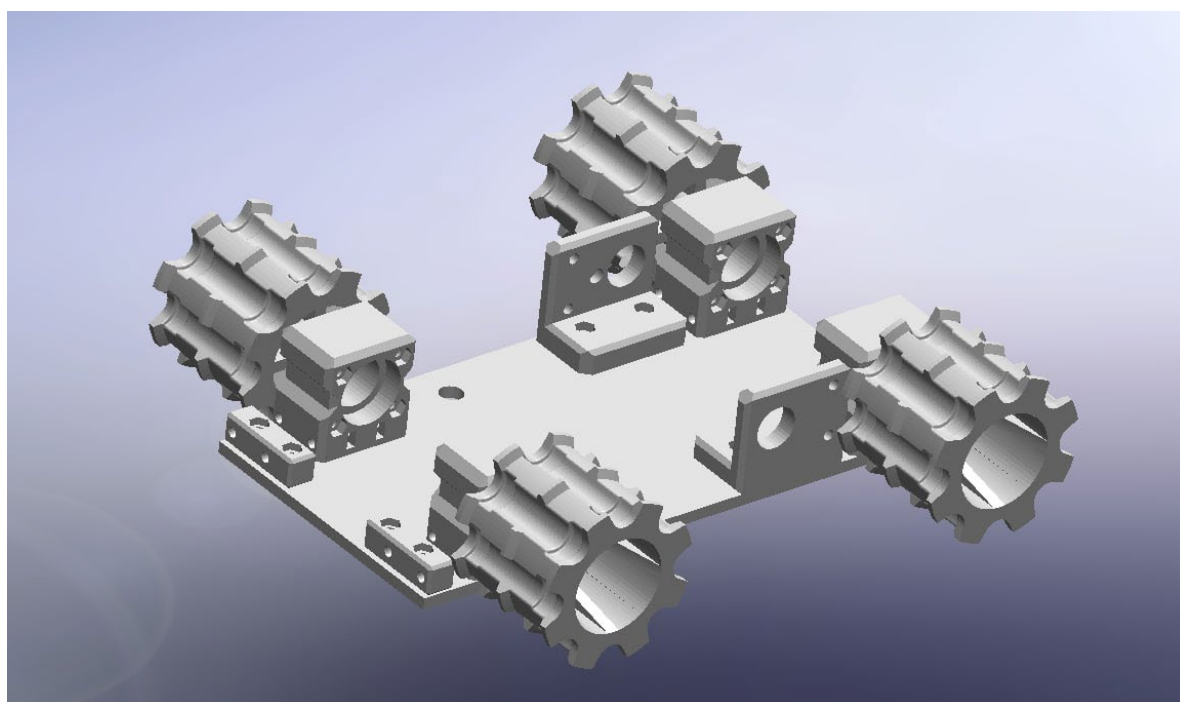


Рисунок 2.3 – 3D модель корпуса робота снизу

Опираясь на опыт аналогов, было решено выбрать гусеничную ходовую часть, это обусловлено тем, что для устойчивости на поверхности, требуется большая площадь соприкосновения робота к солнечной панели.

Гусеница робота состоит из трака и приводного ремня GT2 - 10мм и 6мм. Трак – это звено гусеничной ленты. В данном роботе трак напечатан из ABS пластика и состоит из двух половин, одна из них с зацепом для ремня, другая с гладкой поверхностью, половины трака скреплены резиновыми соединителями для уменьшения скольжения.

Всего на две гусеничные ленты затрачено 44 трака и 2м ремня. Для плотной усадки гусениц имеются специальные натяжители, регулируемые винтами М3х50.

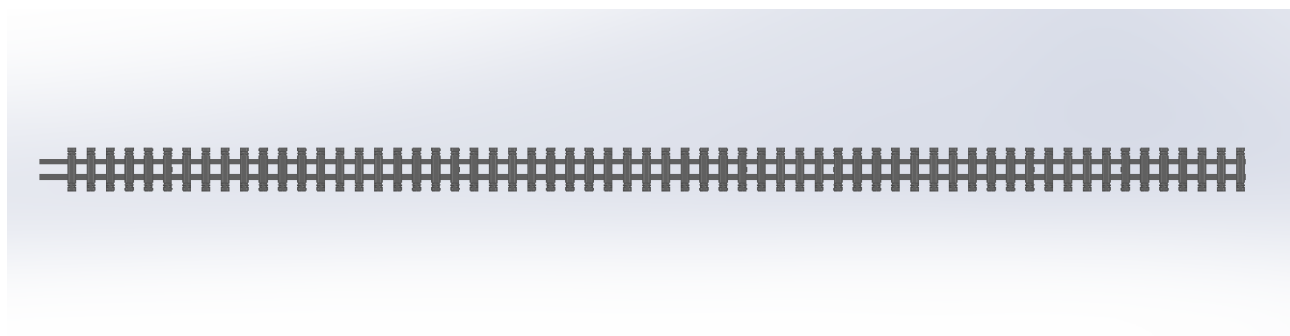


Рисунок 2.4 – Гусеница робота

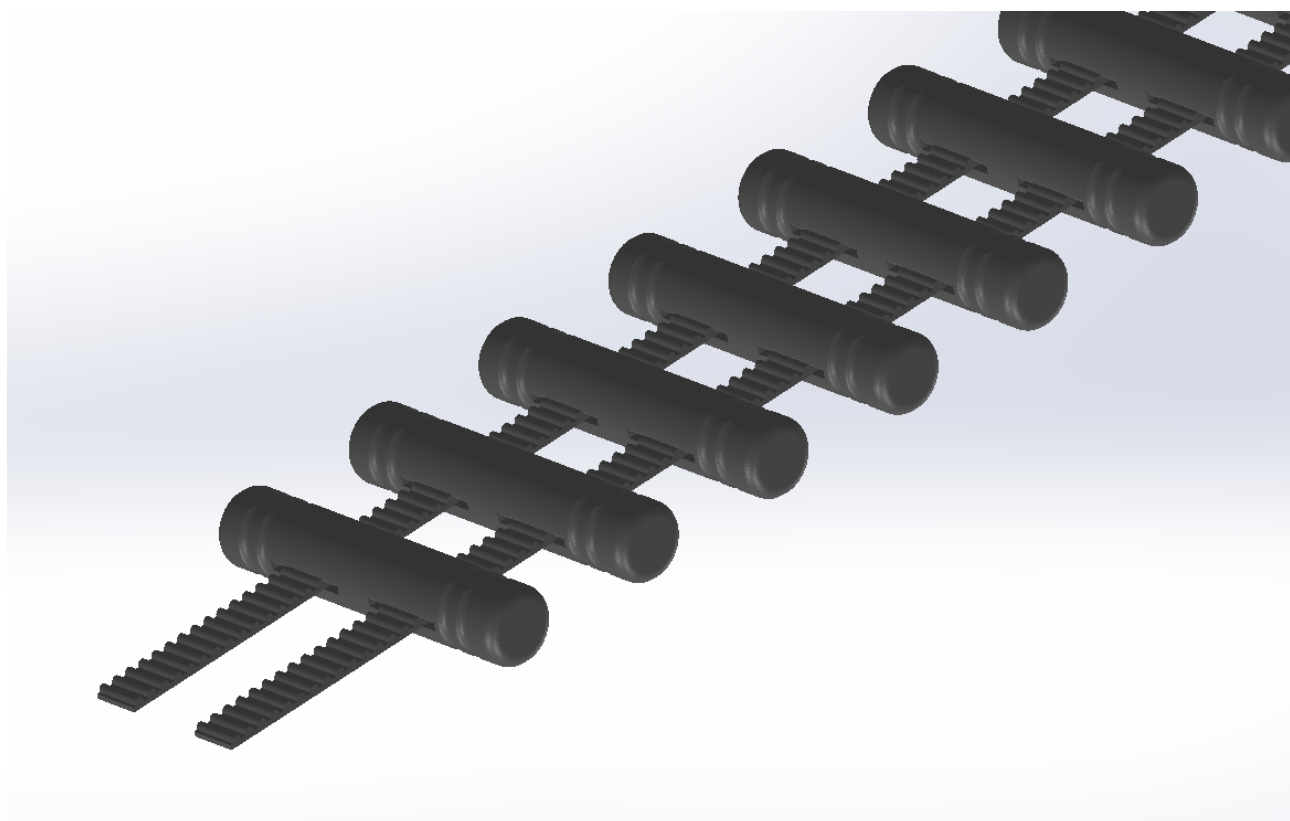


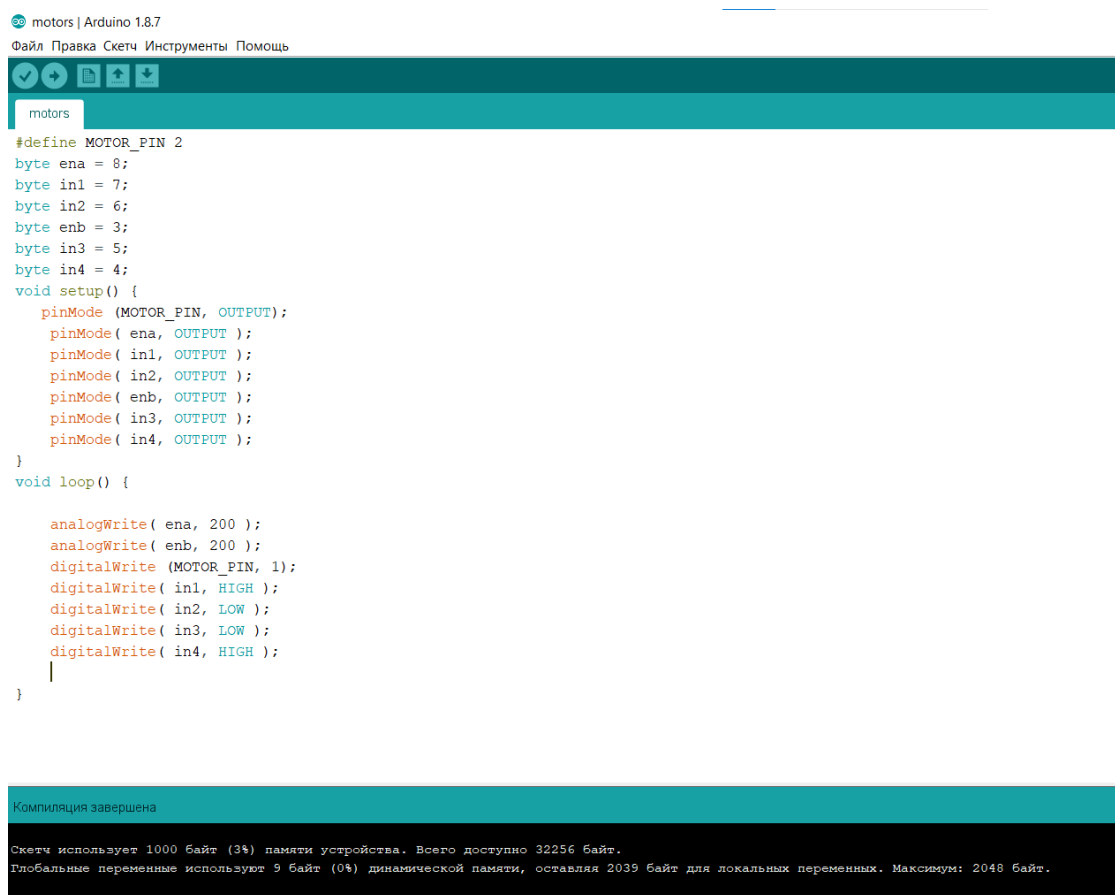
Рисунок 2.5 – Гусеница крупным планом



## 2.5 Программный код

Для написания кода использовалась интегрированная среда разработки Arduino IDE, язык программирования C++. Также в ней имеется компилятор для проверки кода и обширное количество библиотек. Код для дипломного проекта в Приложении А.

Вначале кода идентифицируется каждый пин ардуино и дается обозначение за что отвечает каждый пин и к какому выходу драйвера двигателя он подключен. Затем задается режим работы заданного пина для входа и выхода, всего имеются два цифровых состояния output и input т.е выход и вход, в режиме входа цифровой пин (digital pin) подает напряжение от 0 до 5 вольт, при режиме выход напряжение равно 0. Далее используя цикл, функция digitalWrite мы регулирует подачу питания на отдельные пины. Таким образом мотор становится контролируемым и движется в нужные стороны, при помощи команды delay можно регулировать время работы каждого пина.



```
motors | Arduino 1.8.7
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

motors

#define MOTOR_PIN 2
byte ena = 8;
byte in1 = 7;
byte in2 = 6;
byte enb = 3;
byte in3 = 5;
byte in4 = 4;
void setup() {
  pinMode( MOTOR_PIN, OUTPUT);
  pinMode( ena, OUTPUT );
  pinMode( in1, OUTPUT );
  pinMode( in2, OUTPUT );
  pinMode( enb, OUTPUT );
  pinMode( in3, OUTPUT );
  pinMode( in4, OUTPUT );
}
void loop() {

  analogWrite( ena, 200 );
  analogWrite( enb, 200 );
  digitalWrite( MOTOR_PIN, 1);
  digitalWrite( in1, HIGH );
  digitalWrite( in2, LOW );
  digitalWrite( in3, LOW );
  digitalWrite( in4, HIGH );
  |
}

Компиляция завершена
Скетч использует 1000 байт (3%) памяти устройства. Всего доступно 32256 байт.
Глобальные переменные используют 9 байт (0%) динамической памяти, оставляя 2039 байт для локальных переменных. Максимум: 2048 байт.
```

Рисунок 2.6 – пример кода в Arduino IDE

## 3 Расчеты

### 3.1 Расчет степеней свободы

Степени свободы в робототехнике — это совокупность независимых координат перемещения и или вращения, полностью определяющая положение системы или тела, вместе с их производными по времени — соответствующими скоростями — полностью определяющая состояние механической системы или тела, то есть их положение и движение.

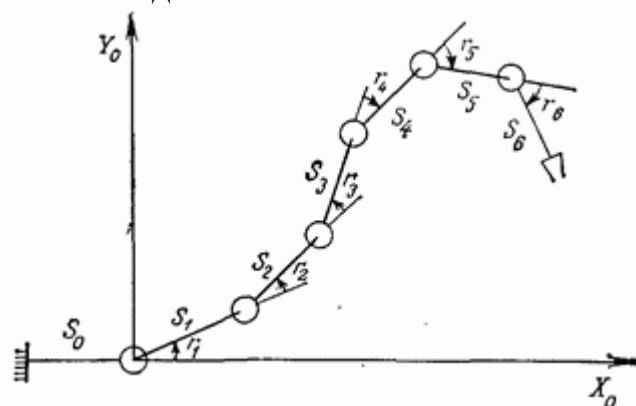


Рисунок 3.1 – расчет степени свободы манипулятора

$$n = 6k - \sum_{i=1}^5 i P_i, \quad (3.1)$$

Соединяя отдельные звенья рассмотренными способами, можно получить манипулятор требуемой конструкции. Структурная схема одного из таких манипуляторов показана на рисунке 3.1. Каждое звено имеет свое наименование.

Например, в рассматриваемом случае манипулятор, содержит 5 подвижных звеньев (исключая неподвижное основание и внутреннее подвижное звено в захвате), образующих 5 кинематических пар 5-го класса. Поэтому:  $n = 6 \cdot 5 - 5 \cdot 5 = 5$ .

Различают следующие виды степеней подвижности: координатные т.е. глобальные - обеспечивающие выведение манипулятора в зону манипулирования; переносные т.е. рабочие - определяющие выведение захвата в заданные места рабочей зоны; ориентирующие т.е. локальные - обеспечивающие требуемые ориентации захвата в заданном месте рабочей зоны.

Если рабочая зона является объемной, то манипулятор должен иметь не менее трех переносных степеней подвижности. В случае плоской зоны манипулирования достаточно иметь лишь две переносные степени свободы.

В общем случае промышленный робот должен иметь не менее одной переносной степени подвижности. Увеличение числа степеней подвижности усложняет манипулятор, но одновременно увеличивает его маневренность, т. е. способность обходить препятствия в рабочей зоне.

Это фундаментальное понятие применяется в теоретической механике,

теории механизмов и машин, машиностроении, авиации и теории летательных аппаратов, робототехнике.

В отличие от обычных декартовых или какого-то другого типа координат, такие координаты в общем случае называются обобщёнными координатами декартовы, полярные или какие-то другие конкретные координаты являются, частным случаем обобщённых. По сути, речь идет о минимальном наборе чисел, который полностью определяет текущее положение данной системы.

Так как робот имеет гусеничное шасси, то робот может двигаться поступательно вперед-назад и вращательно, поворачивая в разные стороны. Поступательное движение достигается путем вращения двух гусениц с одной скоростью и с одним направлением.

Вращательное движение достигается за счет регулировки разницы скоростей гусениц с разными направлениями, таким образом робот может изменить направление пути, не меняя своего положения.

Благодаря этому робот на гусеничном шасси способен маневрировать и преодолевать препятствия.

Формула степени свободы для гусеничного шасси:

$W = N - n$ , где  $N$ -число независимых движений.  $n$ -число ограниченных движений.

Для гусеничного робота независимыми движениями считаются поступательные и вращательные.

Ограниченные движения – движения каждого колеса и гусеницы, так как они работают слажено и одновременно, на них добавляется ограничение, потому что они не могут двигаться независимо и самостоятельно друг от друга.

Число ограничений и независимых движений равно числу гусениц.

Таким образом,  $W = 2 - 2 = 0$ .

В данном роботе не имеется степеней свободы так как гусеницы зависят друг от друга. [8]

### 3.2 Расчет устойчивости работа при подъеме и уклоне

Важным критерием при эксплуатации для любого транспортного средства является его способность сохранять устойчивое и направленное движение вопреки силам, действующим против него, данный критерий называется устойчивостью [9].

Устойчивость автомобиля - способность автомобиля сохранять движение по заданной траектории, противодействуя силам, вызывающим его занос и опрокидывание в различных дорожных условиях при высоких скоростях движения.

Различают следующие виды устойчивости:

- поперечная при прямолинейном движении. Ее нарушение проявляется в рыскании автомобиля по дороге и может быть вызвано действием боковой силы ветра, разными величинами тяговых или тормозных сил на колесах левого или правого борта, их буксованием или скольжением, большим люфтом в рулевом управлении, неправильными углами установки колес и т.д.;
- поперечная при криволинейном движении, нарушение которой приводит к заносу или опрокидыванию автомобиля под действием центробежной силы. Особенно ухудшает устойчивость повышение положения центра масс автомобиля (например, большая масса груза на съемном багажнике на крыше);

Критериями поперечной устойчивости являются максимально возможные скорости движения по окружности и углы поперечного уклона дороги. Поэтому поперечная устойчивость оценивается:

- критической скоростью движения на кривой в плане, соответствующей началу заноса или скольжения автомобиля;
- критической скоростью движения на кривой в плане, соответствующей началу опрокидывания;
- критическим углом косогора, при котором возникает поперечное скольжение транспортного средства;
- критическим углом косогора, соответствующим началу опрокидывания транспортного средства [10].

Рассматривая данный случай, работа можно считать транспортным средством, при его работе могут возникнуть следующие проблемы: занос или опрокидывание, это связано с тем, что робот едет под определенным углом [11].

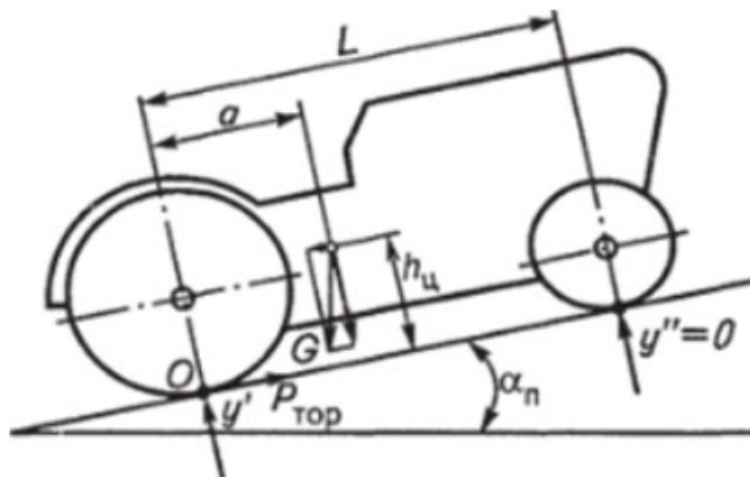


Рисунок 3.1 – Пример расчета устойчивости трактора

$$\tan \alpha_{\text{п}} = \frac{a}{h_{\text{ц}}} - \text{угол подъема, при котором возникает вероятность опрокидывания} \quad (3.2.1)$$

Для гусеничных транспортов при подъеме:

$$\tan \alpha_{\text{п}} = \frac{(0.5L+a)}{h_{\text{ц}}} = 16^{\circ} \quad (3.2.2)$$

$$\tan \alpha_{\text{y}} = \frac{(0.5L-a)}{h_{\text{ц}}} = 15^{\circ} \quad (3.2.3)$$

Для транспортных агрегатов наиболее опасно поперечное опрокидывание:

$$\tan \beta_0 = \frac{0.5(B+b)}{h_{\text{ц}}} = 14^{\circ} \quad (3.2.4)$$

Поперечная устойчивость определяется статическим углом уклона, при котором машина стоит, не опрокидываясь и не сползая.

### 3.3 Расчет надежности

Расчёт надёжности - процедура определения значений показателей надёжности объекта с использованием методов, основанных на их вычислении по справочным данным о надёжности элементов объекта, по данным о надёжности электронных компонентов данным о свойствах материалов и другой информации, имеющейся к моменту расчета.

Под надёжностью понимают свойство изделия сохранять в течение заданного времени в пределах установленных норм значения функциональных параметров при определённых условиях (заданные режимы и условия эксплуатации, технического обслуживания, хранения и транспортирования).

В теории и практике надёжности технических изделий широко пользуются понятием наработка, под которой понимают продолжительность работы изделия, выраженную в часах, циклах переключения или других единиц в зависимости от вида и функционального назначения изделия.

Под отказом понимают полную или частичную потерю изделием работоспособности вследствие ухода одного или нескольких функциональных параметров за пределы установленных норм, указанных в технической документации [12].

Под наработкой до отказа понимают суммарную наработку изделия от момента вступления в работу (эксплуатацию) до возникновения первого отказа.

Надёжность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения изделия и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

Многие понятия и определения теории надёжности базируются на таких понятиях, как работоспособность и безотказность.

Для максимальной эффективности проекта робот должен работать как можно дольше без отказа.

Основными показателями надёжности являются:

- 1) Максимальное время работоспособности
- 2) Интенсивность отказа
- 3) Вероятность безотказной работы

Структурные методы расчета надёжности являются основными методами расчета показателей надёжности в процессе проектирования объектов, поддающихся разукрупнению на элементы, характеристики надёжности, которых в момент проведения расчетов известны или могут быть определены другими методами. Расчет показателей надёжности структурными методами в общем случае включает:

- представление объекта в виде структурной схемы, описывающей логические соотношения между состояниями элементов и объекта в целом с учетом структурно-функциональных связей и взаимодействия элементов, принятой стратегии обслуживания, видов и способов резервирования и других факторов;
- описание построенной структурной схемы надёжности объекта адекватной

математической моделью, позволяющей в рамках введенных предположений и допущений вычислить показатели надёжности объекта по данным о надёжности его элементов в рассматриваемых условиях применения.

В дипломном проекте присутствуют следующие ниже расписанные компоненты, максимальная работоспособность которых влияет на работу системы в целом.

- Arduino UNO,  $t_{\text{uno}}=88\ 000$  ч
- Драйвер двигателя L298N,  $t_{\text{двиг}}=130\ 000$  ч
- Одноканальное реле,  $t_{\text{реле}}=80\ 000$  ч
- Насос ТСН-002,  $t_{\text{насос}}=150\ 000$  ч
- DC Мотор-редукторы,  $t_{\text{мотор}}=200000$  ч

Среднее время безотказной работы. Надёжность однотипных электронных компонентов или элементов с точки зрения продолжительности их работы до первого отказа характеризуют средним временем безотказной работы, под которым понимают математическое ожидание времени безотказной работы.

В общем случае рассматриваемый показатель называют средней наработкой до отказа, так как он представляет собой математическое ожидание (среднее значение) случайной величины — наработки до отказа. Этот показатель может использоваться для любых изделий: восстанавливаемых и невосстанавливаемых.

Безотказность – это способность компонента быть работоспособным в течение определенного времени. [13]

Расчёт надёжности — определение значений показателей надёжности объекта, основанных на вычислении отдельных компонентов в соответствии со справочными данными, в нашем случае data sheet.

Расчет надёжности проекта был выполнен в вычислительной программе MathCad.

Используемые формулы и пояснения:

- 1) Интенсивность отказа  $\lambda = \frac{1}{t}$
- 2) Вероятность безотказной работы всей системы  $Ti(t) = e^{-\lambda it}$ , где  $t=1000$  ч
- 3) Расчет показателей системы  $T = \sum_{i=1}^n Ti(t)$
- 4) Средняя наработка до отказа системы  $P = \frac{1}{\lambda}$
- 5) Годовая наработка до отказа системы  $P_{\Gamma} = \frac{P_{\text{ср}}}{8*250}$ , если робот отрабатывает полноценную рабочую смену 8 часов и 250 дней в году.



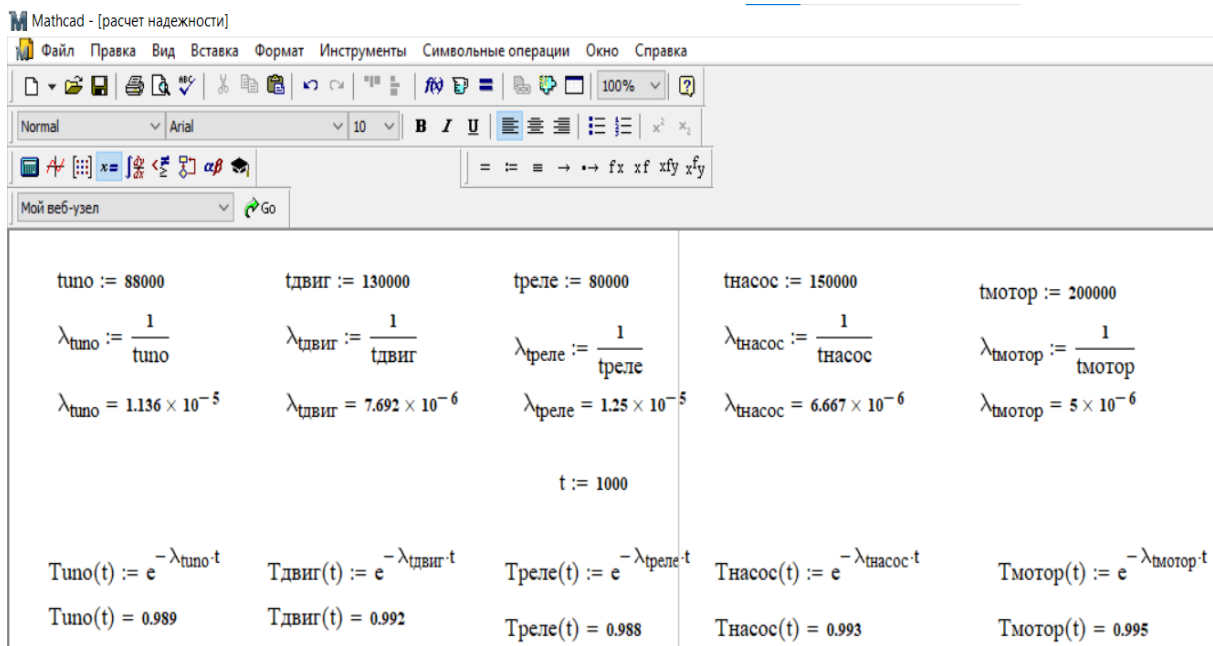


Рисунок 3.2 – Расчет надежности

$$T := \sum_{i=1}^n [T_i(t)]$$

$$T_{\text{системы}} := 0.989^2 \cdot 0.992^2 \cdot 0.988^2 \cdot 0.993^2 \cdot 0.995^2 = 0.917$$

$$\lambda_{\text{системы}} := \frac{-\ln(0.917)}{1000} = 8.665 \times 10^{-5}$$

$$R_{\text{сис}} := \frac{1}{\lambda_{\text{системы}}} = 1.154 \times 10^4$$

$$R_{\text{сисг}} := \frac{R_{\text{сис}}}{8 \cdot 250} = 5.77$$

+

Рисунок 3.3 - Расчет надежности

В итоге годовая наработка до отказа системы если робот обрабатывает полноценную рабочую смену 8 часов и 250 дней в году равна 5.77 года.

### 3.3 Экономический расчет макета проекта

При исследовании экономического аспекта проблемы роботизации. Прежде всего внедрение и эксплуатация роботов связаны с определенными затратами. Основой для технико-экономического анализа роботизации должна быть правильная система ценообразования, исходящая из объективного исчисления фактических затрат на роботизацию, а не из различных способов установления цен на выпускаемую продукцию.

Как известно, стоимость любого продукта складывается из стоимости затрат на его производство, амортизационных затрат в виде определенной части стоимости средств труда, затраченного труда людей в виде соответствующей части зарплаты и прибыли. Стоимости предметов труда и средств труда (к которым относятся роботы, а также зарплату людей, участвующих в процессе производства, можно считать заданными. Что же касается стоимости амортизационных затрат, то при ее исчислении необходимо учитывать физический и моральный износ т.е. старение средств труда, т. е. роботов и вспомогательного оборудования. Зная фактическую стоимость продукта и его себестоимость, легко определить прибыль.

Для расчета экономически оправданного объема роботизации необходимы детальный учет и количественная оценка всех составляющих общей стоимости затрат. Реальный эффект сокращения фонда заработной платы за счет внедрения роботов определяется количеством высвобождающихся при этом людей и величиной их заработной платы, а также стоимостью самих роботов, которая в свою очередь определяется сложностью конструкции и степенью интеллектуальности роботов. Если стоимость современных роботов первого поколения относительно невелика, то стоимость роботов второго и третьего поколений настолько высока, что их применение зачастую не приводит к экономии фонда заработной платы. Разумеется, такое положение вещей не вечно. Тем более, что сенсорные и интеллектуальные роботы позволят сократить число работников высокой квалификации в большинстве случаев - высокооплачиваемых. Для того чтобы повысить рентабельность роботизации производственных процессов, не следует отдавать предпочтение какому-то одному поколению или типу роботов. Нужно для каждого класса конкретных задач выбирать или создавать роботов, которые наилучшим образом приспособлены к решению данной задачи и в то же время просты, надежны в эксплуатации и дешевы. Очень важно, чтобы эти роботы допускали быструю переналадку на решение любых задач внутри данного класса [14].

Важная составляющая экономической эффективности роботизации, которая обычно не учитывается в должной мере, заключается в повышении надежности (или соответственно в уменьшении риска, связанного с разного рода неточностями, неисправностями, авариями и т. п.) осуществления желаемого производственного процесса за счет высокой эксплуатационной надежности роботов.

В таблице представлена минимальная, средняя и максимальная цена за требуемое количество компонентов с учетом актуальных цен на рынке электроники, а также их общая сумма.

На рынке цена роботов уборщиков солнечных панелей намного выше и варьируется от 300\$ до 12 000\$, когда как максимальная цена данного макета около 152\$ с учетом электронных компонентов и печати корпуса.

Выбор сравнения для экономического обоснования эффективности роботов проводят на этапах создания и освоения производства новых средств робототехники (проектировщик и производитель), а также при внедрении роботов у потребителя на стадии разработки проекта роботизации производства.

Принимаемая в качестве базы сравнения модель робота должна иметь технические характеристики, сопоставляемые с характеристиками вновь создаваемой модели. Для этого в целях обеспечения правильности выбора баз сравнения и реализации в новых разработках перспективных технических решений разработчикам рекомендуется предварительно проводить сравнительную оценку базовой и новой моделей по основным техническим показателям

Таблица 1

Компоненты	Кол-во	Цена min	Цена mid	Цена max
Arduino Uno	1	12 000	12 300	13 500
Драйвер двигателя L298N	1	900	1 200	1 700
DC мотор-редукторы 5В	3	1 500	2 100	3 000
Насос ТСН-002 6-12В	1	4 000	5 000	6 000
Литий-ионные батареи 18650	2	3 000	3 600	4 000
Батарея крона 9В	1	700	900	1 200
Одноканальный модуль реле 5В	1	1 000	1 700	2 000
3D печать макета		20 000	25 000	35 000
Винты, гайки, шайбы		1000	1500	2000
<b>Итого</b>		<b>44 100 98\$</b>	<b>51 000 113\$</b>	<b>68 400 152\$</b>

Решение о целесообразности разработки и освоения производства модели робота принимается после оценки экономической эффективности новой и базовой модели в одинаковых условиях по минимуму приведенных затрат.

#### 4 Готовый макет робота

Данный робот по очистке солнечных панелей исходя из приведенных расчетов, рассчитан на очистку панелей с небольшим склоном до 25 градусов, либо на панели, расположенные на покатых и плоских крышах. Так как данный робот является прототипом, то возможно его техническое усовершенствование за счет замены на более мощные двигатели, источники питания, также замены и проектирование резервуара для воды и щетки, специально подобранные под размер робота.

Законченный прототип имеет такой вид:



Рисунок 4.1 – Вид робота сбоку

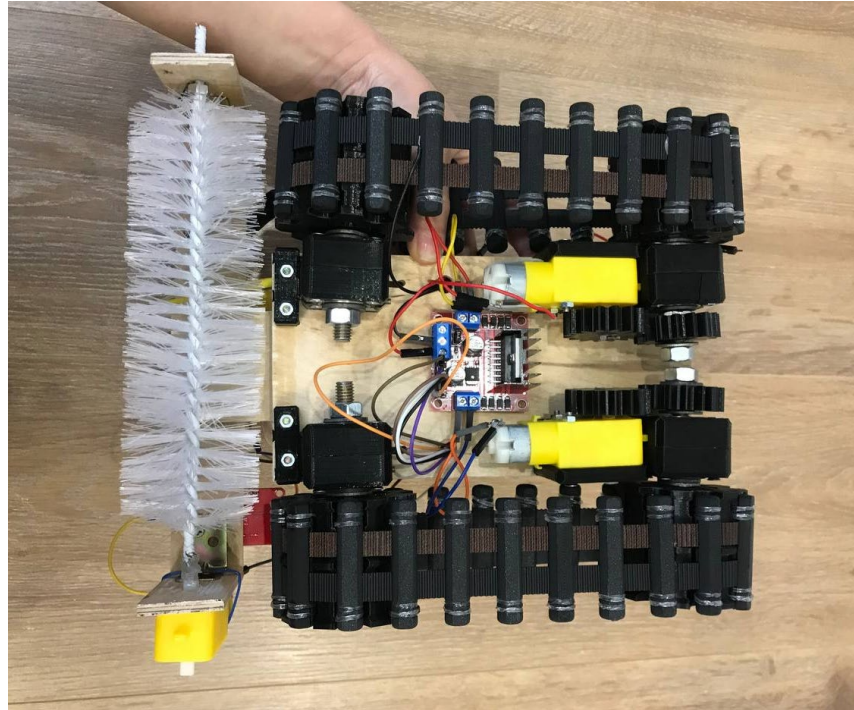


Рисунок 4.2 – Вид снизу

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении дипломного проекта был предложен один из способов решения проблемы очистки солнечных панелей и его практическая реализация. В ходе работы были выполнены следующие этапы: исследование, программная разработка и конструирование.

Описанный и разработанный проект является улучшенным и эффективным устройством по сравнению с современными альтернативами.

На основе поставленных целей и задач при разработке робота были:

- Изучены способы очистки солнечных панелей и методы борьбы с данной проблемой;
- Проведен расчетный анализ и построение алгоритма решения;
- Произведен анализ подбора электронных компонентов;
- Была проведена визуализация и моделирование робота.

Был произведен расчет надежности проекта и его экономический расход.

В дальнейшем есть возможность осуществить улучшения системы при выборе более мощных двигателей, крепкого корпуса и детализации устройства.

## СПИСОК ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

Нулевое энергопотребление – высокая энергоэффективность, способность выработки энергии при помощи возобновляемых источников энергии равное энергопотреблению.

Интенсивность отказов – частота вероятности выхода из строя устройства неподдающегося ремонту.

Вероятность безотказной работы – вероятность того, что в нужный интервал времени выход устройства из строя не произойдет.

PET-G - сокращение от polyethylene terephthalate glycol, вид полиэфирного пластика, является модифицированной версией PET пластика.

ABS – сокращение от acrylonitrile butadiene styrene, синтетический сополимер обладающий высокой ударпрочностью, химической резистентностью и термопластичностью.

GT2 – серия ремня от корпорации Gates.

ШИМ – pulse-width modulation или же широко-импульсная-модуляция, это процесс контроля мощностью при помощи прерывистой (пульсирующей) подачи напряжения.

Data sheet – это техническая спецификация, карта данных, документ, который объединяет в себе технические характеристики продукта, материала, электронного компонента или подсистемы.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Aline Varella Rodrigues, Daniel Aragão Ribeiro de Souza, Francis Dayan Rivas Garcia, Sidney José Lima Ribeiro. Renewable energy for a green future: Electricity produced from efficient luminescent solar concentrators. 2022  
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2667113122000018?token=911238CA6C967718F676D8407484FE8C06238A8B6D7DE48777F27474202F5B7B04437B6F2AE97C1A2C8C61BEDBFFD127&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230418180216>
- [2] John Fitzgerald Weaver. pv magazine USA. 2023  
<https://pv-magazine-usa.com/2023/01/04/the-price-of-polysilicon-has-fallen-by-54-since-august/>
- [3] Andreas Franke. Commodities 2023: Europe's solar power sector set for record growth in 2023. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/electric-power/122822-europes-solar-power-sector-set-for-record-growth-in-2023#article0>
- [4] Jaroslav Hofierka, Ján Kaňuk. Assessment of photovoltaic potential in urban areas using open-source solar radiation. 2009  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148109000949>
- [5] Shaharin Anwar Sulaiman, Atul Kumar Singh, Mior Maarof Mior Mokhtar, Mohammed A. Bou-Rabee. Influence of Dirt Accumulation on Performance of PV Panels.  
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610214007425?token=DCBA5540D863C45763DD59D9B618CC47417C625948904387D29BED26677B783440547070B5CE4B60652EECF696C1506C&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230419230320>
- [6] F. Wakim, "Introduction of PV power generation to Kuwait," Kuwait Institute for Scientific Researchers, Kuwait City.
- [7] ОСНОВЫ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО НАДЕЖНОСТИ ИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
<http://www.obzh.ru/nad/4-5.html>
- [8] Обследование и испытание конструкций зданий и сооружений - Калинин В.М. [https://studref.com/303507/stroitelstvo/bezotkaznost\\_obekta](https://studref.com/303507/stroitelstvo/bezotkaznost_obekta)
- [9] Tracked Locomotion Systems for Ground Mobile Robots  
[https://www.researchgate.net/publication/362469212\\_Tracked\\_Locomotion\\_Systems\\_for\\_Ground\\_Mobile\\_Robots\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/362469212_Tracked_Locomotion_Systems_for_Ground_Mobile_Robots_A_Review)
- [10] О стабилизации положения робота с учетом результатов расчета координат центра масс  
<https://cyberleninka.ru/article/n/o-stabilizatsii-polozheniya-robota-s-uchetom-rezultatov-rascheta-koordinat-tsentra-mass/viewer>
- [11] Расчёт оценочных параметров поперечной устойчивости автомобиля  
<http://www.transportpath.ru/palons-231-3.html>
- [12] РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОСТИ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГОСРЕДСТВ

[https://studme.org/246240/bzhd/raschet\\_parametrov\\_bezопасnosti\\_mobilnyh\\_energo\\_sredstv](https://studme.org/246240/bzhd/raschet_parametrov_bezопасnosti_mobilnyh_energo_sredstv)

[13] РАСЧЁТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ. РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.

[https://www.bsuir.by/m/12\\_101945\\_1\\_72356.pdf](https://www.bsuir.by/m/12_101945_1_72356.pdf)

[14] Экономическая эффективность роботизации  
<http://roboticslib.ru/books/item/f00/s00/z0000026/st032.shtml>

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Программный код

```
#define MOTOR_PIN 2
const int motorA_ENA = 9;
const int motorA_IN1 = 8;
const int motorA_IN2 = 7;
const int motorB_ENB = 10;
const int motorB_IN3 = 6;
const int motorB_IN4 = 5;

const int motorSpeed = 200;

void setup() {
  pinMode (MOTOR_PIN, OUTPUT);
  pinMode(motorA_ENA, OUTPUT);
  pinMode(motorA_IN1, OUTPUT);
  pinMode(motorA_IN2, OUTPUT);
  pinMode(motorB_ENB, OUTPUT);
  pinMode(motorB_IN3, OUTPUT);
  pinMode(motorB_IN4, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite (MOTOR_PIN, 1);
  moveForward();
  delay(2000);

  stop();
  delay(500);
  turnRight();
  delay(1000);

  moveForward();
  delay(2000);

  stop();
  delay(500);
  turnRight();
  delay(1000);

  moveForward();
  delay(2000);
```

```

// Stop and turn right
stop();
delay(500);
turnRight();
delay(1000);

// Move forward
moveForward();
delay(2000);

// Stop
stop();
delay(500);
}

void moveForward() {
  digitalWrite(motorA_IN1, HIGH);
  digitalWrite(motorA_IN2, LOW);
  analogWrite(motorA_ENA, motorSpeed);
  digitalWrite(motorB_IN3, HIGH);
  digitalWrite(motorB_IN4, LOW);
  analogWrite(motorB_ENB, motorSpeed);
}

void turnRight() {
  digitalWrite(motorA_IN1, HIGH);
  digitalWrite(motorA_IN2, LOW);
  analogWrite(motorA_ENA, motorSpeed);
  digitalWrite(motorB_IN3, LOW);
  digitalWrite(motorB_IN4, HIGH);
  analogWrite(motorB_ENB, motorSpeed);
}

void stop() {
  digitalWrite(motorA_IN1, LOW);
  digitalWrite(motorA_IN2, LOW);
  digitalWrite(motorB_IN3, LOW);
  digitalWrite(motorB_IN4, LOW);
}

```

## ПРИЛОЖЕНИЕ А.2

```
#include "ArduinoJson.h"
#define MOTOR_PIN 2
#define IN_PINENA 9
#define IN1_PIN=8
#define IN2_PIN=7
#define IN_PINENB=10
#define IN3_PIN=6
#define IN4_PIN=5

StaticJsonDocument<200> jsondoc;

int16_t speedA = 0;
int16_t speedB = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  pinMode(IN1_PIN, OUTPUT);
  pinMode(IN2_PIN, OUTPUT);
  pinMode(IN3_PIN, OUTPUT);
  pinMode(IN4_PIN, OUTPUT);
  pinMode(IN_PINENA, OUTPUT);
  pinMode(IN_PINENB, OUTPUT);
}

void loop()
{
  DeserializationError err = deserializeJson(jsondoc, Serial);
  if (err == DeserializationError::Ok)
  {
    speedA = (float)jsondoc["speedA"] * 2.55;
    speedB = (float)jsondoc["speedB"] * 2.55;  }
  else
  {
    while (Serial.available() > 0) Serial.read();
  }
  moveA(speedA);
  moveB(speedB);
  delay(10);
}
```

```
void moveA(int16_t speed){
  speed = -speed;
  if(speed >= 0){
    analogWrite(IN1_PIN, LOW);
    analogWrite(IN2_PIN, abs(speed));
  }
  else {
    analogWrite(IN1_PIN, abs(speed));
    analogWrite(IN2_PIN, LOW);
  }
}
```

```
void moveB(int16_t speed){
  if(speed >= 0){
    analogWrite(IN3_PIN, LOW);
    analogWrite(IN4_PIN, abs(speed));
  }
  else {
    analogWrite(IN3_PIN, abs(speed));
    analogWrite(IN4_PIN, LOW);
  }
}
```