

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютерних технологій

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський)

Розробка системи автоматизації для технологічного процесу очищення
поверхні сонячної панелі від забруднень

(тема)

Виконав:

студент 4 курсу, групи АКТАКІТ-20-1

Гайдук І. М.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Жарікова І. В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І. Ш.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

12.06.2024



Гайдук І. М.

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра _____ КІТАР _____
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва)
Тип програми _____ освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Гайдуку Іллі Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи автоматизації для технологічного процесу очищення поверхні сонячної панелі від забруднень
затверджена наказом університету від 03.06. 2024 р. № 544 Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 25 червня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: 3.1 Середовище розробки 3D-моделі та ескіз кресленика – AutoCAD; 3.2 Середовище розробки схеми – TinkerCAD;
3.3 Мова програмування – C;
3.4 Призначення системи: очищення сонячних панелей;
3.5 Функції: автоматизоване сухе та вологе очищення сонячних панелей від забруднень; 3.6 Розміри сонячної панелі – 1,65 м у довжину, 1 м у ширину;
3.7 Умови експлуатації: робоча температура від -20 °C до +30 °C, висока стійкість до вологи, пилу та бруду.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 4.1 Вступ;
4.2 Аналіз способів очищення сонячних панелей;
4.3 Аналіз існуючих системи очищення СП;
4.4 Розробка очищувальної системи;
4.5 Побудова кресленика та 3D-моделі;
4.6 Розробка схеми у середовищі Tinkercad, створення алгоритму роботи очищувальної системи; 4.7 Заходи з охорони праці; 4.8 Висновки.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 64 с., 4 табл., 27 рис., 4 дод., 16 джерел.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА,
СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, АВТОМАТИЗОВАНЕ ОЧИЩЕННЯ,
3D-МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОГРАМУВАННЯ.

Мета роботи – покращення процесу очищення сонячних панелей за рахунок розробленої модельної системи, підвищення якості очистки та мобільності.

Об'єкт розробки – процес автоматизованого очищення сонячних панелей.

Предмет розробки – програмно-апаратна реалізація автоматизованого робота для очищення сонячних панелей.

Дана кваліфікаційна робота пропонує розробку автоматизованої системи для очищення сонячних панелей, що базується на сучасних принципах мехатроніки та робототехніки. Система використовує автоматизовані алгоритми для адаптації до різних режимів забруднення та змінних умов навколишнього середовища, що дозволяє максимізувати продуктивність сонячних панелей без постійного людського втручання.

У ході роботи проведено детальний аналіз існуючих методів та технологій очищення сонячних панелей, їх ефективності та можливостей інтеграції в автоматизовані системи. Запропонована система включає комплексні рішення, які поєднують механічні та програмні компоненти для забезпечення максимальної ефективності очищення. Запропонована система має потенціал для широкого застосування, зокрема в домашніх сонячних. Вона не лише підвищує ефективність роботи сонячних панелей, але й знижує витрати на їх обслуговування, сприяючи розвитку стійкої та екологічно чистої енергетики.

ABSTRACT

Explanatory note: 64 p., 4 tabl., 27 fig., 4 adj., 16 sources.

AUTOMATED SYSTEM, SOLAR ENERGY, SOLAR PANEL, AUTOMATED CLEANING, 3D MODELING, PROGRAMMING.

The purpose of the work is to improve the process of cleaning solar panels due to the developed model system, to improve the quality of cleaning and mobility.

The object of development is the process of automated cleaning of solar panels.

The subject of development is software and hardware implementation of an automated robot for cleaning solar panels.

This qualification work aims to develop an automated system for cleaning solar panels based on modern principles of mechatronics and robotics. The system employs automated algorithms that adapt to various pollution levels and changing environmental conditions, maximizing the productivity of solar panels without the need for constant human intervention.

During the course of the work, a detailed analysis of existing methods and technologies for cleaning solar panels was conducted, evaluating their effectiveness and potential for integration into automated systems. The proposed system incorporates comprehensive solutions that combine mechanical and software components to ensure maximum cleaning efficiency. The system has potential for wide application, particularly in home solar installations and large solar farms. It not only enhances the efficiency of solar panel operations but also reduces maintenance costs, promoting the development of sustainable and environmentally friendly energy.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз способів очищення сонячних панелей. Аналіз існуючих системи очищення СП	12
1.1 Сонячні панелі та сонячна енергетика.....	12
1.2 Необхідність очищення сонячних панелей	14
1.3 Аналіз способів очищення сонячних панелей.....	15
1.4 Аналіз існуючих автоматизованих систем очищення СП	19
2 Розробка очищувальної системи. Побудова кресленника та 3D-моделі.....	22
2.1 Вибір необхідних компонентів для створення системи очищення сонячних панелей	22
2.3 Розрахунок моменту згину ворса та визначення супротиву головної щітки	29
2.4 Розрахунок крутного моменту на валу для головного двигуна	31
2.5 Розрахунок часу роботи акумулятора.....	33
2.6 Опис процесу створення автоматизованої системи очищення СП та принцип її роботи.....	35
3 Розробка схеми у середовищі TinkerCAD. Створення алгоритму роботи очищувальної системи.....	44
3.1 Вибір програмного середовища та створення віртуального макету.....	44
3.2 Написання коду та описання алгоритму роботи очищувальної системи..	46
3.3 Аналіз стійкості механічної частини головного двигуна за критерієм Рауса.....	56
3.4 Заходи з охорони праці	58
Висновки	60
Перелік джерел посилання.....	61
Додаток А Програмний код реалізації системи очищення СП	64
Додаток Б Зображення ескізу кресленника двигуна JGB37-520	69

Додаток В Схема електрична принципова розробленої системи.....	70
Додаток Г Демонстраційний матеріал	71

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

СП – сонячна панель;

ФВ – фотовольтаїчний;

PP – polypropylene (поліпропілен).

ВСТУП

У сучасному світі збільшення ефективності використання відновлювальних джерел енергії стає визначним фактором для сталого розвитку. Сонячна енергетика, як невід'ємна частина зеленої енергетики, зазнає стрімких змін завдяки інноваціям у фотовольтаїчних технологіях. Проте, ефективність сонячних панелей значною мірою залежить від їхнього стану та чистоти, особливо в регіонах з високим рівнем забруднення повітря. Частинки пилу та інші забруднювачі, які осідають на поверхні панелей, можуть знижувати ефективність вироблення електроенергії до 30%. Тому, розробка надійних та ефективних систем автоматичного очищення сонячних панелей є важливою задачею, що вимагає глибокого аналізу існуючих технологій і створення нових рішень.

Розвиток автоматизованих очищувальних систем відкриває нові можливості для підвищення ефективності сонячної енергетики. Використання робототехніки та мехатроніки дозволяє створити інтелектуальні рішення, які можуть працювати автономно, мінімізуючи потребу в людському втручанні. Це не тільки знижує витрати на обслуговування, але й підвищує загальну продуктивність установок.

Автоматизовані системи очищення можуть адаптуватися до різних типів забруднень і погодних умов, забезпечуючи надійну та постійну роботу сонячних панелей. Такі системи можуть бути оснащені різними сенсорами та датчиками для виявлення рівня забруднення і автоматичного запуску процесу очищення. Це забезпечує постійну максимальну ефективність вироблення електроенергії, що є критично важливим для економічної доцільності та екологічної стійкості сонячних енергетичних систем.

Мета роботи – покращення процесу очищення сонячних панелей за рахунок розробленої модельної системи, підвищення якості очистки та мобільності.

Об'єкт розробки – процес автоматизованого очищення сонячних панелей.

Предмет розробки – програмно-апаратна реалізація автоматизованого робота для очищення сонячних панелей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих способів очищення панелей;
- проаналізувати існуючі аналоги автоматизованих системи очищення сонячних панелей;
- проаналізувати та обрати необхідні компоненти для створення автоматизованої системи;
- розробити 3D-модель очищувальної системи;
- провести необхідні розрахунки для вибору електронних та механічних компонентів;
- обрати середовище розробки для побудови схеми та реалізації програмного коду розроблюваної системи;
- розробити електричну принципову схему очищувальної системи;
- створити схему підключення віртуального макету;
- створити алгоритм роботи автоматизованої системи;
- розробити програмний код для автоматизованої системи.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [2].

1 АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ СП

1.1 Сонячні панелі та сонячна енергетика

Сонячні панелі, також відомі під назвою фотовольтаїчні модулі, ефективно перетворюють світлову енергію Сонця на електричну через процес, відомий як фотовольтаїчний ефект. Ці модулі складаються з численних сонячних клітин, як правило, виготовлені із кремнію, об'єднаних разом і вмонтованих у стабільні рамки. Їх застосування має широкий спектр – від компактних домашніх установок до обширних сонячних ферм [3].

Сонячна енергія перетворює сонячне світло на електрику або тепло, які можна використовувати для різноманітних потреб. Ця форма енергетики є ключовою, оскільки вона надає відновлювані джерела енергії, які в перспективі можуть стати повністю екологічно безпечними, не створюючи шкідливих відходів. Сонячна енергетика особливо важлива у регіонах з обмеженим доступом до звичайних джерел енергії та високим рівнем сонячного випромінювання, де її застосування є економічно виправданим [4].

На рисунку 1.1 наведено вигляд сонячної електростанції.



Рисунок 1.1 – Приклад сонячної електростанції у Нікополі [5]

У сонячної енергії є позитивні та негативні сторони.

Переваги сонячної енергії:

– це відновлюване джерело енергії, яке не лише знижує рівень викидів вуглекислого газу, але й не виробляє парникових газів, тим самим не забруднюючи навколишнє середовище;

– використання сонячної енергії може значно скоротити витрати на електроенергію. Власники домашніх сонячних панелей часом виробляють більше енергії, ніж використовують, і можуть продавати ці надлишки електрокомпаніям;

– завдяки зеленому тарифу, можна отримувати компенсації за надлишкову енергію, що віддається в загальну мережу;

– наявність сонячних панелей на будинку може підвищити його ринкову вартість, адже енергоефективність є привабливою характеристикою на ринку нерухомості;

– сонячні панелі легкі у встановленні та не потребують значних зусиль для обслуговування, що робить їх зручними для користувачів;

– оскільки сонячні панелі не мають рухомих частин, вони зношуються дуже повільно. Головним завданням власника є лише підтримання їх чистоти та гарного стану;

– сонячні панельні установки ефективні в будь-якому кліматі. Хоча хмарні дні можуть знижувати виробництво енергії, холодна погода не впливає на продуктивність, а взимку світ від сонця відбиваючись від снігу підсилює освітленість панелей [6].

Недоліки сонячної енергії:

– основним мінусом є висока початкова інвестиція, адже встановлення сонячних панелей на дім може бути досить затратним. В умовах ціни на такі технології, багато урядів пропонують стимули у вигляді кредитів або так званих зелених тарифів для заохочення до їх придбання. Період окупності такої установки може становити до 15 років;

- сонячне світло відсутнє вночі, а під час похмурої погоди чи дощу вироблення електроенергії знижується, тому сонячна енергія не завжди може бути основним джерелом електроенергії;
- високі витрати на установку та обслуговування сонячних панелей можуть відлякувати споживачів. Стабілізація постачання сонячної енергії і необхідність її зберігання можуть значно підвищити загальну вартість використання цієї технології [7].

1.2 Необхідність очищення сонячних панелей

Очищення сонячних панелей відіграє важливу роль у забезпеченні їхньої ефективності та довговічності. Коли панелі вкриваються пилом, листям або іншими забруднювачами, це може блокувати сонячне світло, яке має потрапляти на фотоелементи, що в свою чергу знижує ефективність вироблення електроенергії.

Наприклад, у сухих регіонах, де рівень пилу високий, регулярне очищення панелей вкрай необхідне, бо пил може дуже швидко накопичуватися на поверхні панелей. Це не тільки зменшує кількість виробленої електричної енергії, але й може призвести до швидшого зносу самої панелі.

Крім того, дотримання рекомендацій виробників щодо утримання чистоти сонячних панелей може бути обов'язковим для підтримання гарантій. Це означає, що якщо панелі не очищатимуться належним чином, можливо, доведеться витратити більше коштів на ремонт або заміну пошкоджених панелей.

Але економічний аспект теж важливий. Чисті панелі забезпечують більш високу продуктивність, що означає більший вихід енергії та, відповідно, більшу віддачу від інвестиції у сонячні технології.

Таким чином, для підтримки максимальної ефективності та довговічності сонячної установки, регулярне та ретельне очищення є важливою складовою управління сонячними панелями.

1.3 Аналіз способів очищення сонячних панелей

З метою зменшення кількості викидів таких газів, як вуглекислий газ (CO_2), діоксид сірки (SO_2), закис азоту (NO_2), чадний газ (CO), які викидаються підприємствами у повітря, компанії переорієнтовуються на відновлювані джерела енергії для виробництва електроенергії. Ці ресурси не залежать від рухомих частин, а тому при їх використанні не виникає викидів частинок у повітря. Вони екологічно чисті, адаптовані до різних природних умов та геологічних зон, і не потребують великих витрат на обслуговування, або воно може бути невеликим за вартістю. Саме тому промислові підприємства будують великі фотовольтаїчні електростанції по всьому світу [8].

На сьогодні основним методом видалення забруднень з поверхонь сонячних панелей є їх очищення за допомогою води або миючого розчину. Ця техніка вимагає значних зусиль та витрат, включаючи воду, що може призвести до великих експлуатаційних витрат. Особливо це стає проблемою в регіонах з високою сонячною активністю, де ресурси води обмежені, роблячи вологе очищення не лише дорогим, але й потенційно шкідливим.

Окрім звичайного ручного очищення, існує чимало інших способів досягнення чистоти поверхні. Зображення з методами очищення наведено на рисунку 1.2.

Перша техніка очищення включає концепцію електричної завіси, електростатичне очищення та електродинамічний щит. Концепція електричної завіси базується на застосуванні електричної хвилі, що формує рухомих хвилю, яка перешкоджає осіданню частинок на модулі СП, завдяки чому поверхня панелі залишається зарядженою постійно, але це може бути небезпечно під час дощових днів [8].



Рисунок 1.2 – Методи очищення поверхні сонячної панелі

Електростатичне очищення (рис. 1.3), яке використовує електростатичні хвилі для видалення пилу з панелі, зараз ця система перебуває у стадії розробки. Це майбутнє очищення сонячних панелей, оскільки воно не містить жодних рухомих механічних частин, може працювати в автоматичному режимі, має дуже низьке енергоспоживання і не вимагає витратних матеріалів. Ця система включає підключення багатофазної високої напруги до прозорої транспортерної пластини, яка складається з електродів індій-олов'яного оксиду, розташованих паралельно. Вони використовуються для нанесення на скляну основу, створюючи електростатичну подорожню хвилю на скляній пластині, а електростатична сила переміщає малі частинки бруду на пластині в одному напрямку. Однак одним з обмежень є те, що його не можна інтегрувати у вже існуючі сонячні електростанції. Тому для подолання цього обмеження промисловість розробляє обладнання для електростатичного очищення з низькою початковою вартістю, яке також споживає менше енергії [9].

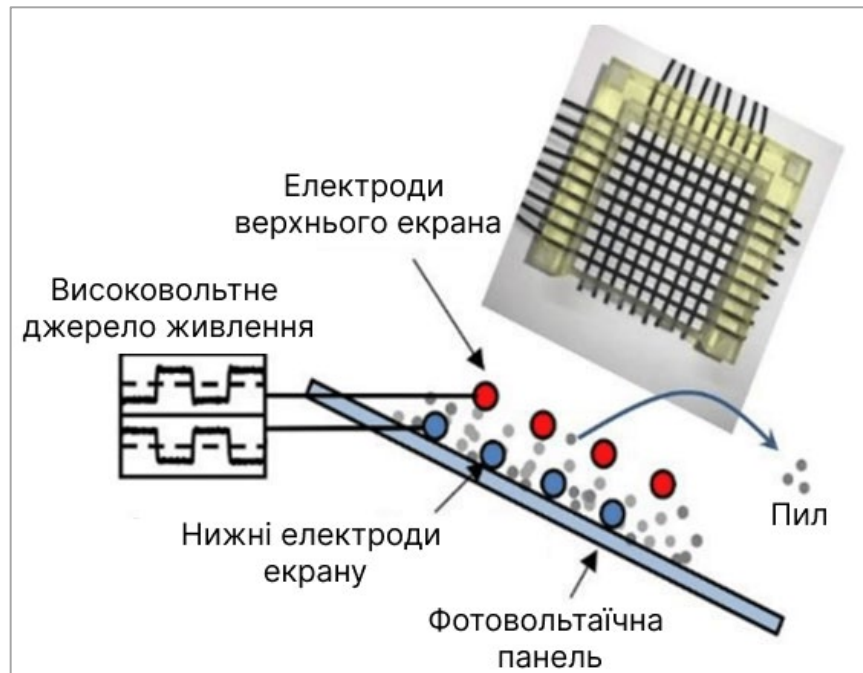


Рисунок 1.3 – Електростатичний спосіб очищення [9]

Друга техніка очищення включає роботів, ручну працю, щітки тощо (рис. 1.4). Такий спосіб потребує багато налаштувань та конструкцій. У цьому випадку людина може використовувати автоматичний механізм видалення пилу зі склоочисника для сонячної панелі. Це призводить до збільшення виходу енергії на 1,6 % до 2,1 % за рахунок регулярного очищення. Ще один варіант – роботи на базі розпилювачів, але основний недолік полягає в тому, що користувачеві потрібна велика кількість води [8].

Очищення за допомогою щіток – це механічний метод, який використовується для невеликих установок, але збільшує використання енергії. Цю стратегію не можна використовувати там, де інтенсивність пилу надзвичайно висока, оскільки потрібне обслуговування модулю і є ризик пошкодження сонячної панелі.

Ще один механічний метод – обдування повітрям. Ця методика не працює там, де потрібно очистити органічний пил з поверхні панелі.



Рисунок 1.4 – Приклад механічного очищення [11]

На сьогодні існує ще метод ультразвукових вібрацій. У цьому методі використовуються вібрації у діапазоні від 80 кГц до 100 кГц, які подаються на панель за допомогою перетворювача. Іншими словами, використовується п'єзоелектричний ефект для забезпечення ультразвукового самоочищення панелі [10].

Третя техніка включає в себе методи надгідрофільного та надгідрофобного покриття. У надгідрофільному методі використовується діоксид титану (TiO_2). Його використовують як матеріал покриття для створення гідрофільної поверхні. Він руйнує органічний пил під дією фотокаталітичного ефекту, використовуючи ультрафіолетову енергію та невелику кількість води [10].

У методі надгідрофобного очищення використовується ефект лотоса, за яким крапля води збирає з поверхні велику кількість пилу. Таке покриття має властивості, що відштовхує воду, забезпечуючи низький кут контакту крапель води.

1.4 Аналіз існуючих автоматизованих систем очищення СП

На сьогоднішній день існує багато роботів, автоматизованих систем, пристроїв, які використовуються для автоматичного очищення поверхні сонячних панелей. Як було написано вище – у цих систем механічний спосіб очистки.

Більшість автоматизованих систем очищення використовують механічні рухомі частини, такі як щітки або валики, які переміщуються по поверхні панелей, забезпечуючи видалення пилу та бруду. Системи можуть бути оснащені датчиками, які визначають ступінь забруднення і активують процес очищення за необхідності. Такі системи можуть бути автоматизовані для регулярної роботи без людського втручання, що знижує вартість та час, необхідний для обслуговування установок. Використання мікроконтролерів, як Arduino, дозволяє здійснювати контроль та управління процесами очищення з використанням бездротових технологій. Один з таких аналогів наведено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Автоматизований робот для очищення панелей Multifit [12]

Multifit – це робот від компанії Vmaxpower, який призначений для очищення сонячних панелей, що забезпечує високу ефективність з можливістю автоматизації процесів. Робот оснащений інтелектуальною системою керування та здатен автоматично запускатись та зупинятись. Використовуючи енергію від власних сонячних панелей, робот може працювати незалежно до 10 годин. Його особливості включають легкість у транспортуванні і довговічність. Робот має захист IP65, що робить його стійким до води і пилу.

Ще одним прикладом є роботизована система від компанії NuCleaner, під назвою solarROBOT pro (рис. 1.6).

Фотоелектричний робот-прибиральник solarROBOT pro – це спеціаліст із швидкого та економічного очищення великих фотоелектричних дахових і наземних систем площею від 2000 м².

Модульну сонячну очисну машину можна зібрати без інструментів і вона готова до використання всього за кілька простих кроків. Потім ним керують із безпечної відстані за допомогою пульта дистанційного керування.

Інтегрований автоматичний привід дозволяє роботу-прибиральнику самостійно очищати панелі. Між тим, виявлення країв із датчиками захисту від падіння забезпечує максимальну безпеку, тому машина автоматично зупиняється коли досягає краю сонячної поверхні.

Завдяки спеціальній конструкції щітки, очищення здійснюється без додавання будь-яких хімічних добавок або засобів для чищення [13].

Головна різниця цих двох систем полягає у енергоефективності, живлення, методом очищення та області їх застосування.



Рисунок 1.6 – Робот-прибиральник solarROBOT pro [13]

Робот Vmaxpower працює за допомогою генератора потужністю 90В, акцентуючи на енергоефективності та низькому споживанні енергії. Це забезпечує довготривалу автономну роботу пристрою, що особливо корисно для віддалених або великих сонячних ферм. HyCleaner не вказує конкретної потужності, але зосереджує увагу на масштабах операцій, що може свідчити про більшу потужність та можливість обслуговування великих сонячних парків.

Робот Vmaxpower оснащений обертовою щіткою та системою інтелектуального керування, це дозволяє ефективно усувати забруднення без необхідності ручного втручання. На відміну від першого, робот від компанії HyCleaner більш маневрений. Завдяки його мобільності, він може більш ретельно підходити до очищення різних типів сонячних панелей.

2 РОЗРОБКА ОЧИЩУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ. ПОБУДОВА КРЕСЛЕНИКА ТА 3D-МОДЕЛІ

2.1 Вибір необхідних компонентів для створення системи очищення сонячних панелей

В даній роботі будуть використані елементи, які наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні необхідні елементи для створення розроблюваної системи

Назва	Кількість, шт.
Arduino Uno	1
Датчик HC-SR04	2
Двигун постійного струму JGB37-520-068	2
Щітка для очищення сонячних панелей	1
Драйвер двигуна DRV8833	2
Насос для рідини	1
Гумові колеса	8

Arduino Uno є популярною платформою, яку часто вибирають для реалізації навчальних проєктів та хобі-ініціатив, показана на рисунку 2.1. Ця плата базується на мікроконтролері ATmega328P і оснащена достатньою кількістю портів входу-виходу, щоб задовольнити потреби більшості початкових проєктів. Плата може отримувати живлення як через USB, так і через зовнішній адаптер, це робить її надзвичайно зручною для різноманітних задач.

Завдяки великій глобальній спільноті користувачів та наявності широкого спектру ресурсів, бібліотек та підтримки, Arduino Uno вважається гарним варіантом для тих, хто шукає можливість швидко та ефективно реалізовувати технічні та електронні ідеї.

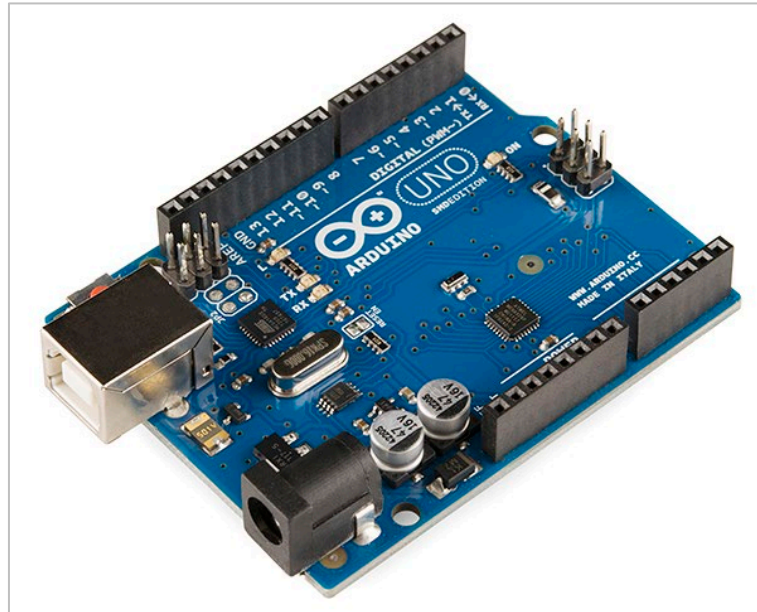


Рисунок 2.1 – Зображення мікроконтролера Arduino Uno

Датчик HC-SR04 використовується у багатьох проєктах завдяки своїм ультразвуковим дальномірним здібностям, він показаний на рисунку 2.2. Цей пристрій вимірює відстані до об'єктів шляхом випромінювання ультразвукових хвиль, які, досягнувши цілі, відбиваються назад до датчика.

Часовий інтервал між моментом відправлення сигналу та моментом його повернення аналізується для точного визначення відстані до об'єкта. Ефективність цього процесу дозволяє HC-SR04 визначати відстані від 2 см до 400 см, забезпечуючи при цьому високу точність вимірювань, цей датчик має широкий спектр застосувань у робототехніці та автоматизованих системах контролю.



Рисунок 2.2 – Зображення датчика HC-SR04

Двигун JGB37-520-068 – це планетарний редукторний двигун постійного струму з високим крутним моментом (рис. 2.3), який може працювати на напругах 6 В, 12 В або 24 В. Він забезпечує широкий діапазон швидкостей від 7 об/хв до 960 об/хв, це робить його дуже гнучким для використання в різних проектах. Його конструкція з планетарним редуктором дозволяє досягати високих крутних моментів при невеликому габариті та вазі, тому цей двигун є ідеальним для робототехніки, автоматизації та інших інженерних застосувань. Така конфігурація забезпечує високу ефективність та надійність у роботі. В проєкті використовується для обертання щітки, що очищує поверхню СП. Характеристики двигуна наведені у таблиці 2.2.



Рисунок 2.3 – Зображення двигуна JGB37-520-068

Таблиця 2.2 – Характеристики двигуна JGB37-520-068

Характеристика	Значення
Крутний момент	2,30 кг · см
Діаметр	37 мм
Довжина корпусу	70 мм
Оберти за хвилину	46
Напруга	6 В
Потужність	3,6 Вт
Короткочасні навантаження	9,2 кг · см

Для руху конструкції, було обрано теж самий вид двигуна, але з іншими характеристиками які наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики головного двигуна JGB37-520-068

Характеристика	Значення
Крутний момент	10 кг · см
Діаметр	37 мм
Довжина корпусу	70 мм
Оберти за хвилину	9,6
Напруга	6 В
Потужність	3,6 Вт
Короткочасні навантаження	40 кг · см

Далі було обрано щітку, яка спеціально призначена для ефективного очищення фотовольтаїчних панелей без ризику їх пошкодження (рис. 2.4). Щітка має алюмінієву трубку та пластиковий корпус зі спіральною головкою, яка дозволяє дбайливо очищати поверхню. Ворс щітки може бути налаштований за

товщиною від 0,15 мм до 0,3 мм. Довжина щітки залежить від розмірів панелей та виготовляється за замовленням.



Рисунок 2.4 – Зображення щітки для очищення СП

DRV8833 – це компактний двоканальний моторний драйвер, який може керувати двома двигунами постійного струму або одним кроковим двигуном (рис. 2.5). Виготовлений компанією Texas Instruments, він підходить для проектів, де необхідно компактне і ефективне управління двигунами. DRV8833 може працювати з напругою від 2,7 В до 10,8 В, що робить його ідеальним для багатьох портативних застосувань у робототехніці.

Він може підтримувати струм до 1,5 А на канал, з можливістю короткочасного підвищення до 2 А, що забезпечує достатню потужність для більшості невеликих і середніх двигунів.

Однією з ключових особливостей DRV8833 є його здатність до автоматичного виявлення помилок, таких як перегрів, перевантаження по струму та коротке замикання. Це значно підвищує надійність пристрою та захищає як драйвер, так і двигун від можливих пошкоджень.

Драйвер має два режими управління: незалежний і паралельний, які дозволяють гнучко налаштувати управління двигунами в залежності від потреб проекту. Налаштування керуються через логічні сигнали, що робить його легко інтегрувати з різними мікроконтролерами та іншими системами управління.

DRV8833 також оснащений вбудованою захистом від зворотної полярності, що є важливою функцією для збереження цілісності системи при помилковому підключенні живлення.

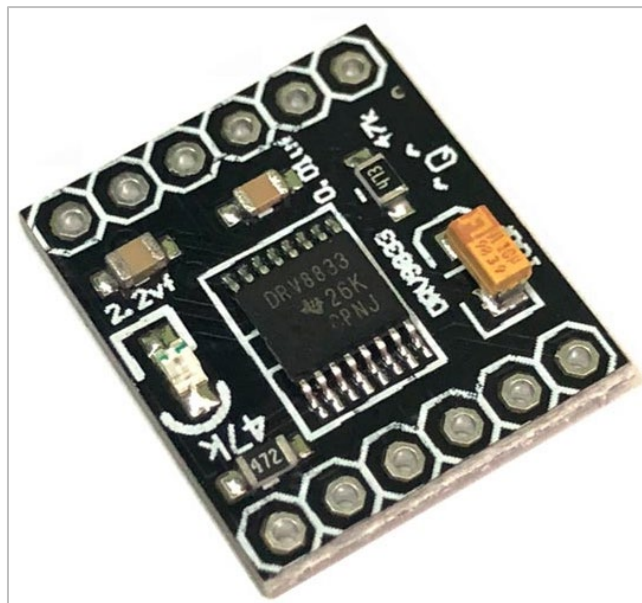


Рисунок 2.5 – Зображення драйвера DRV8833

Для конструкції було вибрано звичайні гумові колеса з якісною протекторною поверхнею. Одне з коліс зображено на рисунку 2.6. Кожне колесо має діаметр 45 мм і оснащено підшипником з діаметром 8 мм.



Рисунок 2.6 – Зображення гумового колеса

Для подачі рідини був обраний звичайний міні-мікро занурювальний водяний насос (рис. 2.7). Він має низьке енергоспоживання та високу продуктивність. Підходить для використання різних типів рідини. Характеристики насоса наведені у таблиці 2.4.



Рисунок 2.7 – Зображення обраного водяного насосу

Таблиця 2.4 – Характеристики занурювального водяний насосу

Розмір	43 мм у довжину та 23 мм у ширину
Вихід води	3 л/хв
Номінальна напруга	5 В
Потужність	2 Вт
Робоча температура	Від 20 °С до 50 °С

2.3 Розрахунок моменту згину ворса та визначення супротиву головної щітки

Розрахуємо момент згину ворса щітки при роботі двигуна. Основною метою проведення цих розрахунків – є визначення сили супротиву ворсинок щітки, при обертанні, на сонячну панель у процесі її очищення. Це необхідно для забезпечення оптимальної ефективності та тривалого терміну служби у реальних умовах експлуатації.

Дані які знадобляться для розрахунків:

- кут нахилу ворсинки 40°;
- кількість ворсинок приблизно 6000 штук;
- радіус однієї ворсинки 0,4 мм;
- матеріал ворсинки поліпропілен (PP).

Спочатку потрібно визначити момент інерції для круглого перерізу за формулою (2.1):

$$I = \frac{\pi r^4}{4}, \quad (2.1)$$

де r – радіус ворсинки, м.

Отже момент інерції буде дорівнювати:

$$I = \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi(0,0004)^4}{4} \approx 2,654 \cdot 10^{-14} \text{ м}^4.$$

Далі потрібно визначити згинаючий момент. Його можна знайти за формулою (2.2):

$$M = E \cdot I \cdot a, \quad (2.2)$$

де a – це кутове відхилення, рад;

E – модуль пружності матеріалу, Па;

I – момент інерції, м.

Кут нахилу a (рад), буде дорівнювати $40 \cdot \frac{\pi}{180} \approx 0,7$ рад. Матеріал ворсинки звичайний пластик PP. Його модуль пружності становить приблизно 1,5 ГПа ($1,5 \cdot 10^9$ Па). Підставивши дані у формулу (2.2) отримаємо наступне:

$$M = 1,5 \cdot 10^9 \cdot 2,654 \cdot 10^{-14} \cdot 0,7 \approx 2,13 \cdot 10^{-5} \text{ Нм.}$$

Для шести тисяч ворсинок, момент буде дорівнювати:

$$M = 2,13 \cdot 10^{-5} \cdot 6000 = 0,132 \text{ Нм.}$$

При виборі двигуна важливо враховувати коефіцієнти запасу, щоб забезпечити надійність та довговічність системи. Ці коефіцієнти можуть змінюватись в залежності від конкретного додатку та умов роботи. В даному розрахунку були обрані коефіцієнти запасу за моментом і коефіцієнт запасу за потужністю.

Коефіцієнт запасу за моментом може бути від 1,2 В до 1,7 В. В даних розрахунках було обрано коефіцієнт 1,3. Цей запас дозволяє двигуну справлятися з можливими піковими навантаженнями та збільшує його термін служби.

Коефіцієнт запасу за потужністю становить 1,2. Це гарантує, що двигун не працюватиме на межі своїх можливостей, що знижує ризик перегріву та механічних пошкоджень.

Отже враховуючи всі коефіцієнти, загальний згинаючий момент опору для щітки із зазначеними параметрами становить близько $0,132 \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 0,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Це значення вказує на загальну жорсткість щітки при заданому навантаженні та матеріалі ворсинок. Тому обраний двигун за своїми характеристиками та проведеними розрахунками є дієвим вибором і підходить для виконання своєї задачі – очищати сонячну панель від забруднення.

2.4 Розрахунок крутного моменту на валу для головного двигуна

Для того щоб обрати потрібний двигун – визначимо необхідний крутний момент на валу цього двигуна. Даними для розрахунку буде загальна вага конструкції, яка становить 15 кг, діаметр колеса 45 мм, коефіцієнт тертя вологої гуми до алюмінію – 0,2.

Розрахунок крутного моменту за формулою (2.3):

$$\tau = F \cdot r, \quad (2.3)$$

де F – сила тертя, Н;

r – радіус колеса, м.

Сила тертя розраховується за формулою (2.4):

$$F = \mu \cdot W, \quad (2.4)$$

де μ – коефіцієнт тертя;

W – вага конструкції, кг.

При розрахунку сили тертя потрібно зазначити, що вагу конструкції потрібно враховувати з прискоренням вільного падіння $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Отже сила буде дорівнювати:

$$F = 0,2 \cdot (15 \cdot 9,8) = 29,4 \text{ Н.}$$

Далі розрахуємо крутний момент за формулою (2.3):

$$\tau = 29,4 \cdot 0,0225 = 0,662 \text{ Н} \cdot \text{м} = 6,75 \text{ кг} \cdot \text{см.}$$

Також розрахуємо момент супротиву допоміжної щітки, яка кріпиться по боках робота і використовується для очищення поверхні СП від залишків рідини.

Вага однієї гумової щітки становить 350 г. Отже, знайдемо силу супротиву за формулою (2.5).

$$F = \mu \cdot N, \tag{2.5}$$

де μ – коефіцієнт тертя;

N – сила нормальної реакції, Н.

Сила супротиву буде дорівнювати:

$$F = \mu \cdot N = 0,2 \cdot 0,35 = 0,07 \text{ Н.}$$

Далі розрахуємо момент супротиву за формулою (2.3):

$$\tau = F \cdot r = 0,07 \cdot 1,75 = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{см.}$$

Знайдемо загальний момент супротиву:

$$\tau = 6,75 + 0,12 + 1,3 = 8,17 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

З урахуванням коефіцієнту запасу за моментом та коефіцієнту запасу за потужністю крутний момент буде дорівнювати $8,17 \cdot 1,5 \cdot 1,3 = 15,9 \text{ кг} \cdot \text{см}$.

За результатами розрахунків можна зробити висновок, що крутний момент занадто великий ніж у обраного типу двигуна ($10 \text{ кг} \cdot \text{см}$ номінальний режим), але треба враховувати, що коли конструкція починає свій рух – момент двигуна буде залежить від початкових короткочасних навантажень, які у даного двигуна дорівнюють $40 \text{ кг} \cdot \text{см}$. Отже цей двигун підходить для використання у розробки системи очищення СП.

2.5 Розрахунок часу роботи акумулятора

Для створення високоефективної і надійної системи живлення для розроблюваної системи на базі Arduino, яка включає в себе два двигуни, один насос та два ультразвукові датчики HC-SR04, важливо здійснити ретельний вибір джерела живлення. Це забезпечить стабільну та тривалу роботу усіх компонентів системи, особливо з огляду на їх споживання енергії та вимоги до напруги.

Для розрахунку часу роботи батареї для кожного двигуна, потрібно знати ємність батареї, виміряну в ампер-годинах (А·год). Спочатку визначено струм споживання кожного двигуна, а потім дізнаємось ємність батареї, щоб з'ясувати, скільки часу двигун може працювати до розрядження акумулятору.

За формулою (2.6) визначимо струм, який споживає пристрій:

$$I = \frac{P}{V}, \quad (2.6)$$

де P – потужність, Вт;

V – напруга, В.

Після того, як було визначено струм, ємність можна розрахувати за формулою (2.7).

$$C = T \cdot I, \quad (2.7)$$

де T – час, год;

I – струм, А.

Розрахунок споживання струму насосу при 5 В та 2 Вт за формулою (2.6):

$$I_1 = \frac{P}{V} = \frac{2}{5} = 0,4 \text{ А.}$$

Розрахунок споживання струму двигуна при 6 В та 3,6 Вт за формулою (2.6):

$$I_2 = \frac{P}{V} = \frac{3,6}{6} = 0,6 \text{ А,}$$

$$I_2 = I_3 = 0,6 \text{ А.}$$

Розрахунок споживання струму датчиків сонару. Кожен сонар HC-SR04 споживає близько 15 мА під час роботи. З двома датчиками споживання буде дорівнювати:

$$I_s = 2 \cdot 0,015 = 0,03 \text{ А.}$$

Модуль Arduino Uno споживає близько 50 мА у стані спокою та може споживати до 200 мА під навантаженням. Загальне споживання:

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 + I_s + I_a = 1,83 \text{ А.}$$

Батарея повинна мати достатню ємність, щоб забезпечити роботу системи протягом трьох годин безперервної роботи. Розрахуємо мінімально-потрібну ємність за формулою (2.7):

$$C = T \cdot I = 3 \cdot 1,83 = 5,49 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

За результатами розрахунків було обрано акумулятор ДАНУА (рис. 2.8) з 4 В та ємністю 6 А·год. Дана батарея буде встановлена в кількості двох штук з послідовним з'єднанням, що забезпечить безпечне електроживлення для Arduino.

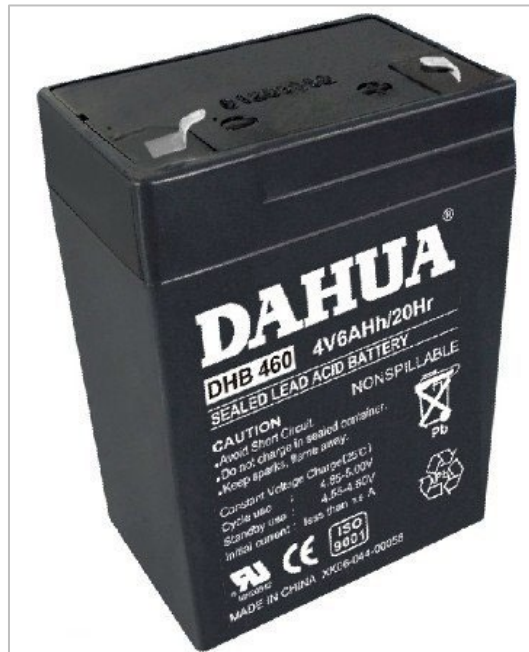


Рисунок 2.8 – Зображення акумулятора ДАНУА DHB 460

2.6 Опис процесу створення автоматизованої системи очищення СП та принцип її роботи

Створено тривимірну модель проєктованої системи за допомогою AutoCAD, високоякісного інструмента для комп'ютерного проєктування, який розробила та розповсюджує компанія Autodesk.

Програмне середовище AutoCAD дозволяє створювати високодеталізовані двовимірні та тривимірні моделі з надзвичайною точністю, і включає широкий спектр функцій для моделювання, анування, вимірювання та креслення. Крім того, AutoCAD оснащений розширеними інструментами для візуалізації, що надають змогу користувачам переглядати свої проекти у різноманітних перспективах і контекстах, що допомагає глибше зануритися у процес проектування та деталізації.

Принцип дії цієї конструкції базується на автоматичному переміщенні по поверхні каркасу сонячної панелі та очищенні її від будь-якого роду забруднень, як зазначено на рисунку 2.9. Ця очищувальна система активується за допомогою натискання спеціальної кнопки, яка подає напругу до Arduino. Потім треба натиснути ще одну кнопку, яка запустить систему. Після активації, двигун щітки має декілька секунд на розгін до потрібних обертів.

Зазвичай, цей процес займає від 2 с до 3 с, після чого сама конструкція починає свій рух вздовж панелі.

Така система розроблена спеціально для очищення невеликих домашніх сонячних установок, що зазвичай монтуються на дахах будівель і містять від 6 до 48 сонячних панелей, кожна з яких має розміри 1650 мм у довжину та 1000 мм у ширину. Швидкість переміщення конструкції становить 0,022 м/с, що дозволяє роботу ефективно очистити одну панель приблизно за 1,22 хв. Таким чином, для очищення 12 панелей роботу знадобиться близько 14,7 хв.

Цей робот має такі габаритні розміри: довжина становить 1117 мм, ширина – 250 мм, а висота – 149 мм. Він сконструйований з кількох ключових компонентів, включаючи основну частину та кришку, яка слугує резервуаром для миючої рідини. Також передбачена окрема секція, що містить електричні та механічні елементи, що забезпечують функціонування пристрою.

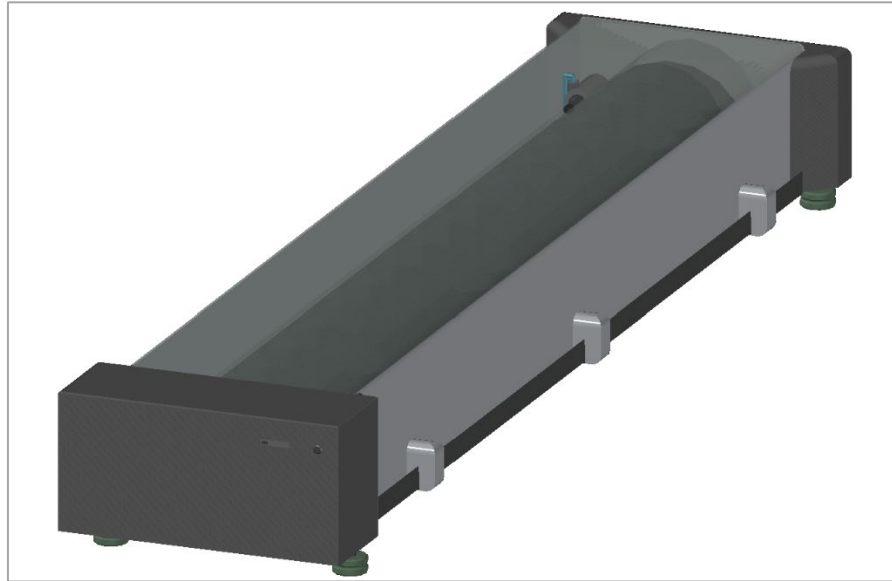


Рисунок 2.9 – Загальний вид автоматизованої системи очищення сонячних панелей

У основному корпусі встановлена щітка, довжина якої досягає 1000 мм з діаметром 120 мм, як показано на рисунку 2.10. Ця щітка ефективно видаляє забруднення з поверхні панелей, забезпечуючи їх чистоту та оптимальну працездатність.

Також, у конструкції головного корпусу робота вбудовані спеціальні допоміжні щітки по боках (рис. 2.9). Ці щітки спроектовані таким чином, щоб запобігти залишенню рідини на поверхні, забезпечуючи чистоту без розводів та зайвої вологи. Принцип дії щіток базується на використанні електромагніту, який регулює їх положення залежно від напрямку обертання коліс. Коли пристрій рухається вперед, задня щітка торкається поверхні, тоді як передня щітка залишається піднятою завдяки магнітному механізму. Така конфігурація реалізована за допомогою простого реле та котушки індуктивності. Коли через котушку проходить електричний струм, вона створює магнітне поле, що піднімає щітку. Відсутність струму призводить до того, що щітка опускається назад на поверхню. Ці щітки також виконують роль додаткових гальм у разі зупинки конструкції.



Рисунок 2.10 – Зображення щітки

У конструкції головного корпусу робота-очищувача вмонтовано чотири колеса, які забезпечують його мобільність по поверхні сонячних панелей, що демонструється на рисунку 2.11. Одне з ходових коліс механічно пов'язане через вал із паралельно розташованим колесом, що дозволяє передавати крутний момент з одного колеса на інше, забезпечуючи ефективний рух робота. Інші два колеса з'єднані між собою основною віссю, що сприяє збільшенню стійкості та міцності всієї конструкції.

Крім того, вісь, яка з'єднує ці колеса, разом із підшипниками, кріпить їх до головного корпусу, що забезпечує надійне утримання коліс і стабільний контакт з будь-яким типом поверхні під час руху робота. Ці особливості конструкції гарантують, що робот може безперешкодно переміщатися та ефективно виконувати свої функції очищення.

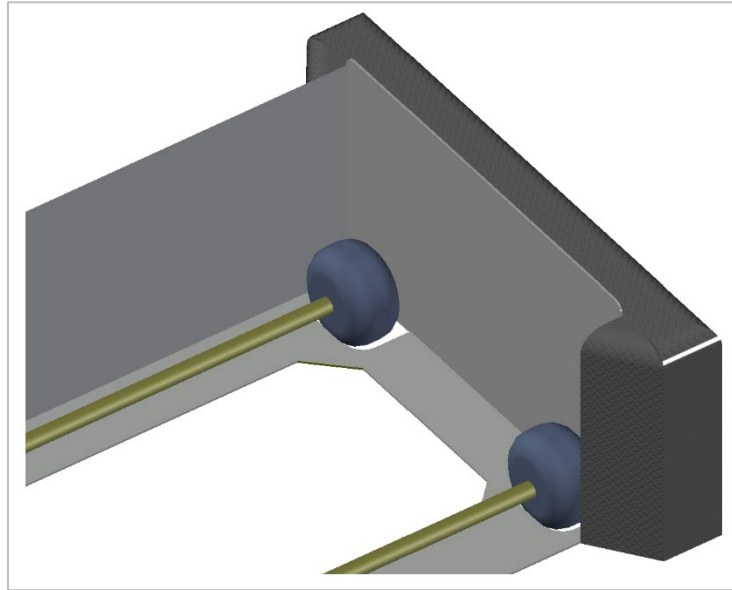


Рисунок 2.11 – Зображення коліс із валом та віссю

Щодо кришки, то вона слугує контейнером для рідини та виготовлена з прозорого полікарбонату, що дозволяє легко перевіряти рівень вмісту без потреби відкривати її, як вказано на рисунку 2.12. Для зручності дозаправлення водою, в кришці передбачений спеціальний отвір, що дозволяє легко і швидко наповнити контейнер при необхідності.

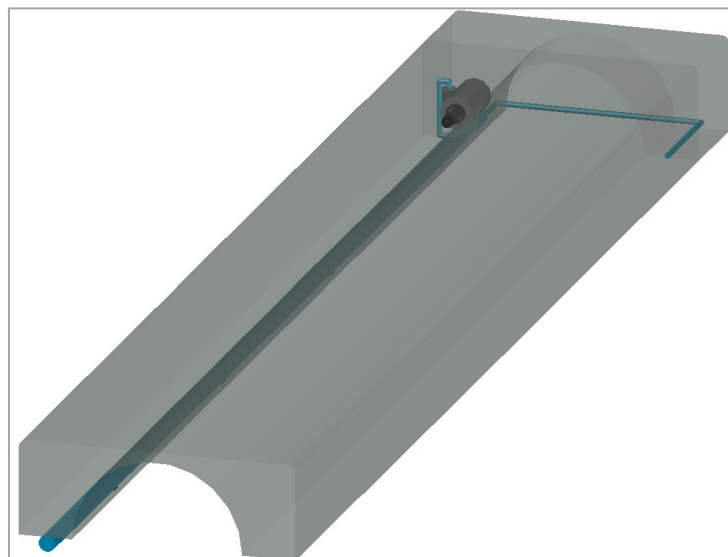


Рисунок 2.12 – Зображення кришки контейнеру

У задній частині контейнера, призначеного для зберігання рідини, встановлено насос, який працює через певні інтервали. Діаметр сопла становить 0,5 мм. Цей насос викачує рідину і, використовуючи тиск, розпилює її на головну щітку, це значно підвищує ефективність процесу очищення, як можна побачити на рисунку 2.13.

Максимальний об'єм цього контейнера становить 4,4 л, це дозволяє вмістити достатню кількість рідини для тривалого використання перед необхідністю її поповнення.

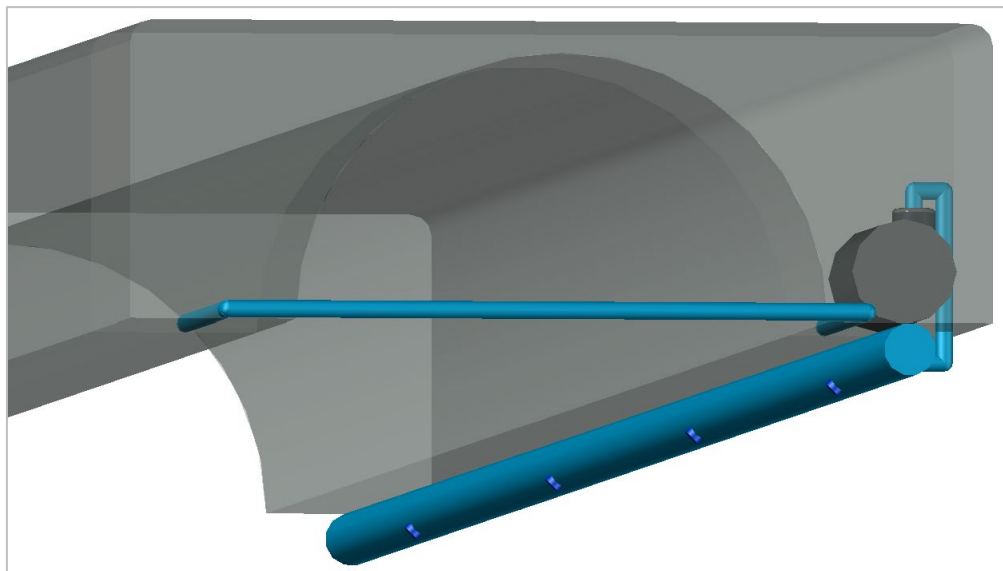


Рисунок 2.13 – Зображення кришки контейнеру

Третьою ключовою складовою робота є контрольний блок, який включає в себе двигуни, батареї, а також герметично захищену коробку для розміщення Arduino та інших електронних компонентів, що ілюстровано на рисунку 2.14. Всі елементи, розташовані в цьому блоку, забезпечені легким доступом ззовні, що значно спрощує процес технічного обслуговування та модернізації компонентів. Передня та верхня частини контрольного блоку з'єднані шляхом зварювання та функціонують як єдині дверцята, які відчиняються для доступу до внутрішніх компонентів робота, що дозволяє легко здійснювати необхідні налаштування або ремонт.

На обох бокових сторонах основного корпусу розміщено чотири додаткові колеса, які функціонують як важливий елемент підтримки для стабілізації конструкції, детальніше показано на рисунку 2.14.

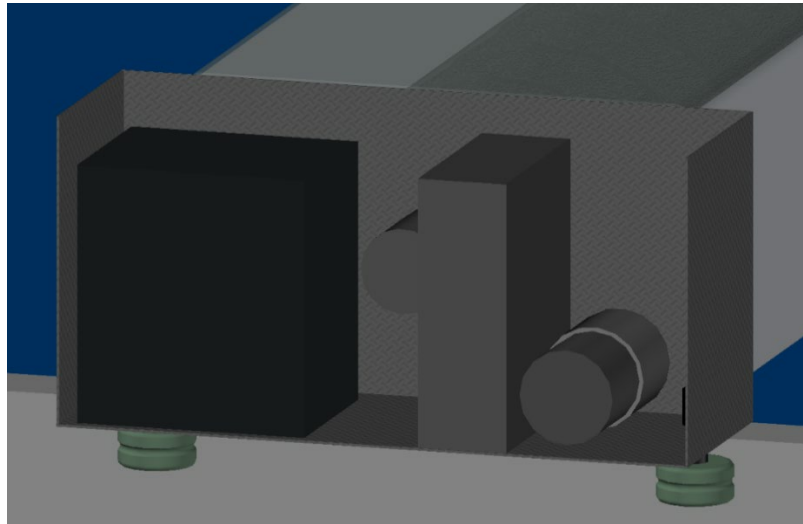


Рисунок 2.14 – Зображення головного командного блоку

Датчики сонару розміщені на бокових сторонах контрольного блоку, що демонструється на рисунку 2.15. Таке стратегічне розташування датчиків є оптимальним для точного моніторингу країв сонячних панелей. Датчик постійно сканує відстань до поверхні сонячної панелі під час руху робота, ця відстань встановлюється як константа. При наближенні робота до краю панелі – відстань від датчика до даху будівлі збільшується. Arduino активує алгоритм для зупинки очищувальної системи, запобігаючи виходу робота за межі панелі. Після зупинки, конструкція прямує в іншу сторону і також зупиняється. Такий алгоритм буде виконуватись 5 разів, де на шостий раз робот зупиниться у початковій точці відправлення. Цей механізм забезпечує високу точність та ефективність у роботі очищувального комплексу.

Дана очищувальна система володіє рядом важливих конструктивних та функціональних особливостей, які забезпечують його ефективність і надійність у роботі. Робот має компактні розміри з легким доступом до внутрішніх компонентів, це значно спрощує процеси обслуговування і ремонту.

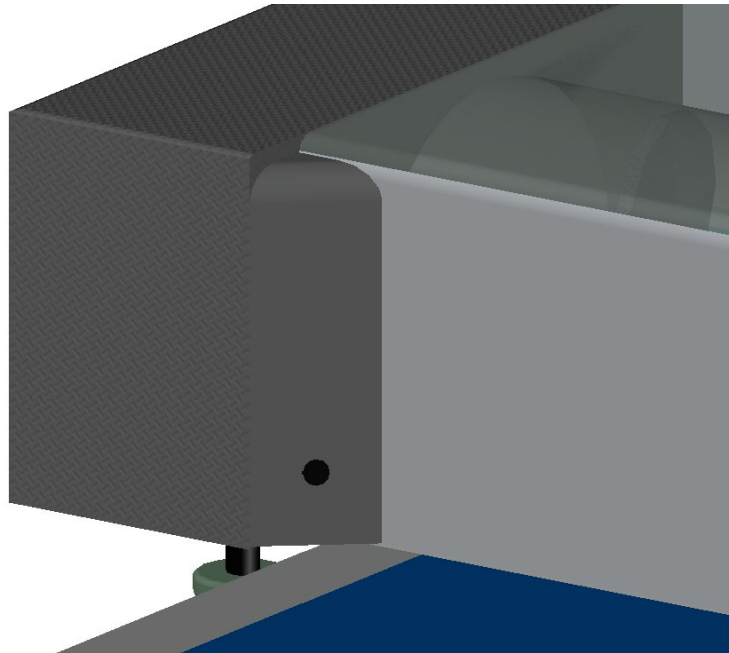


Рисунок 2.15 – Зображення розташування датчику сонару

Дуже важливою є його здатність автоматично переміщатися по поверхні сонячних панелей, використовуючи систему насосу, що розпилює рідину для очищення. Це не лише підвищує автоматизацію робочих процесів, але й дозволяє адаптуватися до різних умов експлуатації. Також важливим є використання датчиків сонару, які встановлені для точного моніторингу країв панелей, а управління через Arduino забезпечує високий рівень контролю та управління процесами.

Крім того, наявність додаткових коліс та міцна конструкція гарантують стабільність робота під час його руху, що є критично важливим для безпечної і надійної роботи на великих сонячних фермах. Ці елементи разом створюють солідну основу для ефективного виконання призначених завдань, забезпечуючи чистоту та оптимальну працездатність сонячних панелей.

Ескіз кресленика у форматі 2D з фронтальної сторони наведено на рисунку 2.16. Зображення розробленої конструкції з видами збоку та зверху наведено на рисунку 2.17.

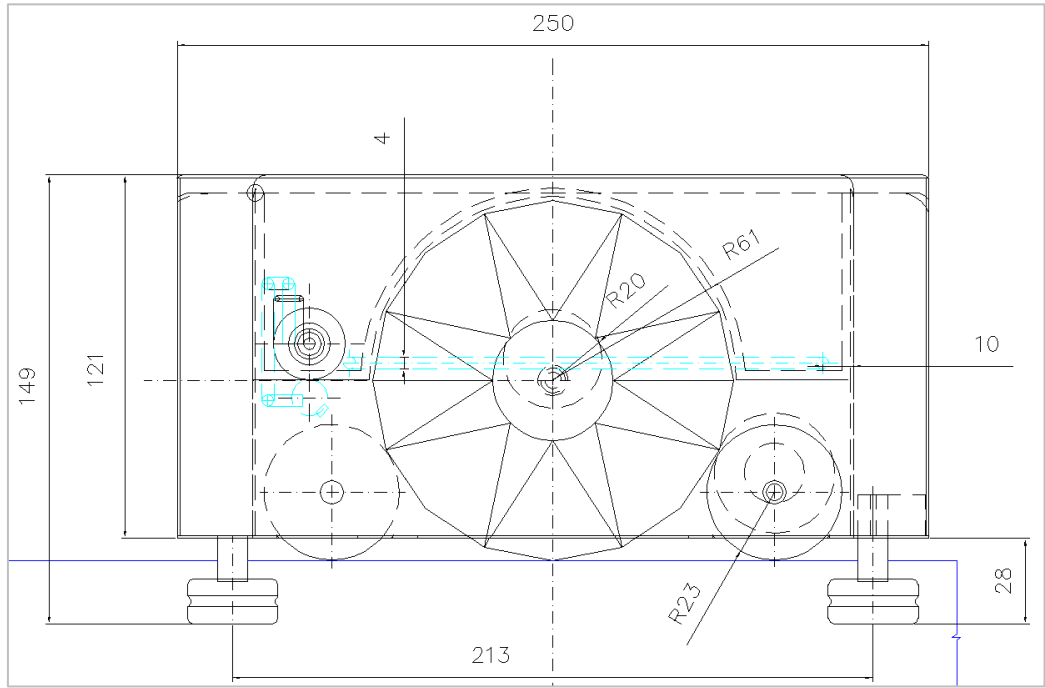


Рисунок 2.16 – Зображення ескізу очищувального робота з фронтальної сторони

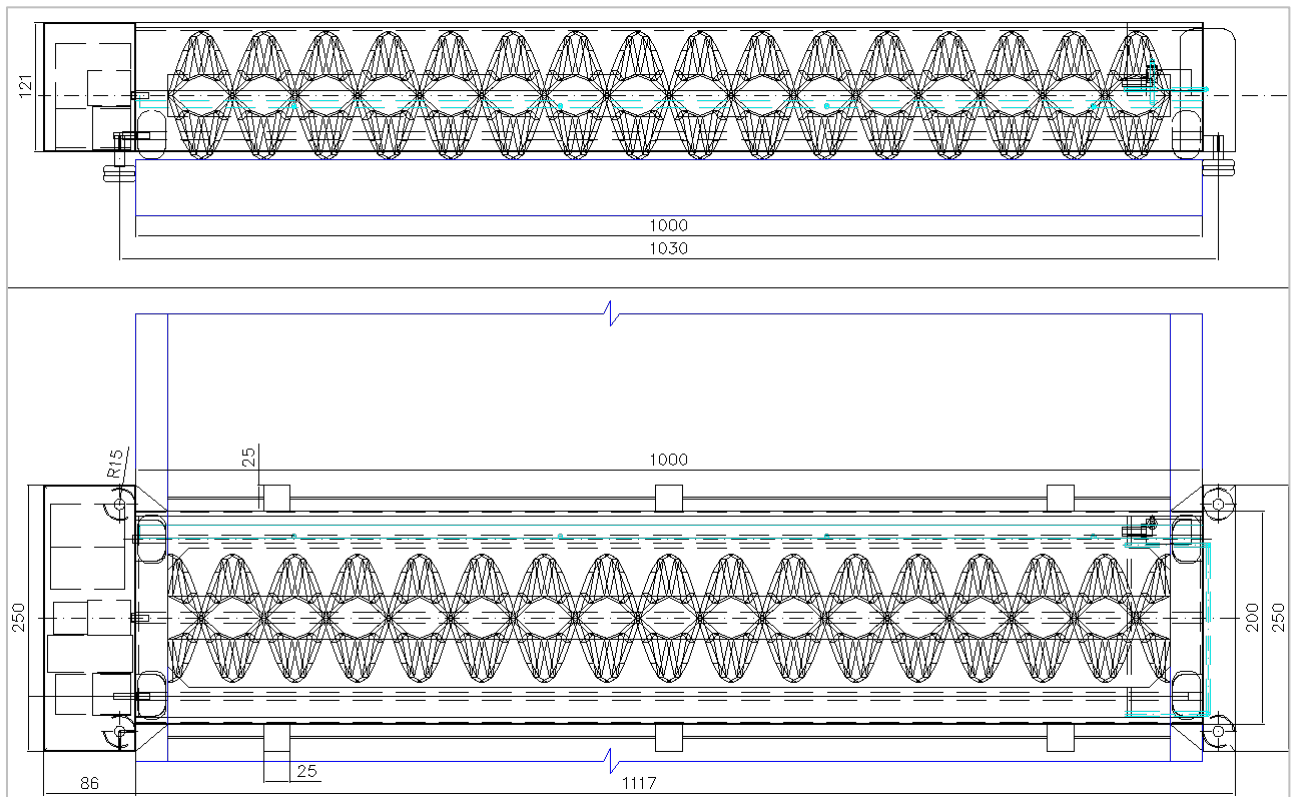


Рисунок 2.17 – Зображення ескізу очищувального робота з боковим видом та видом зверху

3 РОЗРОБКА СХЕМИ У СЕРЕДОВИЩІ TINKERCAD. СТВОРЕННЯ АЛГОРИТМУ РОБОТИ ОЧИЩУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Вибір програмного середовища та створення віртуального макету

Для розробки макету схеми було обрано онлайн середовище Tinkercad. Ця платформа розроблена компанією Autodesk, є значущим інструментом в освітній сфері завдяки своїй доступності та інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу. Ця платформа інтегрує три основні напрямки: 3D-моделювання, електроніку та програмування.

Основою Tinkercad є модуль 3D-моделювання, який дозволяє швидко створювати комплексні тривимірні об'єкти за допомогою простих геометричних форм. Ця функціональність забезпечується за допомогою дружнього до користувача інтерфейсу.

Крім 3D-моделювання, Tinkercad надає можливості для створення та тестування електронних схем. Користувачі можуть зібрати віртуальні електронні схеми, додавши такі елементи, як мікроконтролери, датчики та світлодіоди, і навіть програмувати їх в браузері. Щодо програмування, Tinkercad підтримує як блокове, так і текстове програмування. Це дозволяє вибирати зручний стиль кодування залежно від їх рівня знань та переваг.

Tinkercad також сприяє спільній роботі та діленню проектами, що робить його ідеальним інструментом для колективної роботи в освітньому середовищі. Загалом, завдяки своїй багатофункціональності та доступності, Tinkercad є важливим ресурсом у сфері освіти та науки, зокрема у вивченні основ 3D моделювання, електроніки та програмування.

У рамках розробки системи управління роботом-очищувачем використано платформу Arduino, яка дозволяє інтегрувати різноманітні електронні компоненти та забезпечити необхідну функціональність. Основними компонентами системи є двигуни для приводу коліс та щітки, насос для системи випуску рідини, ультразвукові датчики для вимірювання відстані до перешкод, а також кнопка живлення, яка забезпечує можливість ручного вмикання та вимикання робота (рис. 3.1).

Двигуни робота мають подвійне призначення: один використовується для приводу коліс, інший – для оберту щітки. Вони керуються через драйвер, що дозволяє програмно регулювати їхню роботу, зокрема напрямок обертання. Насос, який входить до складу системи зрошення, також підключено через Arduino.

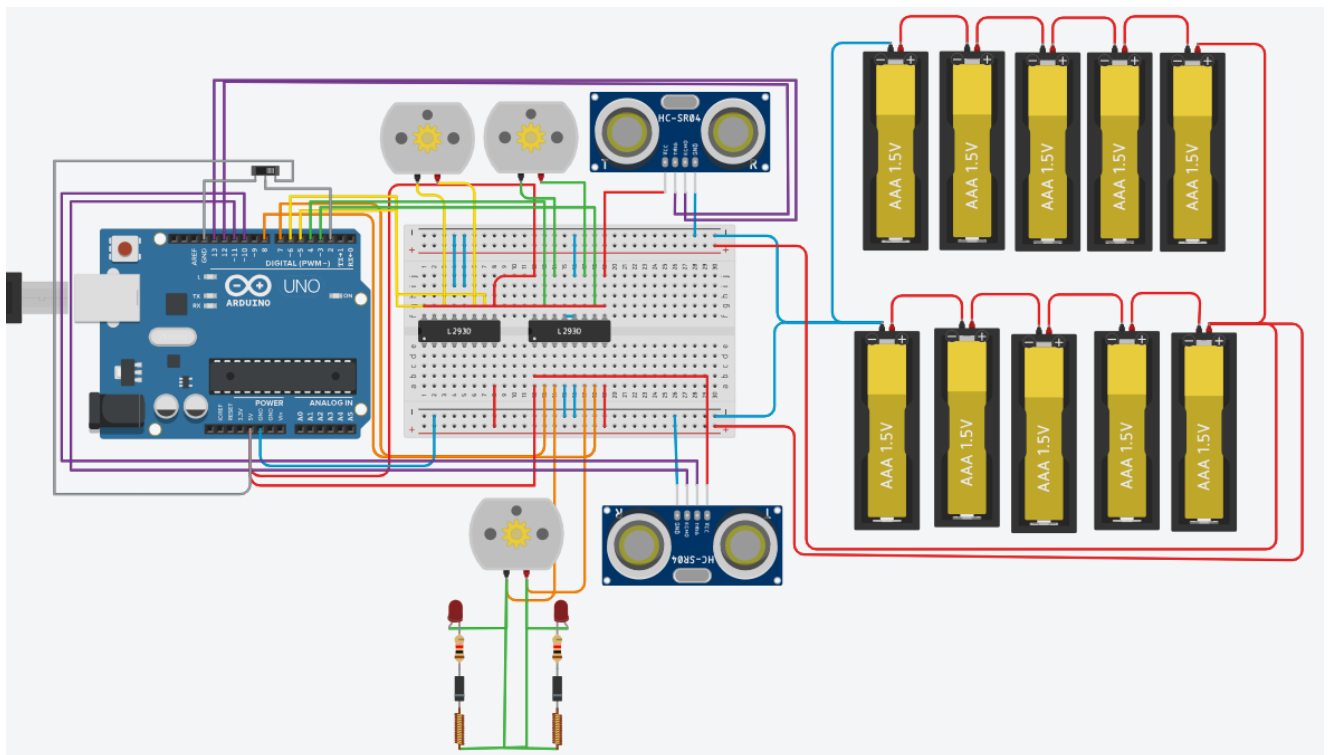


Рисунок 3.1 – Зображення макетну схему робота

Система використовує пару ультразвукових датчиків для сканування перешкод, кожен з яких підключений через два піни на Arduino, що відповідають за відправку та прийом сигналів.

Вони вимірюють відстань від початкової точки до сонячної панелі, та у разі якщо робот дійде до кінця панелі – один з датчиків побачить різницю у відстані та зупинить конструкцію.

Кнопка живлення, підключена через внутрішній підтягуючий резистор до одного з входів Arduino, надає можливість вручну керувати активацією чи деактивацією системи. Це забезпечує додатковий рівень контролю над роботом, дозволяючи зупинити його роботу в будь-який момент або відновити після зупинки.

Таким чином, система управління роботом-очишувачем є комплексною та багатофункціональною, інтегруючи різні електронні компоненти та використовуючи можливості платформи Arduino для створення ефективного та надійного пристрою, що може виконувати різноманітні задачі в рамках заданих параметрів. Схема електрична принципова наведена у додатку В (див. зображення ескізу В.1 дод. В).

3.2 Написання коду та описання алгоритму роботи очищувальної системи

Даний код структурований на кілька основних частин, включаючи ініціалізацію, основний цикл loop() та допоміжні функції для управління робота.

Створення змінних наведена нижче:

```
int pumpPin1 = 6;
int pumpPin2 = 5;
int motorWheelPin1 = 8;
int motorWheelPin2 = 7;
int motorBrushPin1 = 3;
int motorBrushPin2 = 4;
int trigPin1 = 12;
int echoPin1 = 13;
int trigPin2 = 10;
int echoPin2 = 11;
int powerPin = 2;
bool movingForward = true;
int sonarTriggerCount = 0;
bool systemActive = false;
bool initialStart = false;
bool allowRestart = false;
```

Змінна «bool movingForward» використовується для визначення напрямку руху робота. Якщо movingForward має значення true, це означає, що робот повинен рухатися вперед або виконувати дії, пов'язані з рухом вперед. Коли змінна встановлена в false, робот має змінити напрямок на протилежний. Це може включати зміну напрямку обертання двигунів або будь-які інші дії, які вимагають реверсу руху.

Змінна «int sonarTriggerCount» використовується для підрахунку кількості спрацювань ультразвукових датчиків сонару. Кожен раз, коли датчик фіксує об'єкт на відстані більшій за заданий поріг, змінна sonarTriggerCount збільшується на один. Це дозволяє програмі відслідковувати кількість разів, коли датчики спрацювали, і відповідно реагувати.

Змінна «bool systemActive» контролює активний стан системи. Якщо systemActive є true – то система знаходиться в робочому стані і виконує основні функції робота. Якщо змінна має значення false, система вважається неактивною, і всі дії, пов'язані з управлінням роботом, зупиняються. Це може включати зупинку двигунів.

Передостання змінна «bool initialStart» використовується для визначення, чи була система запущена вперше після включення або рестарту. Якщо initialStart є false, це означає, що система ще не ініціювала початковий запуск робота. Ця змінна допомагає управлінню логікою запуску, забезпечуючи, що певні дії, такі як ініціалізація руху або певні налаштування, виконуються лише один раз при першому запуску.

Остання змінна «bool allowRestart» визначає, чи дозволено рестарт системи. Якщо allowRestart встановлено в true, людина може ініціювати повторний запуск робота, наприклад, після зупинки через досягнення ліміту спрацювань датчиків.

Далі йде ініціалізація, код наведено нижче:

```
void setup() {  
  pinMode(pumpPin1, OUTPUT);  
  pinMode(pumpPin2, OUTPUT);  
  pinMode(motorWheelPin1, OUTPUT);  
  pinMode(motorWheelPin2, OUTPUT);  
  pinMode(motorBrushPin1, OUTPUT);  
  pinMode(motorBrushPin2, OUTPUT);  
  pinMode(trigPin1, OUTPUT);  
  pinMode(echoPin1, INPUT);  
  pinMode(trigPin2, OUTPUT);  
  pinMode(echoPin2, INPUT);  
  pinMode(powerPin, INPUT_PULLUP);  
}
```

Цей блок ініціалізації встановлює режим роботи пінів. Для керування виводами (двигуни) використовується режим OUTPUT, для входів (датчики) – INPUT. Пін живлення встановлюється як INPUT_PULLUP, що активує внутрішній підтягуючий резистор.

Наступним у коді йде основний цикл loop(). Лістинг наведено нижче:

```
void loop() {  
  checkPowerSwitch();  
  if (systemActive) {  
    runSystem();  
  } else {  
    stopAll();  
    if (allowRestart) {
```

```

    checkForRestart();
  }
}
}

```

У цій частині є чотири функції. Перша `checkPowerSwitch()` перевіряє стан кнопки включення або виключення та реагує на зміни стану. Далі йде перевірка на активацію системи. Робот одразу знаходиться у вимкнутому режимі, тому якщо система вимкнута – йде запуск другої функції `runSystem()`, в іншому випадку виконується третя функція, зупинка всіх механізмів робота `stopAll()`. Останнім кроком йде перевірка на перезапуск системи. Якщо дозволено перезапуск (`allowRestart`) – функція перевіряє чи активовано кнопку живлення для рестарту системи.

Далі йде блок контролю за вмиканням та вимиканням системи, дозволяючи ручне керування через фізичний вимикач. Лістинг коду наведено нижче:

```

void checkPowerSwitch() {
  static bool lastSwitchState = digitalRead(powerPin);
  bool currentSwitchState = digitalRead(powerPin);
  if (currentSwitchState != lastSwitchState) {
    delay(50);
    currentSwitchState = digitalRead(powerPin);
    if (currentSwitchState != lastSwitchState) {
      systemActive = !systemActive;
      lastSwitchState = currentSwitchState;
    }
  }
}
}
}

```

Цей блок коду відповідає за вмикання та вимикання системи на основі зміни стану вимикача. Функція `checkPowerSwitch()` призначена для моніторингу стану вимикача живлення, підключеного до піна `powerPin`.

Змінні цього блоку:

- `static bool lastSwitchState = digitalRead(powerPin)` зберігає стан вимикача під час останнього виклику функції. Вона оголошена як `static`, що означає, що її значення зберігається між викликами функції. Початкове значення присвоюється з результату першого читання стану піна `powerPin`;

- `bool currentSwitchState = digitalRead(powerPin)` зчитує поточний стан вимикача живлення.

Перевірка стану вимикача:

- `if (currentSwitchState != lastSwitchState)` перевіряє, чи змінився стан вимикача порівняно з останнім збереженим станом (`lastSwitchState`);

- `currentSwitchState = digitalRead(powerPin)` повторно зчитує стан вимикача після затримки для підтвердження, що зміна стану була не випадковою і вібрація контактів відбулася;

- `if (currentSwitchState != lastSwitchState)` якщо стан вимикача дійсно змінився після затримки, виконується блок коду всередині.

Потім виконується зміна стану системи:

- `systemActive = !systemActive` перемикає логічний стан змінної `systemActive`. Якщо система була активна, вона стає неактивною і навпаки;

- `lastSwitchState = currentSwitchState` оновлює `lastSwitchState` до поточного стану `currentSwitchState` для використання при наступному виклику функції.

Наступною є функція, яка відповідає за перевірку стану кнопки живлення і виконання перезапуску системи, якщо це необхідно. Лістинг коду наведено нижче:

```
void checkForRestart() {
    if (digitalRead(powerPin) == LOW) {
        delay(50);
```

```

if (digitalRead(powerPin) == LOW) {
  systemActive = true;
  resetSystem();
  Serial.println("System manually restarted.");
}
}
}

```

Спочатку функція використовує `digitalRead(powerPin)` для читання стану піна, до якого підключена кнопка живлення. Якщо кнопка натиснута, на піні `powerPin` буде стан `LOW`. Зроблено затримку в 50 мс, щоб уникнути помилкового визначення стану кнопки через вібрацію контактів.

Після затримки функція знову перевіряє стан кнопки (`if (digitalRead(powerPin) == LOW)`). Якщо стан кнопки все ще `LOW`, це підтверджує, що кнопка дійсно натиснута, а не що стан змінився випадково через вібрацію. Змінна `systemActive` встановлюється в `true`, що вказує на те, що система має бути активована.

Потім викликається функція `resetSystem()`, яка відповідає за скидання основних параметрів системи до їх початкових значень. Це включає скидання змінних, які контролюють стан системи, кількість спрацьовувань датчиків і так далі.

Наступним виконується функція `resetSystem()`. Вона відповідає за скидання основних параметрів системи до їхніх початкових станів. Цей метод використовується для реініціалізації стану системи при її рестарті або коли потрібно відновити параметри до їхнього вихідного стану. Лістинг блоку наведено нижче:

```

void resetSystem() {
  initialStart = false;
  movingForward = true;
  sonarTriggerCount = 0;
}

```

```

allowRestart = false;
Serial.println("System has been reset.");
}

```

Другий рядок блоку встановлює змінну `initialStart` в `false`. Змінна `initialStart` використовується для відстеження, чи система була запущена вперше після її активації або рестарту. Встановлення її в `false` гарантує, що будь-які ініціалізаційні дії, які мають виконуватися лише один раз при запуску, будуть повторені при наступному активуванні системи.

`MovingForward = true` – встановлює напрямок руху робота на «вперед». Ця змінна контролює логіку переміщення робота. Скидання її в `true` забезпечує, що після перезапуску системи робот розпочне рух вперед.

`SonarTriggerCount = 0` обнуляє лічильник спрацювань датчиків. Це важливо, тому що лічильник використовується для відстеження кількості разів, коли датчики були задіяні. Скидання цього лічильника забезпечує, що система не вважатиме попередні спрацювання після рестарту.

`AllowRestart = false` забороняє повторний рестарт системи до того моменту, коли це буде явно дозволено. Це запобігає несанкціонованому або випадковому рестарту, забезпечуючи, що система перезапускається лише за чітко визначених умов.

Функція `runSystem()` відповідає за управління основною логікою роботи системи, коли вона активна. Код наведено нижче:

```

void runSystem() {
  if (!initialStart) {
    startBrushMotorOnly();
    initialStart = true;
    delay(3000);
  }
  if (sonarTriggerCount < 6) {

```

```

    moveBrushAndWheel();
    pumpSequence();
    checkDistanceAndAdjust(trigPin1, echoPin1);
    checkDistanceAndAdjust(trigPin2, echoPin2);
  } else {
    stopAll();
    allowRestart = true;
  }
}

```

Ініціалізація при першому запуску.

```

if (!initialStart) {
  startBrushMotorOnly();
  initialStart = true;
  delay(3000);
}

```

Тут виконується перевірка `!initialStart`. Функція спочатку перевіряє, чи система запускається вперше (`initialStart == false`). Якщо так, вона виконує наступні дії:

- `startBrushMotorOnly()` запускає двигун щітки, ця дія відбувається лише один раз при першому запуску системи, що забезпечує початкове включення двигуна щітки до активації інших функцій;
- `initialStart = true` позначає, що система вже була запущена, щоб уникнути повторного запуску двигуна щітки при наступних ітераціях циклу;
- затримка у 3 секунди після запуску двигуна щітки, перш ніж продовжити рух.

В даному блоку виконується перевірка кількості спрацювань датчиків.

```

if (sonarTriggerCount < 6) {
    moveBrushAndWheel();
    pumpSequence();
    checkDistanceAndAdjust(trigPin1, echoPin1);
    checkDistanceAndAdjust(trigPin2, echoPin2);
} else {
    stopAll();
    allowRestart = true;
}

```

Функція перевіряє, чи кількість спрацювань датчиків (`sonarTriggerCount`) не досягла 6. Якщо не досягла, то виконуються наступні дії:

- `moveBrushAndWheel()` контролює обертання двигунів колеса та щітки, забезпечуючи їхній координований рух;
- `pumpSequence()` активує та деактивує насос відповідно до заданої послідовності, що може включати подачу води або інших рідин;
- `checkDistanceAndAdjust(trigPin1, echoPin1)` та `checkDistanceAndAdjust(trigPin2, echoPin2)` це функції, що використовують ультразвукові датчики для визначення необхідної відстані і коригування напрямку руху за потреби.

Далі після досягнення максимальної кількості спрацювань діють такі методи:

- `stopAll()` зупиняє всі механізми робота;
- `allowRestart = true` дозволяє здійснити перезапуск системи.

Функція `moveBrushAndWheel()` відіграє ключову роль у керуванні двигунами робота, включаючи двигуни коліс та щітки. Ця функція встановлює напрямок обертання кожного двигуна на основі поточного напрямку руху робота, який контролюється змінною `movingForward`, код наведено нижче.

```

void moveBrushAndWheel() {
    digitalWrite(motorWheelPin1, movingForward ? HIGH : LOW);
    digitalWrite(motorWheelPin2, movingForward ? LOW : HIGH);
    digitalWrite(motorBrushPin1, movingForward ? HIGH : LOW);
    digitalWrite(motorBrushPin2, movingForward ? LOW : HIGH);
    Serial.println("Moving brush and wheel.");
}

```

Логіка цього блоку наступна, якщо змінна `movingForward` має значення `true` – це означає, що робот повинен рухатися вперед, тобто на пін подається високий рівень напруги (`HIGH`). Якщо `movingForward` є `false` – це означає зворотний рух, отже на пін подається низький рівень напруги (`LOW`).

Наступний блок коду керує насосом:

```

void pumpSequence() {
    digitalWrite(pumpPin1, LOW);
    digitalWrite(pumpPin2, HIGH);
    delay(500);
    digitalWrite(pumpPin1, LOW);
    digitalWrite(pumpPin2, LOW);
    delay(5000);
}

```

Програмний код був структурований таким чином, щоб забезпечити чітке та гнучке управління поведінкою робота через кілька ключових функцій. Кожна функція має відповідні завдання, від ініціалізації системи та реагування на зміни стану живлення до управління рухом механізмів та обробки даних з датчиків. Особлива увага була приділена забезпеченню стабільності системи, що досягалося через введення засобів захисту від вібрації контактів та помилок

управління. Загальний алгоритм роботи очищувального робота наведено на рисунку 3.2.

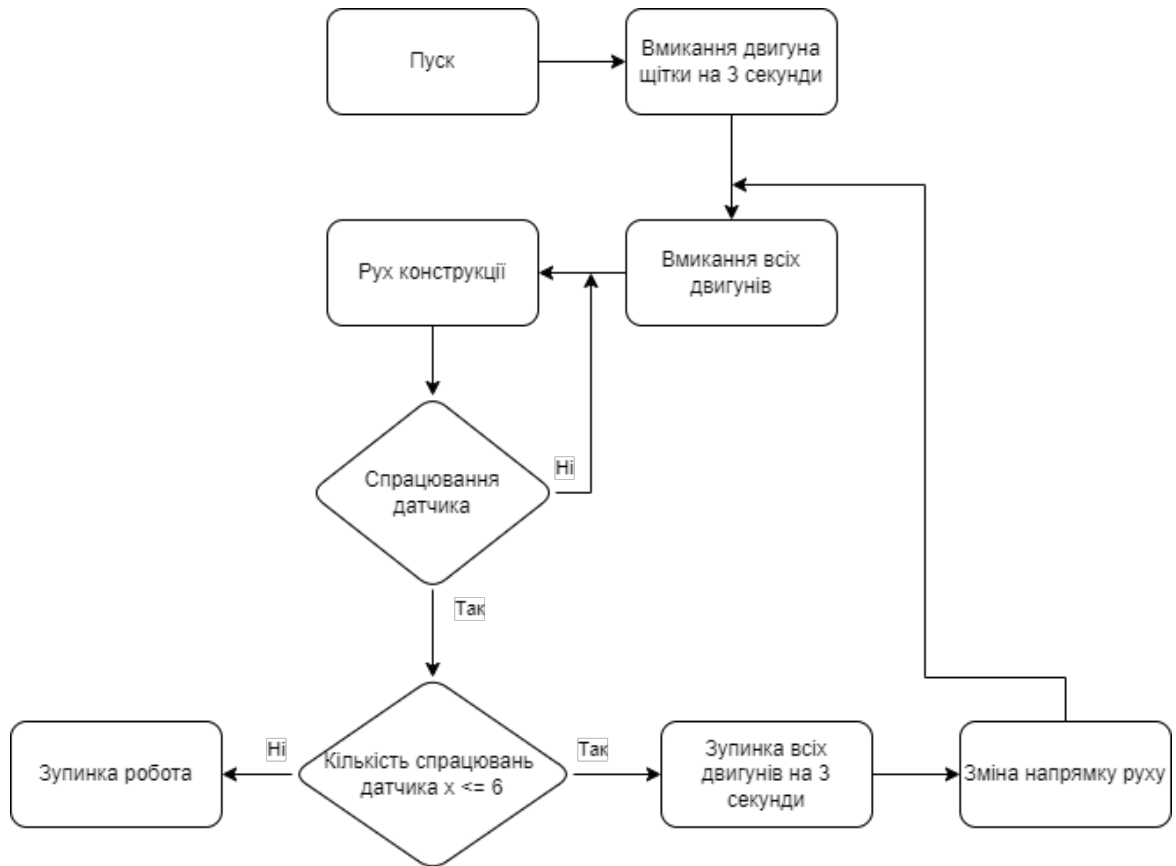


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи очищувальної системи

3.3 Аналіз стійкості механічної частини головного двигуна за критерієм Рауса

Двигун є джерелом обертального моменту, а його механічна частина представлена як тверде тіло з моментом інерції J , обертання якого стримується моментом в'язкого тертя $B\omega$.

Рівняння руху системи відповідно до другого закону Ньютона за формулою (3.1).

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = T - B\omega, \quad (3.1)$$

де T – крутний момент, м⁴;

B – коефіцієнт тертя;

ω – кутова швидкість.

Використовуючи перетворення Лапласа, отримано передавальну функцію між кутовою швидкістю $\omega(s)$ та крутним моментом $T(s)$:

$$W(s) = \frac{\omega(s)}{T(s)} = \frac{1}{(Js + B)}.$$

Радіус r валу головного двигуна дорівнює 2,75 мм (див. зображення кресленика двигуна Б.1 дод. Б). Коефіцієнт тертя B вологої гуми до алюмінію – 0,05. Знайдемо момент інерції J за формулою (2.1):

$$J = \frac{\pi r^4}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,00275^4}{4} = 4,5 \cdot 10^{-11} \text{ м}^4.$$

Підставивши всі дані, отримаємо:

$$W(s) = \frac{1}{(4,5 \cdot 10^{-11}s + 0,05)}.$$

Отримано передавальну функцію механічної частини двигуна між швидкістю і крутним моментом. Далі зробимо аналіз стійкості механічної частини двигуна за критерієм Рауса. Характеристичне рівняння має вигляд:

$$4,5 \cdot 10^{-11}s + 0,05 = 0.$$

Звідси отримано коефіцієнти рівняння:

$$a_0 = 0,05,$$

$$a_1 = 4,5 \cdot 10^{-11}s.$$

Застосуємо критерій Рауса:

$$a_0 = 0,05 > 0,$$

$$a_1 = 4,5 \cdot 10^{-11} s > 0,$$

$$a_1 \cdot a_0 = 4,5 \cdot 10^{-11} s \cdot 0,05 = 2,25 \cdot 10^{-12} > 0.$$

Оскільки всі три умови критерію Рауса виконуються, можна зробити висновок, що механічна частина двигуна є стійкою. Це означає, що при подачі вхідного крутного моменту $T(s)$, вихідна кутова швидкість $\omega(s)$ досягне потрібного значення без коливань та розбіжностей [15].

3.4 Заходи з охорони праці

У даній роботі охорона праці автоматизованої системи очищення сонячних панелей має велике значення для забезпечення безпечних умов роботи та підтримання здоров'я та безпеки користувачів.

Розглянуто такі можливі ризики:

- автоматизована система включає рухомі частини, які можуть становити ризик защемлення або травматизму. Щоб запобігти цьому, створено аварійний вимикач, що забезпечує можливість вимикати роботу у випадку несправності. Регулярне технічне обслуговування і перевірки стану обладнання є обов'язковими;

- всі електричні компоненти системи проєктовані з дотриманням відповідних стандартів безпеки і мають надійну ізоляцію. Встановлені пристрої захисту від перепадів напруги та короткого замикання;

- автоматизована система розроблена таким чином, щоб знизити потребу в ручному втручанні, зменшуючи фізичне навантаження на користувачів;

– у випадку використання хімічних речовин для очищення панелей, застосовуються засоби індивідуального захисту, такі як респіратори та при необхідності захисний одяг.

Також створено план дій на випадок аварійних ситуацій, включаючи пожежу, хімічні витіки тощо. Всі необхідні дії будуть додані до інструкції з роботом [16].

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі здійснено аналіз існуючих методів і систем очищення сонячних панелей. Було обрано програмне середовище AutoCAD та розроблено 3D-модель, ескіз кресленика та електричну принципову схему системи автоматизації очищення, а також вибрано необхідні апаратні модулі, матеріали та компоненти.

Проведено необхідні розрахунки супротиву щіток до руху конструкції. Знайдено необхідний крутний момент, за яким обрано оптимальні двигуни. Розраховано необхідну ємність акумулятора для забезпечення тривалості роботи автоматизованої системи на протязі 3 годин без перерв.

Проведено аналіз стійкості механічної частини головного двигуна за критерієм Рауса. Аналіз показав, що всі три умови за критерієм виконуються, тому механічну частину двигуна можна вважати стійкою.

Було обрано програмне середовище TinkerCAD, в якому створено віртуальний макет схеми автоматизованої системи.

Програмна реалізація автоматизованої системи очищення була здійснена з використанням мови програмування C. Розроблено слідкуючу систему, яка оснований на двох інфрачервоних датчиків сонару. Створено алгоритм роботи автоматизованої системи.

Подальшими шляхами вдосконалення системи можуть бути:

- встановлення компактних сонячних панелей на дах робота для збільшення його часу роботи;
- встановлення оптичних датчиків для виявлення рівня накопичення пилу завдяки кількості світла, яке відбивається від поверхні сонячної панелі;
- реалізувати можливість дистанційно керувати автоматизованою системою очищення СП.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. – 29 с. (дата звернення 16.04.2024).
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, О.В. Токарева, С. П. Новоселов, О.В Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2023. – 64 с. (дата звернення 16.04.2024).
3. Невлюдов, І. Ш., Письменецький, В. О., Григор'єва, О. В., Сікало, О. С., & Сук, Д. О. (2019). Трекерна система стеження за сонцем. с (дата звернення 12.06.2024).
4. Сонячна енергетика [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://solarsystem.com.ua/shho-take-sonyachna-energetyka-chy-potribna-vona-ukrayini/> (дата звернення 16.04.2024).
5. У Нікополі на повну потужність запрацювала найбільша сонячна електростанція України – Валентин Резніченко – Дніпро ОДА. Головна | Дніпропетровська обласна державна адміністрація. [Електронний ресурс]. – <https://adm.dp.gov.ua/news/u-nikopoli-na-povnu-potuzhnist-zapracyovala-najbilsha-sonyachna-elektrostantsiya-ukrayini-valentin-reznichenko> (дата звернення: 16.04.2024).
6. Сонячні електростанції – переваги та недоліки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www/URL: https://generatorg.kyiv.ua/sonyachni-elektrostantsiyi-perevagy-ta-nedoliky/](https://generatorg.kyiv.ua/sonyachni-elektrostantsiyi-perevagy-ta-nedoliky/) (дата звернення 16.04.2024).

7. Фотоенергетика: навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 160 с. (дата звернення 17.04.2024).
8. M. Al-Housani, Y. Bicer, and M. Koç. Assessment of various dry photovoltaic cleaning techniques and frequencies on the power output of CdTe-type modules in dusty environments, *Sustain.*, [Електронний ресурс]. – vol. 11, no. 10, 2019 (дата звернення 19.04.2024).
9. H. Kawamoto. Electrostatic cleaning equipment for dust removal from soiled solar panels [Електронний ресурс]. – *J. Electrostat.*, vol. 98, no. October 2018, pp. 11-16, 2019 (дата звернення 19.04.2024).
10. L. zhi Zhang, A. jian Pan, R. rong Cai, and H. Lu [Електронний ресурс]. – Indoor experiments of dust deposition reduction on solar cell covering glass by transparent super-hydrophobic coating with different tilt angles, *Sol. Energy*, vol. 188, no. July, pp. 1146-1155, 2019 (дата звернення 19.04.2024).
11. Роботизоване очищення сонячних панелей [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: www/URL: https://reglobal.org/robotic-cleaning-of-solar-panels/ (дата звернення 19.04.2024).
12. Solar Panel Brush Smart Clean Machine Robot [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу www/URL: https://www.vmaxpowerpv.com/90w-generator-power-cleaning-robot-automatic-solar-panel-brush-smart-clean-machine-robot-cleaner-zonnepanelen-schoonmaken-product/ (дата звернення 01.05.2024).
13. Photovoltaic cleaning robot: solarROBOT pro [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: www/URL: https://hycleaner.de/photovoltaik-reinigungsroboter/ (дата звернення 01.05.2024).
14. Metal Gear Motor Model NFP-JGB37-520 [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://nfpshop.com/product/37mm-diameter-miniature-dc-gear-motor-nfp-37-520-dc> (дата звернення 11.06.2024).
15. Теорія автоматичного управління (збірник задач) [Текст]: навч. посіб. для студентів спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-

інтегровані технології / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків: Панов А.М., 2020. – 240 с. (дата звернення 12.06.2024).

16. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Основи охорони праці» для студентів усіх напрямів та форм навчання / Упоряд.: Т. Є. Стиценко, В. А. Айвазов, О. В. Мамонтов. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 120 с. (дата звернення 12.06.2024).