

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

Розробка системи автоматизації для сповіщення про стан пристрою дозування
пластичних матеріалів для 3D-друку

(тема)

Виконав:
студент 3 курсу, групи АКТСІу-21-1

Соломатін В. О.

Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Системна інженерія

Керівник доц. кафедри КІТАР Сичова О. В.

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І. Ш.

(прізвище, ініціали)

2024р.

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

Дата 17.06.2024



Соломатін В. О.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
 Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 Тип програми Освітньо-професійна
 Освітня програма Системна інженерія
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
 Зав. кафедри КІТАР _____
 (підпис)
 « 28 » квітня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Соломатіну Віталію Олександровичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи автоматизації для сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку
Затверджена наказом по університету від 20.05.2024 р. № 478 Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 21.06.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи
 - 3.1. Мова програмування C++
 - 3.2. Середовище розробки Arduino IDE
 - 3.3. Мікроконтролер ESP32
 - 3.4. Датчик маси HX711
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
 - 4.1. Аналіз сучасних систем сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку
 - 4.2. Розробка структури системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів
 - 4.3. Розробка програмних засобів
 - 4.4. Розробка демонстраційного макету
 - 4.5. Визначення стабільності системи
 - 4.6. Охорона праці
 - 4.7. Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unicheck
 - 4.8. Оформлення пояснювальної записки
 - 4.9. Подання роботи на рецензію
 - 4.10. Подання роботи на підпис зав. кафедри
 - 4.11. Подання атестаційної роботи в ЕК

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

5.1 Графічний демонстраційний матеріал в форматі powerpoint(*.ppt) формату А4 –15 сторінок.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних систем сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку	28.04 – 06.05.24	Виконано
2	Розробка структури системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів	07.05 – 15.05.24	Виконано
3	Розробка програмних засобів	16.05 – 24.05.24	Виконано
4	Розробка демонстраційного макету	25.05 – 02.06.24	Виконано
5	Визначення стабільності системи	03.06 – 11.06.24	Виконано
6	Охорона праці	12.06 – 20.06.24	Виконано
7	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk	22.06	Виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	22.06	Виконано
9	Подання роботи на рецензію	23.06	Виконано
10	Подання роботи на підпис зав. кафедри	24.06	Виконано
11	Подання атестаційної роботи в ЕК	24.06	Виконано

Дата видачі завдання 28.04.2024

Студент



(підпис)

Соломатін В. О.

Керівник роботи

(підпис)

доц. Сичова О. В.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 103 с., 49 рис., 3 дод., 16 джерел.

СИСТЕМА СПОВІЩЕННЯ, СИСТЕМА ДОЗУВАННЯ, 3D-ДРУК, ГРАНУЛЬОВАНИЙ ПЛАСТИК, ТЕЛЕГРАМ БОТ, ПРИСТРІЙ ДОЗУВАННЯ, СЕРВОДВИГУН, СТАН ПРИСТРОЮ.

Мета роботи – поліпшення технічних характеристик пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку шляхом розробки системи сповіщення про його стан.

Об'єктом розробки є автоматизоване керування технологічним процесом тривимірного друку.

Предметом розробки є технічні і програмні засоби для системи дозування пластичних матеріалів.

В даній кваліфікаційній роботі було досліджено способи процесу сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку. Здійснено аналіз вимог до системи сповіщення та проаналізовано конкурентоспроможні системи в даній галузі. Була розроблена структурна схема системи сповіщення та пристрою дозування, що включає в себе модулі управління та моніторингу. Після обґрунтованого аналізу було зроблено вибір програмних і апаратних засобів для демонстраційного макету пристрою дозування. Визначено оптимальну схему підключення апаратних компонентів демонстраційного макету, що забезпечує надійність та ефективність роботи системи. На наступному етапі було розроблено, налаштовано та інтегровано користувальницьку складову системи сповіщення у вигляді Telegram бота. Після успішної реалізації програмних засобів було проведено конфігурування параметрів системи та перевірено їхню працездатність в різних умовах експлуатації. Далі було розроблено фізичний прототип пристрою дозування та здійснено його тестування з метою виявлення можливих недоліків.

ABSTRACT

Explanatory note: 103 pages, 49 figures, 3 appendices, 16 sources.

NOTIFICATION SYSTEM, DOSING SYSTEM, 3D PRINTING, GRANULAR PLASTIC, TELEGRAM BOT, DOSING DEVICE, SERVOMOTOR, DEVICE STATUS.

The aim of this work is to improve the technical characteristics of the plastic material dosing device for 3D printing by developing a notification system for monitoring its status.

The object of development is the automated control of the 3D printing technological process.

The subject of development is the technical and software tools for the plastic material dosing system.

This qualification project investigates methods for notifying the status of plastic material dosing devices used in 3D printing. The requirements for the notification system are analyzed, and competitive systems in this field are reviewed. A structural diagram of the notification system and dosing device is developed, incorporating control and monitoring modules. Following a thorough analysis, software and hardware components are selected for the demonstrative prototype of the dosing device. An optimal scheme for connecting the hardware components of the demonstrative prototype is defined to ensure reliability and operational efficiency. Subsequently, a user interface component of the notification system is developed, configured, and integrated in the form of a Telegram bot. Upon successful implementation of the software tools, the system parameters are configured and their functionality is verified under various operating conditions. A physical prototype of the dosing device is then developed and subjected to testing to identify potential shortcomings.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз сучасних систем сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3d-друку.....	12
1.1 Аналіз структури системи сповіщення.....	12
1.2 Аналіз вимог для предмету розробки.....	13
1.3 Аналіз схожих конкурентоспроможних систем.....	13
1.3.1 Dosing systems від компанії ViscoTec.....	13
1.3.2 AutoFarm3D від 3DQue.....	14
1.4 Аналіз технології сповіщення для пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-принтера.....	15
1.5 Постановка задач.....	16
2 Розробка структури системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів.....	18
2.1 Розробка структурної схеми та алгоритму роботи системи.....	18
2.2 Аналіз методів передачі інформації між пристроями автоматизованого керування системою дозування.....	19
2.3 Розробка структурної схеми пристрою дозування.....	20
2.4 Аналіз та обґрунтування вибору апаратних модулів.....	21
3 Розробка програмних засобів.....	27
3.1 Розробка схеми підключення апаратних модулів системи дозування.....	27
3.2 Налаштування користувальницької складової системи сповіщення про стан пристрою дозування.....	29
3.3 Аналіз конфігурованих параметрів системи дозування.....	30
3.4 Створення програмних засобів.....	31

	8
3.5 Прототипування системи сповіщення про стан пристрою дозування....	39
3.6 Висновки до третього розділу.....	43
4 Розробка демонстраційного макету	44
4.1 Збірка демонстраційного макету системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку.....	44
4.2 Експериментальні дослідження. Демонстрація роботи системи сповіщення про стан пристрою дозування.....	50
4.3 Висновки до четвертого розділу.....	55
5 Визначення стабільності системи.....	56
5.1 Визначення параметрів та передатної функції сервоприводу.....	56
5.2 Визначення параметрів ПТ2-ланки.....	57
5.3 Знаходження передатної функції системи з ПІ-регулятором.....	58
5.4 Визначення параметрів K_p і K_i та вирахування передатної функції.....	58
6 Охорона праці.....	59
6.1 Охорона праці при 3D-друку.....	59
6.2 Аналіз небезпек і шкідливих факторів на виробництві із використанням 3D-друку.....	59
6.3 Заходи з охорони праці у сфері 3D-друку.....	60
6.4 Пожежна безпека при 3D-друку.....	60
6.5 Висновки до шостого розділу.....	61
Висновки.....	62
Перелік джерел посилання.....	63
Додаток А Програмна частина системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів.....	66
Додаток Б Апробація результатів наукових досліджень.....	93
Додаток В Демонстраційний графічний матеріал.....	101

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АР – алгоритм роботи;
- ВД – вихідна ємність;
- ДМ – дозування матеріалу;
- ЕЗ – електронні засоби;
- ІА – інтерфейс доступу;
- ІМ – інтернет-модуль;
- КД – кінцева ємність;
- МК – мікроконтролер;
- ПК – персональний комп'ютер;
- СКБ – студентське конструкторсько-технологічне бюро з «робототехніки та мехатроніки»;
- СМ – сервомотор;
- СШ – система сповіщення;
- ТБ – телеграм бот;
- ТВ – тензодатчик ваги;
- ТВР – технології виробництва радіоапаратури;
- API – Application Programming Interface;
- GUI – Graphical User Interface;
- HTTP – Hypertext Transfer Protocol;
- TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Protocol.

ВСТУП

У сучасному світі технологія 3D друку стрімко розвивається та знаходить все більше застосувань у різних галузях, від промисловості до медицини і навіть побутового використання. Однак, як і будь-яка інша технологія, 3D друк стикається з певними технічними проблемами, однією з яких є ефективне дозування пластичних матеріалів. Відсутність належного контролю за процесом дозування може призвести до нераціонального використання матеріалів, збільшення витрат, простоїв обладнання та погіршення якості друкованих виробів. Вирішення цієї проблеми є особливо актуальним як для великих виробництв, так і для індивідуальних користувачів.

Розробка системи автоматизації сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D друку спрямована на вирішення цих проблем. Впровадження модулю контролю і управління процесом дозування за допомогою системи сповіщення дозволяє значно підвищити рівень автоматизації виробничих процесів, зменшити витрати матеріалів, скоротити час простоїв та підвищити якість кінцевих виробів.

Система сповіщення покликана забезпечити користувачів 3D-принтера вчасною та точною інформацією про стан пристрою дозування. Вона не лише інформує про поточний рівень матеріалу, але й автоматично ініціює поповнення пластику при досягненні заданого порогу, надсилаючи відповідні повідомлення оператору 3D-принтера. Така інтеграція дозволяє користувачам віддалено контролювати і коригувати налаштування дозування, а також ініціювати висипання пластику за необхідності. Це значно підвищує зручність та ефективність використання 3D принтерів, дозволяючи оптимізувати процес друку.

Важливість саме системи сповіщення про стан пристрою дозування полягає у її здатності забезпечити безперервний моніторинг і своєчасне інформування про стан пристрою дозування, що є критичним для запобігання несправностей та забезпечення стабільної роботи обладнання. У сучасному виробничому

середовищі, де навіть незначні прості можуть призвести до значних фінансових втрат, така система стає незамінним інструментом. Відповідно, розробка і впровадження системи автоматизації сповіщення для пристрою дозування пластичних матеріалів є важливим кроком до підвищення ефективності та надійності процесу 3D друку, що підтверджує її актуальність та необхідність у цій сфері.

Метою даної роботи є покращення технічних характеристик пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку шляхом розробки системи сповіщення про його стан.

Об'єктом розробки є автоматизоване керування технологічним процесом тривимірного друку.

Предметом розробки є технічні і програмні засоби для системи дозування пластичних матеріалів.

Дана кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008:2015 [1], керуючись навчальним посібником з кваліфікаційних робіт [2] та методичними вказівками [3]. Дана робота отримала апробацію у збірнику наукових статей ADED [4]. Отримані результати відповідають переліку Цілей сталого розвитку, зокрема цілі 9 Промисловість, інновації та інфраструктура.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ СПОВІЩЕННЯ ПРО СТАН ПРИСТРОЮ ДОЗУВАННЯ ПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ 3D-ДРУКУ

1.1 Аналіз структури системи сповіщення

Система сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів дозволяє автоматизувати процес дозування сипучих матеріалів, забезпечуючи точність та ефективність виробничого процесу на 3D-принтерах. Основні функції системи включають в себе автоматичний контроль рівня матеріалу в кінцевій ємності, сповіщення оператора про необхідність поповнення запасів та про подачу пластичної речовини, а також автоматичне відкриття вихідної ємності для додавання нового матеріалу.

Система, що описується, повинна бути надійною, ефективною та легко налаштовуватись для відповідності потребам конкретного виробничого процесу. Перш за все, вона повинна мати високу точність вимірювання ваги матеріалу, що залишився в кінцевій ємності, для уникнення недоліків у виробничому процесі через неправильне дозування [5]. Крім того, система повинна бути достатньо швидкою та реагувати на зміни рівня матеріалу без затримок, щоб уникнути перерв у виробництві та зберігати продуктивність. Особлива увага також приділяється надійності системи, щоб уникнути випадків відмови або неправильної роботи в умовах реального виробництва. Слід зазначити, що система повинна легко налаштовуватися і адаптуватися до різних типів матеріалів та умов виробництва, забезпечуючи гнучкість та універсальність в її використанні. Враховуючи ці особливості, розробка такої системи вимагає комплексного підходу та ретельного аналізу вимог і потреб користувачів [6].

1.2 Аналіз вимог для предмету розробки

Система сповіщення повинна забезпечувати надійну і безперервну комунікацію між користувачем і пристроєм дозування для ефективного контролю процесу дозування пластичних матеріалів. Вона повинна бути здатна надсилати сповіщення про автоматичне висипання пластику у разі досягнення певного порогу ваги, а також дозволяти користувачу ініціювати висипання пластику вручну. Важливою вимогою є можливість налаштування параметрів, таких як періодичність опитування датчика ваги та порогова вага для висипання пластику, що надає користувачу гнучкість у керуванні процесом. Система повинна гарантувати безпеку передачі даних, щоб запобігти несанкціонованому доступу або втраті інформації. Інтерфейс повинен бути зручним та інтуїтивно зрозумілим для користувача, забезпечуючи легкий доступ до налаштувань і функцій системи. Важливо забезпечити швидку і точну обробку запитів від пристрою дозування та своєчасну реакцію системи на ці запити для підтримання безперебійного функціонування 3D принтера. Крім того, система сповіщення повинна мати високу надійність та стабільність роботи, щоб мінімізувати ризик збоїв у критичних моментах дозування пластику.

1.3 Аналіз схожих конкурентоспроможних систем

Розглянемо декілька аналогічних систем дозування матеріалів та їх системи сповіщення.

1.3.1 Dosing systems від компанії ViscoTec

Системи дозування сипучих матеріалів від ViscoTec є складними і високоточними пристроями, призначеними для різних промислових застосувань. Вони використовують передові технології для забезпечення точного, надійного та швидкого дозування.

Зображення системи дозування від компанії ViscoTec можна побачити на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Dosing systems від компанії ViscoTec

З переваг можна виділити:

- висока точність: системи забезпечують точне дозування сипучих матеріалів, що є критичним для багатьох виробничих процесів;
- надійність: конструкція та технології, використані в цих системах, гарантують надійну роботу навіть в умовах інтенсивного використання;
- універсальність: можливість адаптації до різних типів матеріалів і виробничих процесів робить ці системи універсальними;
- мінімальне пульсування: забезпечують плавне та безперервне дозування матеріалів, що важливо для рівномірного нанесення та змішування.

З недоліків можна виділити:

- висока вартість: завдяки використанню високоякісних компонентів і передових технологій, ці системи можуть бути дорогими у порівнянні з простішими рішеннями;
- складність експлуатації: для встановлення та налаштування систем потрібні спеціальні знання та досвід, що може вимагати додаткового навчання персоналу;

– обслуговування: високотехнологічні системи потребують регулярного обслуговування для підтримання оптимальної продуктивності, що може бути затратним як у фінансовому, так і у часовому плані.

На основі доступної інформації про продукцію ViscoTec, можна сказати, що їхні дозувальні системи включають в себе компоненти для моніторингу та контролю процесу дозування. Це включає в себе різні сенсори і контролери, які забезпечують точне управління процесом. Однак конкретних даних про наявність системи сповіщення у стандартній комплектації не було знайдено.

1.3.2 AutoFarm3D від 3DQue

AutoFarm3D від 3DQue – це централізована платформа, призначена для автоматизації та управління фермами 3D-друку. Вона включає такі функції, як автоматизована розподіл друку, виявлення відмов за допомогою штучного інтелекту та віддалене спостереження та управління (рис. 1.2). Використовує SmartTags для надсилання завдань друку на відповідні принтери на основі їх можливостей. QuinlyVision AI виявляє відмови друку та надсилає сповіщення. Централізоване управління: Управляє декількома принтерами з єдиного інтерфейсу, що зменшує потребу в ручному втручанні. Віддалений доступ: Дозволяє користувачам віддалено керувати та спостерігати за принтерами з використанням безпечних, зашифрованих з'єднань.

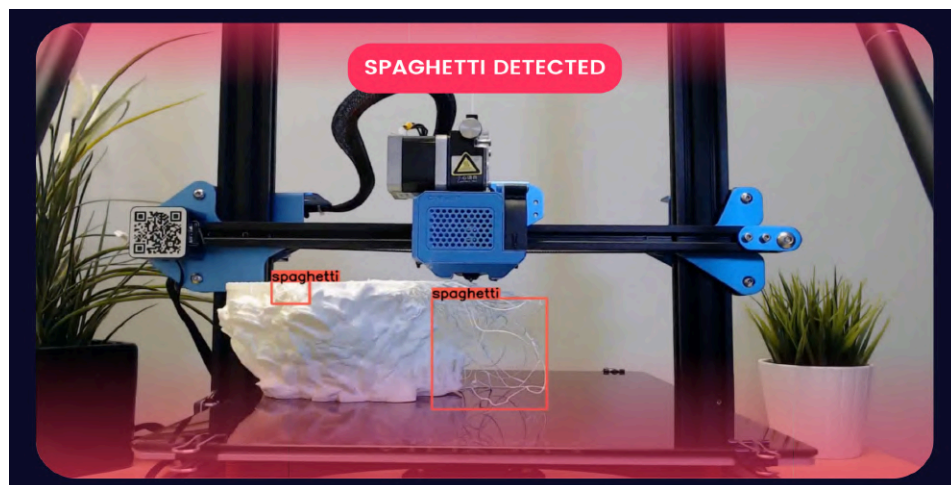


Рисунок 1.2 – AutoFarm3D від 3DQue

З переваг даної системи можна виділити:

- збільшена ефективність. Автоматизує багато ручних завдань, що дозволяє забезпечити безперервну роботу та зменшує простой;
- масштабованість. Підходить для управління великомасштабними операціями з 3D-друку з декількома принтерами.

З недоліків можна виділити:

- складність для налаштування та управління системою. Може знадобитися технічні знання та допомога під час початкової настройки;
- вартість. Може бути дорогим для менших операцій через вимоги до апаратного та програмного забезпечення.

Ця система включає сповіщення про помилки та повідомлення про події, такі як закінчення нитки та відмови друку all3dp.

1.4 Аналіз технології сповіщення для пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-принтера

Як технологію сповіщення про стан пристрою дозування було обрано телеграм-бот. Телеграм бот забезпечує оперативність і зручність сповіщень, оскільки більшість користувачів вже мають встановлений месенджер на своїх пристроях, що забезпечує високу доступність і швидкість отримання повідомлень. Інтеграція телеграм бота з пристроєм дозування через HTTP-запити дозволяє реалізувати двосторонню комунікацію, де бот не лише надсилає сповіщення від, але й приймає команди від користувача. Це сприяє підвищенню ефективності та зручності керування процесом дозування.

Використання телеграм бота дозволяє додати інтерактивні елементи, такі як кнопки напряму в чат користувача із телеграм-ботом, які значно спрощують взаємодію користувача з системою. Наприклад, кнопки можуть бути використані для ініціювання висипання пластику, зміни налаштувань періодичності опитування датчика ваги або встановлення порогової ваги для автоматичного висипання. Такі кнопки можуть бути реалізовані у вигляді швидких команд, що

дозволяє користувачу обирати необхідні дії одним натисканням, без потреби вводити текстові команди. Це значно знижує ймовірність помилок та прискорює процес керування.

Крім того, телеграм бот виділяється з інших систем сповіщення через те, що не має прив'язки до мови програмування і платформи роботи, тому може бути розроблений завдяки різним мовам програмування, таким як Python, JavaScript, або C#. Це відкриває широкі можливості для розробки та інтеграції з існуючими системами. Телеграм бот можна розмістити на будь-якому веб-сервері, що дозволяє забезпечити гнучкість вибору інфраструктури та ресурсів для його роботи. Такий підхід робить телеграм бот практичним через те, що налаштовується одноразово, завчасно і працює повністю віддалено завдяки Internet.

1.5 Постановка задач

Таким чином, для досягнення мети кваліфікаційної роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити структурну схему та алгоритм роботи системи сповіщення;
- виконати аналіз методів передачі інформації між пристроями автоматизованого керування системою дозування;
- розробити структурну схему пристрою дозування;
- проаналізувати та вибрати апаратні модулі;
- розробити схему підключення апаратних модулів;
- налаштувати користувальницьку складову системи сповіщення;
- проаналізувати конфігуровані параметри системи;
- розробити програмні засоби;
- провести прототипування пристрою дозування;
- розробити демонстраційний макет;
- провести тестування роботи демонстраційного макету;
- дослідити стабільність демонстраційного макету пристрою дозування.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ СПОВІЩЕННЯ ПРО СТАН ПРИБРОЮ ДОЗУВАННЯ ПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1 Розробка структурної схеми та алгоритму роботи системи

На рис. 2.1 подана структурна схема системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів.

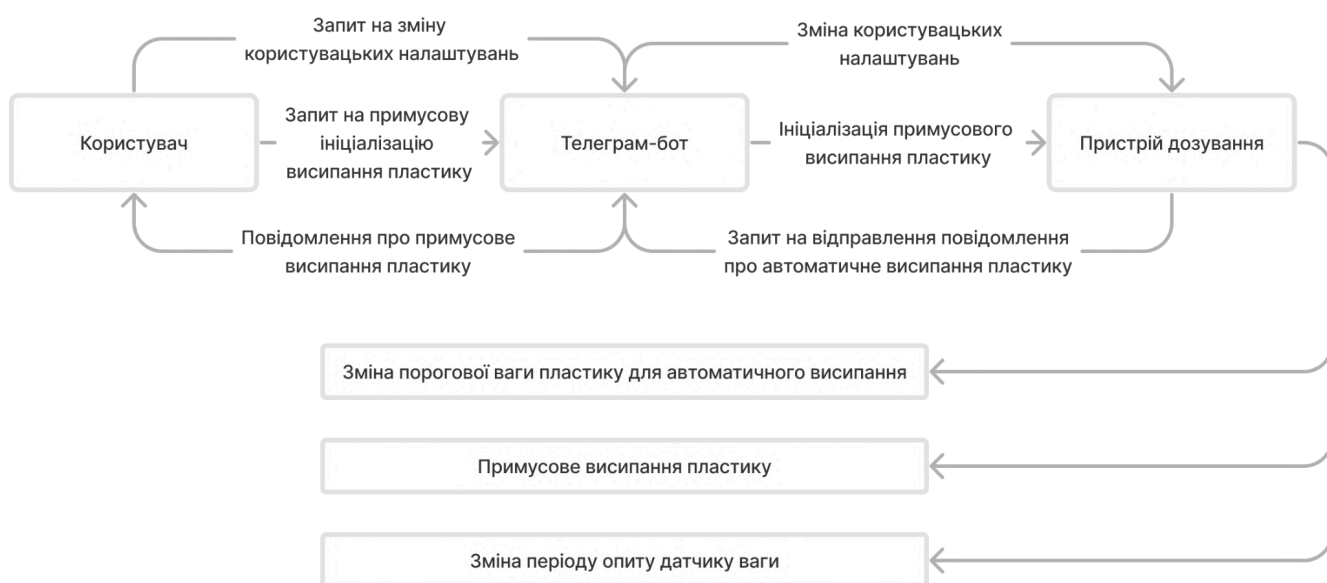


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи сповіщення

В розроблюваній системі використовується принцип запит-відповідь. Предмет розробки у вигляді телеграм бота буде приймати від користувача запити на виконання дій таких дій, як зміну користувацьких налаштувань пристрою дозування чи ініціалізація примусового висипання пластику. В свою чергу пристрій дозування зможе відправляти запит на відправлення сповіщення про автоматичне висипання пластику до телеграм-бота для того, щоб користувач зміг його побачити.

Проаналізувавши вимоги до системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D друку та її структурну схему визначено функціональний алгоритм, схему якого подано на рисунку 2.2.

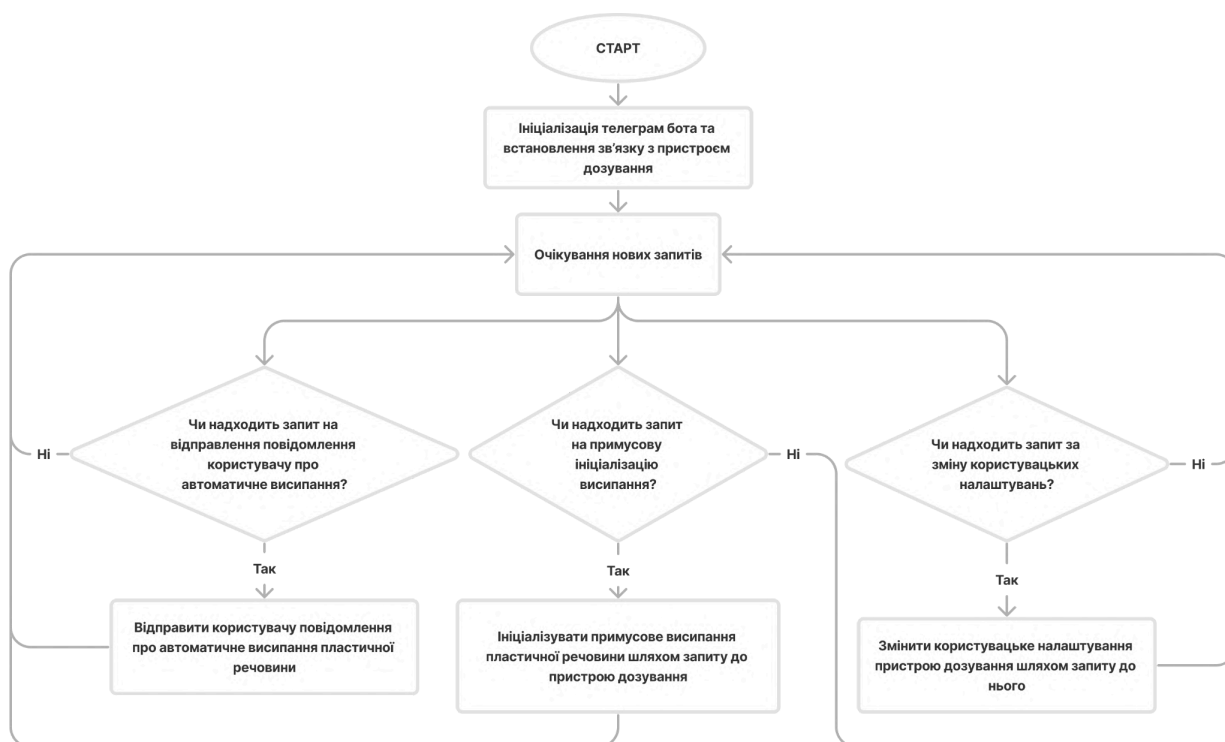


Рисунок 2.2 – Алгоритм роботи системи сповіщення

Телеграм бот, як програмний засіб буде отримувати запити від користувача, або від пристрою дозування пластичних матеріалів для виконання певних дій. Починаючи зі своєї ініціалізації система сповіщення буде очікувати на запити від користувача, чи пристрою дозування. У випадку, якщо від користувача поступає запит на ініціалізацію ручного висипання, чи зміну користувацьких налаштувань – система буде реагувати належним чином, в залежності від типу запиту.

2.2 Аналіз методів передачі інформації між пристроями автоматизованого керування системою дозування

Для передачі інформації між пристроєм дозування та системою керування обрано протокол HTTP через кілька ключових переваг. По-перше, HTTP є широко

використовуваним протоколом у веб-розробці, що робить його стандартом для взаємодії між пристроями через Інтернет. Завдяки цьому стандарту, інтеграція та розробка програмного забезпечення для взаємодії з пристроєм дозування стає зручною та простою в розробці.

Додатково, використання протоколу HTTP спрощує забезпечення безпеки та захисту даних. HTTP може бути легко захищений за допомогою шифрування SSL або TLS, що забезпечує конфіденційність та цілісність переданих даних. Це особливо важливо при роботі з чутливою інформацією, такою як дані про дозування пластичних матеріалів.

Враховуючи те, що пристрій дозування буде виходити в Інтернет за допомогою Wi-Fi модуля, HTTP стає ідеальним вибором, оскільки Wi-Fi технологія широко розповсюджена у виробництві та дозволяє пристрою підключатися до Інтернету з високою швидкістю та надійністю. Таким чином, використання HTTP дозволить ефективно передавати дані між пристроєм дозування та системою керування, забезпечуючи швидку, безпечну та безперервну взаємодію.

2.3 Розробка структурної схеми пристрою дозування

На рисунку 2.3 надано розроблену структурну схему пристрою дозування, з яким буде взаємодіяти система сповіщення.



Рисунок 2.3 – Структурна схема пристрою дозування

В розробленій системі використовується сервомотор для керування вихідною ємністю та датчик ваги для контролю рівня матеріалу в кінцевій

ємності. Принцип роботи системи базується на взаємодії декількох ключових компонентів, таких як вихідна ємність, кінцева ємність, сервомотор та датчик ваги. Було виділено основні складові системи дозування:

- вихідна ємність – ємність, в якій зберігається основний обсяг сипучого матеріалу (у даному випадку – гранульованого пластику). Вона зазвичай містить кришку або клапан, який відкривається або закривається за допомогою сервомотора;

- кінцева ємність – ємність, в якій розміщується датчик ваги. Вона призначена для вимірювання маси сипучого матеріалу, що залишився. Якщо маса матеріалу в кінцевій ємності опускається нижче певної межі, це означає, що кількість матеріалу наближається до вичерпання;

- сервомотор – відповідає за відкривання кришки вихідної ємності для додавання нового матеріалу. Керуючи відкриттям та закриттям кришки, сервомотор контролює процес дозування матеріалу в кінцеву ємність;

- датчик ваги – розташований під кінцевою ємністю та вимірює масу сипучого матеріалу, який залишився. Він постійно моніторить зміни маси, і якщо він виявить, що маса стала менше заданого порогу, генерує сигнал для активації сервомотора для відкриття вихідної ємності.

2.4 Аналіз та обґрунтування вибору апаратних модулів

Задля демонстрації роботи системи автоматизації сповіщення про стан пристрою дозування сипучих матеріалів було обрано апаратні модулі для демонстраційного макету. Основою керування системи дозатора пластичних матеріалів є мікроконтролер. У контексті описаної системи, мікроконтролер – це компонент, який відповідає за керування всіма аспектами роботи системи дозування пластичного матеріалу на 3D-принтері. Він приймає дані від датчика ваги щодо рівня матеріалу, визначає, чи потрібно додати нову дозу пластику, та керує сервомотором для відкриття кришки вихідної ємності. Крім того, мікроконтролер буде відповідальним за взаємодію з телеграм-ботом для

надсилання сповіщень операторам. В цілому, мікроконтролер є головним управляючим елементом системи, який забезпечує автоматизацію та оптимальне функціонування усіх її компонентів.

В даній системі пропонується використовувати мікроконтролер ESP32 (рис. 2.4), який має низку переваг:

- ESP32 має компактні розміри, що дозволяє легко вбудувати його в систему дозування без надмірної об'ємності;
- наявність вбудованої антени Wi-Fi дозволяє забезпечити зручний доступ до мережі Інтернет для зв'язку з телеграм-ботом;
- підтримка протоколу HTTPS забезпечує безпечний зв'язок між мікроконтролером та веб-сервером телеграм боту;
- мікроконтролер має процесор із двома ядрами, що працюють на частоті 240 МГц, що забезпечує швидкодію, та стабільність при виконанні великої кількості обчислень даних, отриманих із датчиків;
- наявність 4 мегабайт вбудованої псевдо-статичної пам'яті, що є значним об'ємом для зберігання програмного забезпечення;
- ESP32 може бути програмований за допомогою Arduino IDE, що дозволяє легко розробляти та налагоджувати програмне забезпечення для системи дозування;
- Arduino IDE має велику та активну спільноту користувачів, яка постійно розвивається і надає безкоштовну підтримку та розробки.

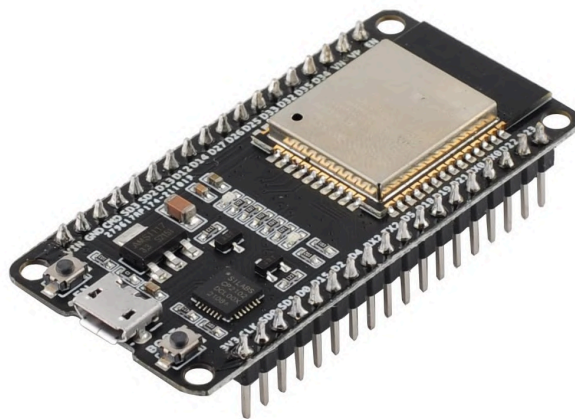


Рисунок 2.4 – Мікроконтролер ESP32

Отже, ESP32 є ідеальним вибором для даної системи дозування, оскільки поєднує в собі компактні розміри, можливість безпроводного зв'язку, надійність та легкість програмування.

Проаналізувавши системи, подібні до описуваних, дозування пластичних матеріалів [7], були обрані апаратні компоненти.

Основою для підтримки точного рівню гранульованого пластику у 3D-принтері обрано датчик маси HX711-1KG-Modul (рис. 2.5). Представляє собою металевий брусок із вбудованими тензодатчиками, розташованими в місці згину. Він призначений для вимірювання ваги матеріалу у кінцевій ємності системи дозування. Перевагами цього тензодатчика є висока точність та надійність вимірювань, а також компактні розміри, що дозволяють легко вбудувати його в систему.

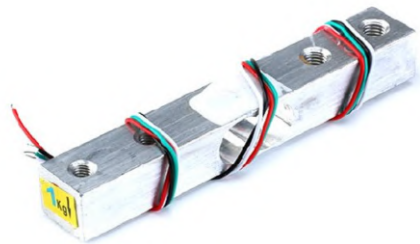


Рисунок 2.5 – Датчик ваги HX711-1KG-Modul

Оскільки датчик потребує переведення аналогового сигналу із тензорезисторів у цифровий, для подальшої обробки мікроконтролером, до нього потрібно підключити аналого-цифровий перетворювач (АЦП) для тензодатчика HX711-Mini (рис. 2.6), призначений для зчитування сигналів від тензодатчика HX711-1KG-Modul. Він відрізняється високою швидкістю та точністю зчитування сигналів, а також простотою підключення до мікроконтролера. Окрім того мікросхема АЦП має два канали, для роботи із двома незалежними тензодатчиками;

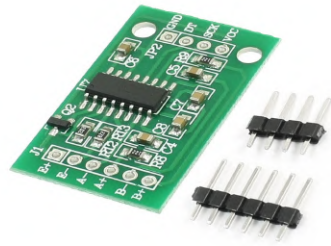


Рисунок 2.6 – АЦП для тензодатчика HX711-Mini

Було обрано сервомотор SERVO-SG90 (рис. 2.7), який використовується для відкривання та закривання кришки вихідної ємності системи дозування пластичного матеріалу. Він характеризується невеликими розмірами, низьким енергоспоживанням та високою точністю позиціонування. SERVO-SG90 є надійним та ефективним компонентом для автоматизованого керування в системі, що розробляється.



Рисунок 2.7 – Сервомотор SERVO-SG90

Для можливості апаратної відладки пристрою дозування пластичних матеріалів було обрано дисплей з роздільною здатністю у 128 точок по довжині та 32 точки по висоті. Дисплей побудований на базі контролера SSD1306, до якого наявна велика кількість програмних засобів для його керування. Цей дисплей виділяється роботою за допомоги шини I2C, яка дозволяє швидко передавати дані, використовуючи лише два цифрових порти мікроконтролера. SSD1306 працює із екраном на базі органічних діодів (OLED), який є енергоефективним та висококонтрастним рішенням. Роздільна здатність 128 на 32 точки дозволяє чітко

та містко відобразити необхідну інформацію на дисплеї. Обраний дисплей зображено на рисунку 2.8.

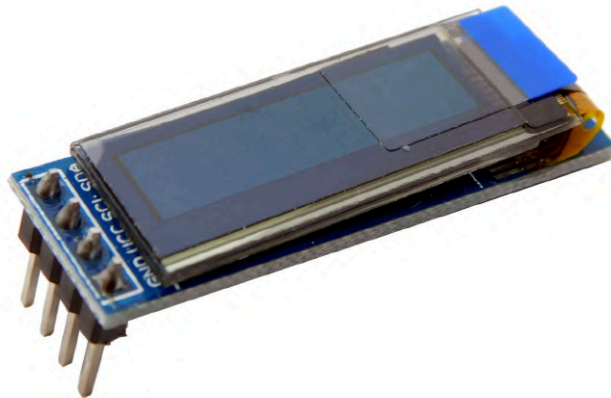


Рисунок 2.8 – OLED дисплей SSD1306 128x32

Дослідивши актуальні програмні рішення для подібних систем [8] було визначено основні особливості програмування мікроконтролерних систем, подібних тій, що розглядається. Для програмування мікроконтролера обрано середу розробки Arduino IDE з мовою програмування C/C++. Arduino IDE є оптимальним вибором для розробки системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів на базі мікроконтролера ESP32 з кількох ключових причин. По-перше, Arduino IDE забезпечує простоту і зручність використання, що дозволяє швидко розпочати розробку навіть новачкам у сфері програмування мікроконтролерів. Вона підтримує широке коло бібліотек і прикладів коду, що спрощує інтеграцію різних датчиків і периферійних пристроїв, таких як датчики ваги та сервомотори, необхідні для функціонування описаної системи.

По-друге, Arduino IDE має вбудовану підтримку мікроконтролера ESP32, що робить процес налаштування і програмування цього потужного мікроконтролера інтуїтивно зрозумілим. ESP32, завдяки своїм високим обчислювальним можливостям, багатofункціональності та вбудованим модулям Wi-Fi і Bluetooth, є ідеальним вибором для реалізації функцій віддаленого сповіщення та управління через телеграм бот. Arduino IDE спрощує використання цих можливостей за

допомогою відповідних бібліотек та інструментів, що дозволяє розробникам зосередитися на логіці додатку, а не на технічних деталях налаштування мікроконтролера.

Третім важливим аспектом є активна і велика спільнота користувачів Arduino. Це забезпечує доступ до великої кількості навчальних матеріалів, форумів і готових рішень, що може суттєво прискорити процес розробки та вирішення проблем, які можуть виникнути під час створення системи. Наявність великої кількості відкритого коду та прикладів дозволяє швидко адаптувати існуючі рішення для конкретних потреб проекту.

Окрім того, Arduino IDE забезпечує крос-платформенність, що дозволяє використовувати її на різних операційних системах, таких як Windows, macOS та Linux. Це розширює можливості розробників та забезпечує гнучкість у виборі середовища розробки. Інтеграція з іншими інструментами та платформами, такими як PlatformIO, також сприяє підвищенню ефективності розробки.

Загалом, Arduino IDE, завдяки своїй простоті використання, багатофункціональності, великій спільноті та потужній підтримці мікроконтролера ESP32, є чудовим вибором для розробки системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D друку. Вона дозволяє зосередитися на основних аспектах проекту, забезпечуючи при цьому необхідну гнучкість та потужність для реалізації всіх функцій системи.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

3.1 Розробка схеми підключення апаратних модулів системи дозування

Оскільки для експериментальних та прикладних досліджень предмету розробки потрібно створити демонстраційний макет системи дозування пластичних матеріалів, необхідно розробити схему підключення апаратних модулів. Для розроблення схеми було обрано середу розробки мікроконтролерних систем ресурсу "wokwi.com". Вибір саме цієї середу розробки для створення схеми підключення та прототипування всієї системи пристрою дозування обумовлений тим, що на цьому ресурсі доступний просунутий емулятор мікроконтролерних систем на базі таких МК, як STM32, Arduino, Raspberry Pi Pico та ESP32, який дозволяє розробку та тестування в реальному часі програмного забезпечення на фреймворках Arduino та MicroPython. Крім того симулятор "wokwi.com" включає в себе великий набір апаратних мікроконтролерних модулів, серед яких наявні ті, що були обрані в рамках першого розділу кваліфікаційної роботи. Доступ до мережі Internet є ключовим фактором, для обрання саме цієї середу розробки, як засобу прототипування системи дозування. Це дозволить повноцінно симулювати систему дозування і працювати із Telegram без використання реальних апаратних засобів під час прототипування пристрою дозування пластичних матеріалів. Пристрій надає програмний доступ до загальної мережі Internet у вигляді вільної віртуальної безпроводної мережі.

Для підключення усіх необхідних апаратних компонентів на схемі використовується макетна плата, яка дозволить більш зручно провести підключення кожного з апаратних модулів до демонстраційного макету пристрою дозування.

На рисунку 3.1 продемонстровано розроблену схему підключення апаратних модулів пристрою дозування пластичних матеріалів.

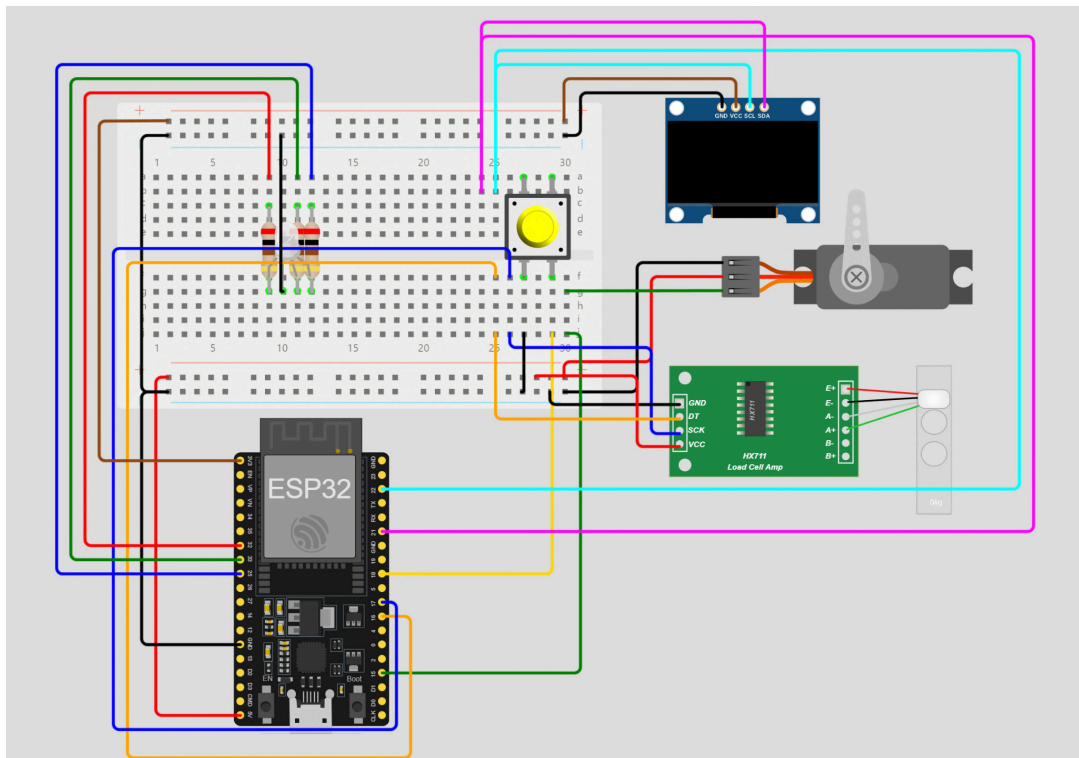


Рисунок 3.1 – Схема підключення модулів для керування пристроєм дозування пластичних матеріалів

Сервомотор підключений до 15 контакту ESP32, що може працювати у режимі аналогового ШІМ виходу, для керування сервомотором. АЦП датчика маси HX711 підключений до 16 та 17 цифрових контактів, що працюють в режимі цифрових входів. Дисплей SSD1306, що працює за допомогою шини I2C, підключений до 21 та 22 контактам на мікроконтролері, бо саме вони є SDA та SCL роз'ємами на платі ESP32. У наведеній схемі окрім вищеописаних модулів були додані тактова кнопка та RGB світлодіод задля можливості апаратного налагодження пристрою дозування оператором у разі необхідності. Тактова кнопка під'єднана вихідним контактом до цифрового піна ESP32 та вхідним контактом до GND. Це рішення обумовлено тим, що у ESP32 є можливість «підтяжки» цифрового контакту до вбудованого резистора (INPUT_PULLUP) для коректної обробки натискань кнопки. Треба зазначити, що до кожного з катодів

RGB світлодіода підключено по одному резистору із опором, рівним 200 Ом, для запобігання перегорання діоду. Оскільки робочою напругою для сервомотору SG900 та HX711 є 5 В, то вони підключені до відповідної лінії напруги у схемі, в свою чергу для дисплею SSD1306 робочою напругою 3.3 В., тому він підключений до відповідної лінії напруги у схемі.

3.2 Налаштування користувальницької складової системи сповіщення про стан пристрою дозування

Було створено Telegram-бот за допомогою інструменту «BotFather». Він представляє із себе головного бота, що має привілеї створювати, конфігурувати та керувати правами власності ботів, що можуть бути створеними користувачами Telegram. Процес створення нового Telegram-бота за допомогою «BotFather» зображено на рисунку 3.2.

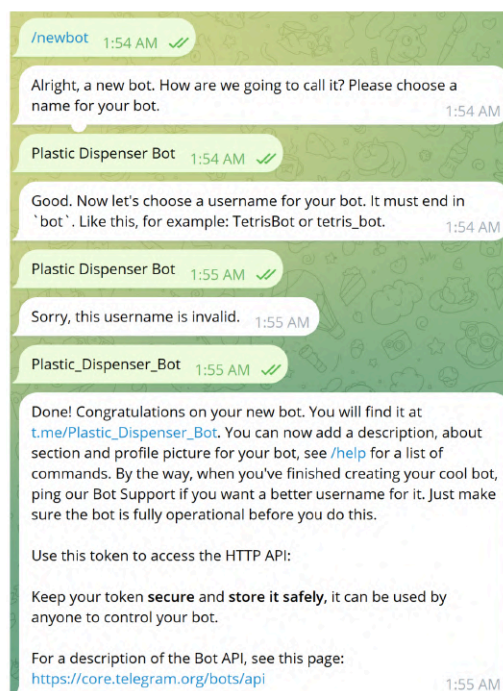


Рисунок 3.2 – Процес створення телеграм-боту, як клієнтської частини проєкту

У процесі створення боту було отримано унікальний ключ доступу, який буде в подальшому використовуватись для програмного доступу до нього.

Наступним етапом було створення користувальницького оформлення для телеграм-боту. За допомогою інструменту «BotFather» було вказано опис боту, користувацьке зображення, та набір наявних команд у боті. На рисунку 3.3 вказано результат створення користувальницького оформлення у телеграм-боті.

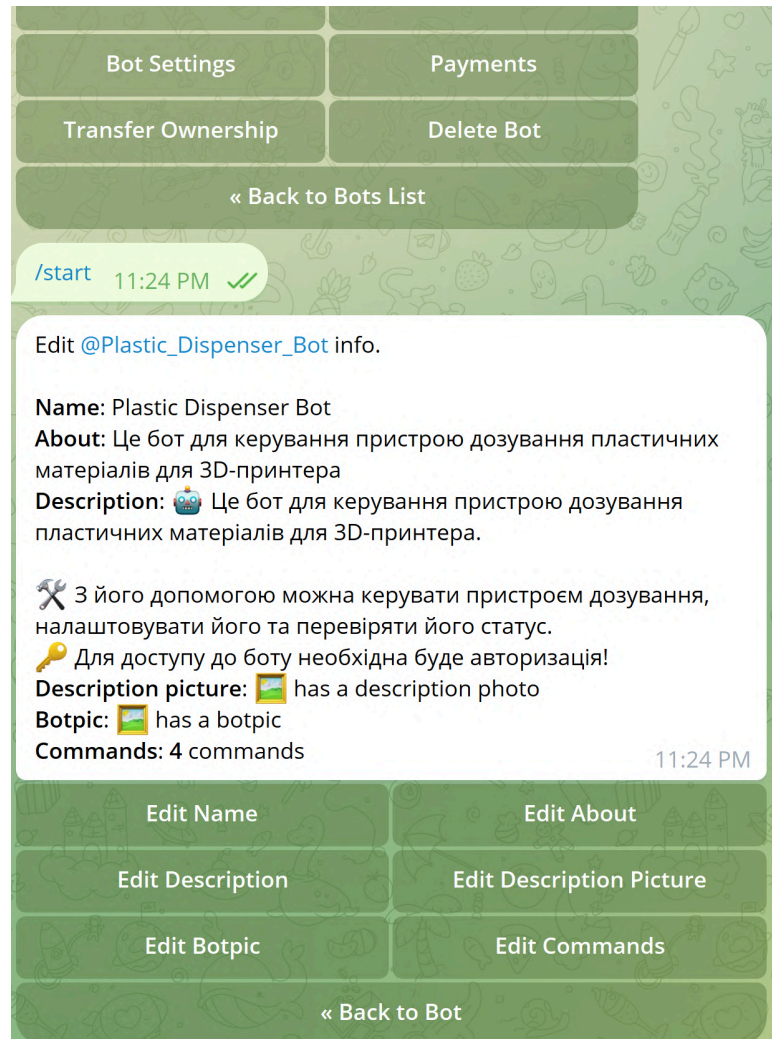


Рисунок 3.3 – Опис користувальницького оформлення Telegram-бота у інструменті «BotFather»

3.3 Аналіз конфігурованих параметрів системи дозування

Згідно аналізу, проведеного в другому розділі кваліфікаційної роботи було виведено структурну схему системи сповіщення та пристрою дозування пластичних матеріалів, та виведено вимоги. За вимогами система сповіщення має

бути гнучкою та налаштовуваною, відповідно до потреб які встановлює оператор 3D-принтера. Оскільки певні моделі 3D-принтерів, що використовуються для побутового та промислового друку та використовують гранульований пластик, мають різні параметри споживання сировини і потребують точного дозування пластику, було обрано дві ключових конфігурації, які мають бути налаштовуваними за допомогою системи сповіщення у вигляді Telegram бота. Такими параметрами є «номінальна маса пластику», що являє собою кількість пластичної сировини, що буде постійно підтримувати пристроєм дозування, та «мінімальна маса», яка є мінімальним рівнем пластику, після якого пристрій дозування буде автоматично ініційовувати висипання.

Для досягнення оператором максимальної точності керування пристроєм дозування система сповіщення повинна надавати змогу вручну ініціалізувати висипання пластику до рівня «номінальної маси», а також налаштовувати інтервал автоматичного опиту датчику ваги. Ці параметри дозволять підвищити контроль оператора над пристроєм дозування, що позитивно вплине на якість кінечного результату друку.

3.4 Створення програмних засобів системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів

Для розробки системи сповіщення про стан пристрою пластичних матеріалів для 3D принтера в середовищі Arduino IDE пропонується використовувати бібліотеку UniversalTelegramBot.h. Обґрунтуванням вибору цієї бібліотеки послужили:

- бібліотека UniversalTelegramBot має повний доступ до боту, завдяки щільній інтеграції із Telegram API, що дає змогу виконувати будь які необхідні операції, включаючи отримання і відправлення повідомлень, відправлення фотографій, відправлення публікацій в канали та групи, отримання поточної геолокації користувача;

- бібліотека надає можливість відправляти оператору боту

користувальницьке меню із командами, які можна використати, що однозначно покращує користувальницький досвід та спрощує керування пристроєм дозування;

– UniversalTelegramBot створює безпечне HTTP з'єднання для безперервного доступу до Telegram API.

Використання бібліотеки UniversalTelegramBot.h у системі сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів на ESP32 спрощує реалізацію телеграм-бота, роблячи код більш читаємим та забезпечуючи стабільне та ефективно сповіщення оператора 3D принтера. Фрагмент коду системи сповіщення про стан пристрою дозування, в якому підключаються бібліотеки та визначаються глобальні змінні представлений нижче на рисунку 3.5.

```

1  #include <time.h> // Стандартна бібліотека Arduino для роботи із часом
2  #include <WiFi.h> // Стандартна бібліотека EPS для WiFi модуля
3  #include <WiFiClientSecure.h> // Додаткова бібліотека для створення об'єкту безпечного WiFi з'єднання
4  #include <UniversalTelegramBot.h> // Бібліотека для телеграм бота
5  #include "HX711.h" // Бібліотека для роботи з АЦП тензодатчика маси
6  // #include <Servo.h> // Бібліотека для роботи із сервоприводом SERVO
7  #include <Adafruit_GFX.h> // Графічна бібліотека для дисплею
8  #include <Adafruit_SSD1306.h> // Бібліотека для роботи із дисплеєм
9
10 #define default_chat_id // PASTE
11 std::vector<String> authorized_users = {String(default_chat_id)}; // Додаємо стандартного користувача
12 const String PASSWORD = "your_password"; // Пароль для авторизації в боті
13
14 // Дані для підключення до WiFi
15 #define WIFI_SSID "" // PASTE
16 #define WIFI_PASSWORD "" // PASTE
17
18 // #define WIFI_SSID "wokwi-GUEST"
19 // #define WIFI_PASSWORD ""
20
21 #define BOT_TOKEN "" // Токен Telegram бота // PASTE
22 String chat_id = String(default_chat_id); // Стандартний користувач за замовченням
23
24 const unsigned long bot_interval = 2000; // Інтервал для перевірки повідомлень
25
26 unsigned long bot_lasttime; // Час останньої перевірки повідомлень
27 WiFiClientSecure secured_client; // Створення об'єкту безпечного з'єднання із інтернетом (необхідно для роботи із телеграм API)
28 UniversalTelegramBot bot(BOT_TOKEN, secured_client); // Створення об'єкту бот
29 time_t now; // Змінна для поточного часу
30
31 // Логічні флаги
32 bool change_minimal_status = false;
33 bool change_nominal_status = false;
34 bool change_interval_status = false;
35 bool settings_status = false;
36 bool test_flag = false;
37
38 // Визначення дефініцій для світлодіода
39 #define RED_PIN 32
40 #define GREEN_PIN 33
41 #define BLUE_PIN 25
42 #define BLACK_COLOR 0
43 #define RED_COLOR 1
44 #define GREEN_COLOR 2
45 const byte BLUE_COLOR = 3;
46 #define YELLOW_COLOR 4
47 #define WHITE_COLOR 5
48
49 //Servo myServo; SERVO
50 #define SRV 15
51 #define SERVO_FREQUENCY 50 // Частота PWM (50 Гц)
52 #define SERVO_RESOLUTION 16 // Розширення PWM (16 bit)
53 bool servo_status = false; // Флаг для сервомотора

```

Рисунок 3.5 – Код із підключенням бібліотек, ініціалізацією глобальних змінних

Приклад фрагмента коду для ініціалізації датчика маси, дисплею та кнопки можна побачити на рис. 3.6.

```

55 HX711 scale; // Створюємо об'єкт scale для датчика маси
56 #define DT 16 // Вказуємо номер виводу, до якого підключений вивід DT датчика
57 #define SCK 17 // Вказуємо номер виводу, до якого підключений вивід SCK датчика
58 #define max_weight 1250.0 // Визначення максимальної маси
59 const float calibration_factor = 1942.02; // Вводимо калібрувальний коефіцієнт
60 float global_weight; // Глобальна змінна для маси
61 unsigned int plastic_minimal = 130; // Змінна мінімальної маси
62 unsigned int plastic_nominal = 230; // Змінна номінальної маси
63 unsigned int measure_interval = 10000; // Змінна інтервалу для автоматичного вимірювання маси
64 unsigned long measure_lasttime; // Останній час вимірювання маси
65
66 // Параметри та дефініції для кнопки
67 #define BTN 18
68 bool button = 0;
69 bool button_status = 0;
70 unsigned long debounce_lasttime = 0; // Время последнего изменения состояния кнопки
71
72 // Ініціалізація дисплею
73 #define SCREEN_WIDTH 128 // Ширина у пікселях
74 #define SCREEN_HEIGHT 32 // Висота у пікселях
75 Adafruit_SSD1306 oled(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1); // Створення об'єкту дисплею

```

Рисунок 3.6 – Код ініціалізації дисплея, датчика маси та кнопки

Код функції вимірювання маси представлено на рисунку 3.7.

```

76 // Функція вимірювання маси
77 float measureweight() {
78     float units = 0; // Задано змінну для виміру в грамах та обумовно її для накопичення значення
79     for (int i = 0; i < 2; i++) { // Усреднено показание, вытупим значение датчика 2 разів
80         units += scale.get_units(); // Сумую показание 2 виміри
81     }
82     units = (units / 2) * 779.98; // Усреднено показание, подделили суму значення на 2
83     // float units = units * 0.93274; // Переводимо масу в грам в унції
84     oled.clearDisplay(); // Очищення дисплея
85     oled.setCursor(1,1); // Повернення курсору на початок дисплея
86     oled.setTextSize(1); oled.println("Measured weight is:\n"); // Перша строка
87     oled.setTextSize(2.5); oled.println(string(units)); // Друга строка
88     oled.display();
89
90     // Перевірка на максимальну масу
91     if (units > max_weight) {
92         String text_buffer = "Маса більше максимальної " + string(max_weight) + " грам!\n\n";
93         text_buffer = text_buffer + "Це може нагально вплинути на срок службы пристрою та точність вимірювань!\n\n";
94         text_buffer = text_buffer + "Вудь ласка, зменште кількість пластику до менше ніж " + string(max_weight) + " .";
95         Serial.println(text_buffer);
96         oled.clearDisplay(); // Очищення дисплея
97         oled.setCursor(1,1); // Повернення курсору на початок дисплея
98         oled.setTextSize(1); oled.println("Measured weight is:\n"); // Перша строка
99         oled.setTextSize(2.5); oled.println("Too heavy!"); // Друга строка
100        oled.display();
101
102        bot.sendMessage(chat_id, text_buffer, "");
103        unsigned long led_lasttime = millis();
104        bool led_status = 0;
105        while (units > max_weight) {
106            if (millis() - led_lasttime >= 250) {
107                if (led_status == 1) {
108                    ledProcessing(RED_COLOR);
109                }
110                if (led_status == 0) {
111                    ledProcessing(BLACK_COLOR);
112                }
113                led_status = !led_status;
114                led_lasttime = millis();
115            }
116            Serial.println("Точная масса все до больше за " + string(max_weight) + " грам!\n\n");
117            for (int i = 0; i < 5; i++) { // Усреднено показание, вытупим значение датчика 5 разів
118                units += scale.get_units(); // Сумую показание 5 виміри
119            }
120            units = (units / 5) * 779.98;
121        }
122        ledProcessing(GREEN_COLOR);
123    }
124    return units;
125 }

```

Рисунок 3.7 – Функція вимірювання маси пластичних матеріалів у вихідній ємності

Рисунок 3.8 демонструє код функції висипання пластику, в якому також використовується функція вимірювання маси із попереднього рисунку.

```

127 // Функція висипання пластику
128 void plasticDispense(String(chat_id)) {
129   String text_buffer = "Маса пластику недостатня (" + String(global_weight) + " грам)! Ініціалізація висипання пластику у " + formatTime(now) + "...";
130   Serial.println(text_buffer);
131   oled.clearDisplay(); // Очищення дисплея
132   oled.setCursor(1,1); // Повернення курсору на початок дисплея
133   oled.setTextSize(1); oled.println("Initialising of\n"); // Перша строка
134   oled.setTextSize(2.5); oled.println("Dispense!"); // Друга строка
135   oled.display();
136   ledProcessing(YELLOW_COLOR);
137   bot.sendMessage(chat_id, text_buffer, "");
138   //myServo.write(179);
139
140   // Плавне відкриття сервопривода
141   for (int angle = 0; angle <= 45; angle++) {
142     int duty = map(angle, 0, 90, 5000, 8192); // Переведення кута в значення duty
143     ledcWrite(SRV, duty);
144     delay(10); // Затримка для плавного повороту
145   }
146
147   servo_status = 1;
148   now = initialiseTime();
149
150   // Цикл продовжується, поки маса менше мінімальної
151   while (true) {
152     Serial.println("Маса все ще недостатня! " + String(global_weight) + " грам.");
153     global_weight = measureWeight(); // Вимірюємо масу
154     if (global_weight >= (plastic_nominal - 20 /*"передження"*/)) {
155       break; // Якщо маса досягла мінімальної, то виходимо з циклу
156     }
157   }
158
159   //myServo.write(0); // SERVO
160
161   // Плавне закриття кришки
162   for (int angle = 45; angle >= 0; angle--) {
163     int duty = map(angle, 0, 90, 5000, 8192);
164     ledcWrite(SRV, duty);
165     delay(10);
166   }
167
168   servo_status = 0;
169   ledProcessing(GREEN_COLOR);
170   text_buffer = "Маса більше номінальної (" + String(plastic_nominal) + ") \nВиміряна маса: " + String(global_weight) + " грам. Статус ОК.";
171   Serial.println(text_buffer); // Виводим статус на монітор послідовального порту
172   bot.sendMessage(chat_id, text_buffer, "");
173 }

```

Рисунок 3.8 – Код функції висипання пластичного матеріалу для 3D-друку

На рисунку 3.9 зображено функцію валідації вхідних повідомлень для телеграм-бота. Це необхідно для перевірки вхідних числових даних для конфігурування телеграм-бота.

```

175 // Функція перевірки числових значень
176 bool validateText(String text) {
177   // Перевірка на порожню строку
178   if (text.length() == 0) {
179     return false;
180   }
181   // Перевірка на від'ємне значення
182   if (text.charAt(0) == '-') {
183     return false;
184   }
185   // Перевірка на числове значення
186   for (int i = 0; i < text.length(); i++) {
187     if (!isdigit(text.charAt(i))) {
188       return false;
189     }
190   }
191   int value = text.toInt(); // Перетворення String у int
192   // Перевірка на значення більше одного
193   if (value < 1) {
194     return false;
195   }
196   return true;
197 }

```

Рисунок 3.9 – Функція валідації вхідних повідомлень

Фрагмент коду функції перевірки вхідних повідомлень телеграм-бота системи сповіщення про стан пристрою дозування продемонстровано на рисунку 3.10.

```

199 // Функція перевірки нових повідомлень
200 void handleNewMessages(int numNewMessages) {
201     Serial.print("Отримано нові повідомлення у " + formatTime(now)+ ": ");
202     Serial.println(numNewMessages);
203     String keyboardJson;
204
205     // Основний цикл перевірки
206     for (int i = 0; i < numNewMessages; i++) {
207         chat_id = bot.messages[i].chat_id;
208         String text = bot.messages[i].text;
209         String from_name = bot.messages[i].from_name;
210         if (from_name == "") from_name = "Гість";
211         now = initialiseTime();
212         Serial.println("Повідомлення від " + from_name + ": \"\" + text + "\"");
213         String text_bufер;
214
215         // Перевірка на авторизацію користувача
216         if (std::find(authorized_users.begin(), authorized_users.end(), chat_id) == authorized_users.end()) {
217             // Користувач не авторизований
218             if (text == PASSWORD) { // Перевірка пароля
219                 authorized_users.push_back(chat_id);
220                 bot.sendMessage(chat_id, "Ви успішно авторизовані!", "");
221             }
222             else {
223                 bot.sendMessage(chat_id, "Будь ласка, введіть пароль для авторизації.", ""); // Повідомлення про необхідність авторизації
224             }
225             continue; // Пропускаємо подальшу обробку повідомлення
226         }
227
228         // Якщо /start відправка стартового повідомлення
229         if (text == "/start" && !change_nominal_status && !change_minimal_status && !change_interval_status && !settings_status) {
230             text_bufер = "Вітаємо вас у боті Plastic Dispenser Bot, " + from_name + ".\r\n";
231             text_bufер += "Це приклади команд, які наразі доступні:\r\n\r\n";
232             text_bufер += "/measure : отримання поточної маси у повідомленні;\r\n";
233             text_bufер += "/dispense : примусова ініціалізація висипання пластику;\r\n";
234             text_bufер += "/settings : змінити налаштування пристрою.\r\n";
235             keyboardJson = keyboardJson = "[[\"/measure\", \"/dispense\"], [\"/settings\"]]";
236             bot.sendMessageWithReplyKeyboard(chat_id, text_bufер, "", keyboardJson, true);
237             Serial.println("У Telegram відправлено стартове повідомлення.");
238         }
239
240         // Якщо /measure вимірення маси
241         if (text == "/measure" && !change_nominal_status && !change_minimal_status && !change_interval_status && !settings_status) {
242             global_weight = measureWeight();
243             text_bufер = "Виміряна маса: " + String(global_weight) + " грам.";
244             Serial.println(text_bufер);
245             bot.sendMessage(chat_id, text_bufер, "");
246         }
247
248         // Якщо /dispense ініціалізація примусового висипання
249         if (text == "/dispense" && !change_nominal_status && !change_minimal_status && !change_interval_status && !settings_status) {
250             text_bufер = "Спроба примусової ініціалізації висипання пластику..";
251             Serial.println(text_bufер);
252             bot.sendMessage(chat_id, text_bufер, "");

```

Рисунок 3.10 – Фрагмент коду функції перевірки вхідних повідомлень

Рисунок 3.11 демонструє фрагмент коду функцій отримання, форматування часу та функцію обробки натискання кнопки. Отримання часу необхідно для точного сповіщення про стан пристрою дозування.

```

453 // Функція отримання часу
454 time_t initialiseTime() {
455     configTime(2 * 3600, 1*3600, "pool.ntp.org"); // Визначення часу UTC через NTP, встановлення часової зони
456     time_t nowBufer = time(nullptr); // Отримання поточного часу
457     unsigned int led_lasttime;
458     bool led_status;
459     while (nowBufer < 60* 60 * 24 * 365 * 30) {
460         if (millis() - led_lasttime >= 250) {
461             led_lasttime = millis();
462             if (led_status == 1) {
463                 ledProcessing(YELLOW_COLOR);
464             }
465             if (led_status == 0) {
466                 ledProcessing(BLACK_COLOR);
467             }
468             led_status = !led_status;
469             Serial.print(".");
470             nowBufer = time(nullptr);
471         }
472     }
473     return nowBufer;
474 }
475
476 // Функція форматування часу
477 String formatTime(time_t rawTime) {
478     struct tm * timeinfo = localtime(&rawTime);
479     char buffer[20];
480     strftime(buffer, sizeof(buffer), "%H:%M:%S %m.%d.%Y", timeinfo);
481     return String(buffer);
482 }
483
484 // Функція обробки натискання кнопки
485 void buttonProcessing() {
486     if (digitalRead(BTN) != button) {
487         debounce_lasttime = millis(); // Зкидання часу дебаунса
488         button = digitalRead(BTN); // Оновлення стану кнопки
489     }
490
491     if ((millis() - debounce_lasttime) > 50) {
492         if (!button && !button_status) {
493             button_status = 1;
494             Serial.println("Кнопку натиснуто!");
495             unsigned int button_time = millis();
496             unsigned int button_bufer;
497             bool sleep_status = 0;
498             while (!button){
499                 button_bufer = millis() - button_time;
500                 if (digitalRead(BTN) != button) {
501                     debounce_lasttime = millis(); // Зкидання часу дебаунса
502                     button = digitalRead(BTN); // Оновлення стану кнопки
503                 }
504                 if ((button_bufer >= 10000) && !sleep_status) {
505                     sleep_status = 1;
506                     Serial.println("Тут повинна бути спроба входу в сплячий режим...");
507                     /*Serial.println("Entering light sleep...");

```

Рисунок 3.11 – Функції обробки часу та обробки натискання кнопки

Програмна функція роботи зі світлодіодом зображена на рисунку 3.12.

```

542 // функція для роботи зі світлодіодом
543 void ledProcessing (byte color) {
544     switch (color)
545     {
546     case BLACK_COLOR:
547         analogWrite(LED_PIN, 0);
548         analogWrite(GREEN_PIN, 0);
549         analogWrite(BLUE_PIN, 0);
550         break;
551     case RED_COLOR:
552         analogWrite(LED_PIN, 255);
553         analogWrite(GREEN_PIN, 0);
554         analogWrite(BLUE_PIN, 0);
555         break;
556     case GREEN_COLOR:
557         analogWrite(LED_PIN, 0);
558         analogWrite(GREEN_PIN, 255);
559         analogWrite(BLUE_PIN, 0);
560         break;
561     case 3:
562         analogWrite(LED_PIN, 0);
563         analogWrite(GREEN_PIN, 0);
564         analogWrite(BLUE_PIN, 255);
565         break;
566     case WHITE_COLOR:
567         analogWrite(LED_PIN, 255);
568         analogWrite(GREEN_PIN, 255);
569         analogWrite(BLUE_PIN, 255);
570         break;
571     case YELLOW_COLOR:
572         analogWrite(LED_PIN, 255);
573         analogWrite(GREEN_PIN, 255);
574         analogWrite(BLUE_PIN, 0);
575         break;
576     default:
577         analogWrite(LED_PIN, 255);
578         analogWrite(GREEN_PIN, 255);
579         analogWrite(BLUE_PIN, 255);
580         break;
581     }
582 }
583 }
584 }

```

Рисунок 3.12 – Функція роботи зі світлодіодом

Наступним етапом була розробка функції ініціалізації мікроконтролера ESP32, яка виконується при вмиканні пристрою. Програмний код цієї функції представлено нижче на рисунку 3.13.

```

589 void setup() {
590     Serial.begin(115200);
591
592     pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
593     pinMode(GREEN_PIN, OUTPUT);
594     pinMode(BLUE_PIN, OUTPUT);
595     ledProcessing(RED_COLOR);
596
597     //myservo.attach(SRV); // SERVO
598     //myservo.write(0); // SERVO
599     ledAttach(SRV, SERVO_FREQUENCY, SERVO_RESOLUTION); // Ініціалізація сервомотора
600     ledWrite(SRV, 90); // Встановлення сервомотору на початкове положення
601
602     // Ініціалізація дисплея
603     if (!oled.begin(SSD1306_SWITCHCAPSUC, 0x3C)) {
604         Serial.println("failed to start SSD1306 OLED");
605         while (1);
606     }
607     delay(2000); // Затримка для уникнення помилок із дисплеєм при його ініціалізації
608     oled.clearDisplay(); // Очищення дисплея
609     oled.setTextColor(WHITE); // Колір дисплея
610     oled.setCursor(1, 1); // Встановлення курсору на початку виводу
611     oled.setTextSize(1); oled.println("Device is initializing...");
612     oled.display();
613     Serial.println("Дисплей ініціалізовано успішно.");
614
615     pinMode(BTN, INPUT_PULLUP); // Ініціалізуємо порти для кнопки
616     scale.begin(01F, SCK); // Ініціалізуємо роботу з датчиком маси
617     scale.set_scale(); // Висловимо вимірювання значення без калібрувального коефіцієнта
618     //scale tare(); // Сторонування значення маси на датчику на 0г
619     scale.set_scale(calibration_factor); // Встановимо калібрувальний коефіцієнт
620     Serial.println("Контроль вимірювання маси 1: " + String(measureweight()) + "грам.");
621     Serial.println("Контроль вимірювання маси 2: " + String(measureweight()) + "грам.");
622     global_weight = measureweight();
623     Serial.println("Контроль вимірювання маси 3: " + String(global_weight) + "грам.");
624
625     oled.clearDisplay(); // Очищення дисплея
626     oled.setTextColor(WHITE); // Колір дисплея
627     oled.setCursor(1, 3); // Встановлення курсору на початку виводу
628     oled.setTextSize(1); oled.println("Device is connecting");
629     oled.setTextSize(2); oled.println("to WiFi..."); // set text
630     oled.display();
631
632     // Спроба підключення до Wi-Fi мережі
633     Serial.println("Підключення до Wi-Fi мережі із SSID ");
634     Serial.println("ssid_0010"); // Розкоментувати
635     WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
636     secured_client.setCACert(TELEGRAM_CERTIFICATE_ROOT); // Додавання корпоративного сертифікату для api.telegram.org
637     unsigned int led_lasttime;
638     bool led_status = 1;
639     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
640         if (millis() - led_lasttime >= 250) {
641             if (led_status == 1) {
642                 ledProcessing(YELLOW_COLOR);
643             }
644         }
645     }

```

Рисунок 3.13 – Фрагмент програмної функції «setup»

Завершальним етапом розробки програмної складової у середовищі Arduino IDE для системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D друку є розробка головної циклічної функції, яка буде виконуватись постійно. Вона має в собі виклики всіх вище згаданих програмних функцій. Фрагмент описаного програмного коду згадано на рисунку 3.14.

```

688 void loop() {
689
690     // Обробка кнопки
691     if (!change_nominal_status && !change_minimal_status && !change_interval_status && !settings_status)
692     {
693         buttonProcessing();
694     }
695
696     // Перевірка на нові повідомлення
697     if ((millis() - bot_lasttime >= bot_interval) && !servo_status) {
698         int numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
699
700         while (numNewMessages) {
701             handleNewMessages(numNewMessages);
702             numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
703         }
704         bot_lasttime = millis();
705     }
706
707     // Обробка кнопки
708     if (!change_nominal_status && !change_minimal_status && !change_interval_status && !settings_status)
709     {
710         buttonProcessing();
711     }
712
713     // Функція автоматичного вимірювання маси та автовисипання при мінімальній масі пластику
714     if ((millis() - measure_lasttime >= measure_interval) && !change_nominal_status && !change_minimal_status && !change_interval_status && !settings_status){
715         global_weight = measureWeight();
716         if (global_weight < plastic_minimal){
717             plasticDispense(String(chat_id));
718         }
719         else {
720             Serial.println("Автоматично виміряна маса: " + String(global_weight) + " грам.");
721         }
722         measure_lasttime = millis();
723     }
724
725     // Обробка кнопки
726     if (!change_nominal_status && !change_minimal_status && !change_interval_status && !settings_status)
727     {
728         buttonProcessing();
729     }
730 }

```

Рисунок 3.14 – Циклічна функція програмної частини системи сповіщення про стан пристрою дозування

Для спрощення відлагодження системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів програмними методами було розроблено функціонал відладки через послідовний порт мікроконтролера ESP32. Це суттєво спрощує процес програмного відлагодження кваліфікаційної роботи.

3.5 Прототипування системи сповіщення про стан пристрою дозування

Наступним етапом розробки після створення програмної складової кваліфікаційної роботи та схеми підключення апаратних модулів у середовищі розробки "wokwi.com" є симуляція роботи та відлагодження пристрою дозування у вищезазначеному середовищі розробки. Для цього було ініціалізовано компіляцію та симуляцію програми на базі розробленої схеми підключення апаратних модулів за допомогою вбудованих інструментів середі розробки "wokwi.com".

Результат запуску симуляції продемонстровано на рисунку 3.15.

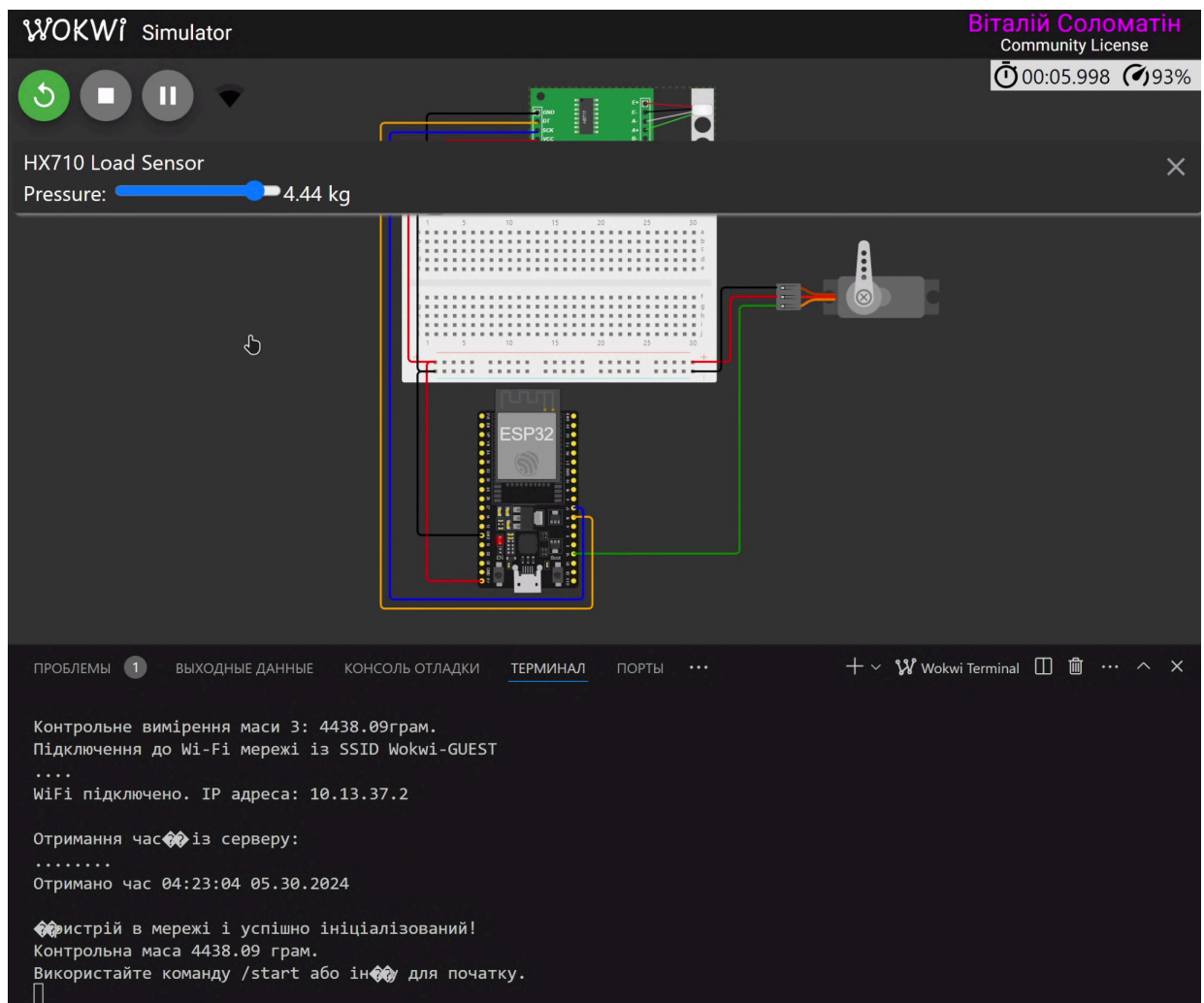


Рисунок 3.15 – Результат старту симуляції системи сповіщення про стан пристрою дозування

На приведеному вище рисунку можна спостерігати, що пристрій успішно ініціалізовано що свідчить про правильну роботу програмної функції «setup». Після її виконання у телеграм бот користувачу за замовчуванням, який вказується заздалегідь програмно, надходить повідомлення про успішну ініціалізацію від пристрою дозування, яке можна спостерігати на рисунку 3.16.

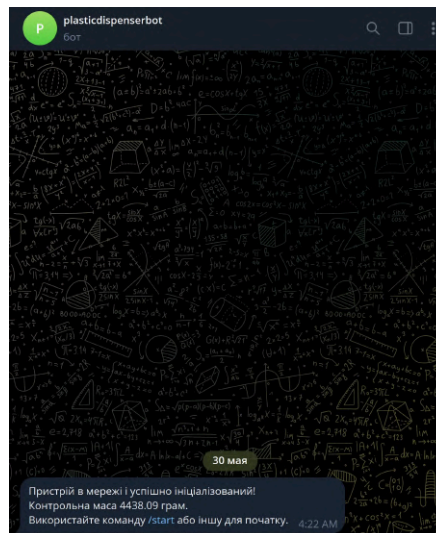


Рисунок 3.16 – Повідомлення оператора 3D принтера про успішну ініціалізацію пристрою дозування

У вищезазначеному повідомленні користувачу пропонується виконати команду «/start», яка є командою для ознайомлення із функціями системи сповіщення і переліком наявних користувальницьких команд для управління пристроєм дозування. Вивід стартового повідомлення подано на рисунку 3.17.

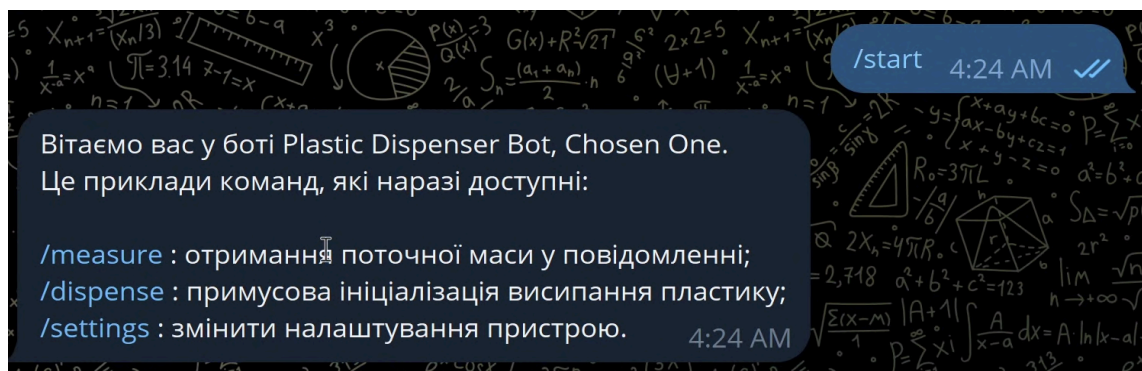


Рисунок 3.17 – Вивід стартового повідомлення оператора 3D-принтера

Першою із зазначених користувальницьких функцій у стартовому повідомленні є команда «/measure», яка примусово ініціалізує вимірювання поточної маси пластику у кінцевій ємності пристрою дозування. Результат виконання команди «/measure» продемонстровано на рисунку 3.18.

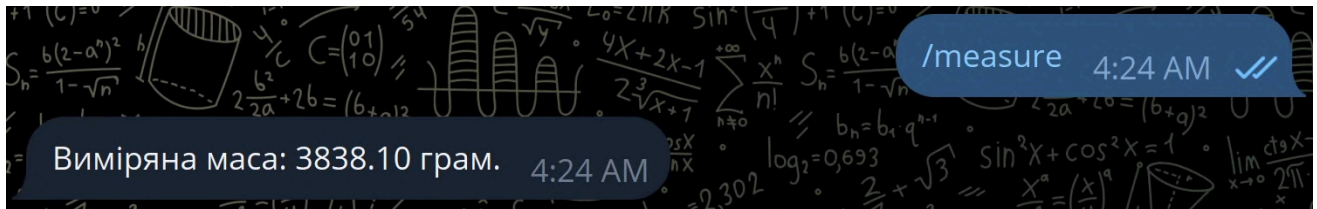


Рисунок 3.18 – Результат виконання роботи команди «/measure»

При виконанні команди «/dispense», результат роботи якої зображено на рисунку 3.19, пристроєм дозування ініціалізується примусове висипання пластику із попереднім контрольним вимірюванням ваги і у випадку якщо якщо маса пластику у кінцевій ємності вище за номінальну – примусова ініціалізація виконуватись не буде.

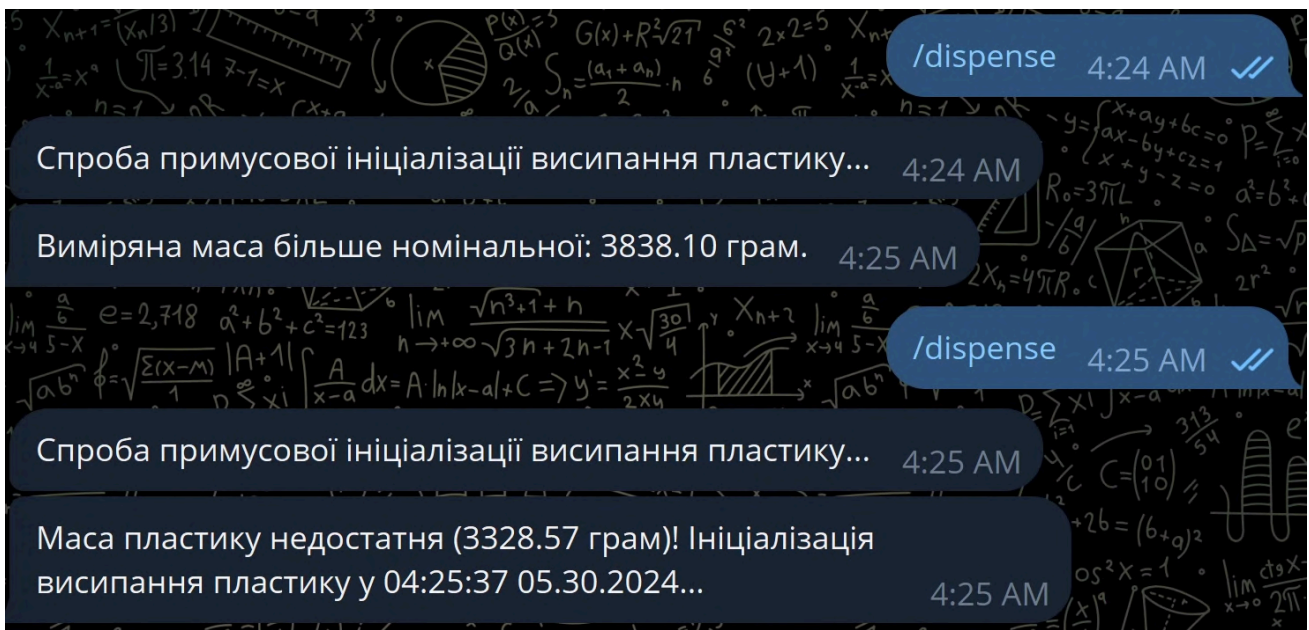


Рисунок 3.19 – Результат виконання команди «/dispense»

На рисунку 3.20 продемонстровано результат симуляції висипання пластику, при якому сервомотор робить оберт для відкриття кришки.

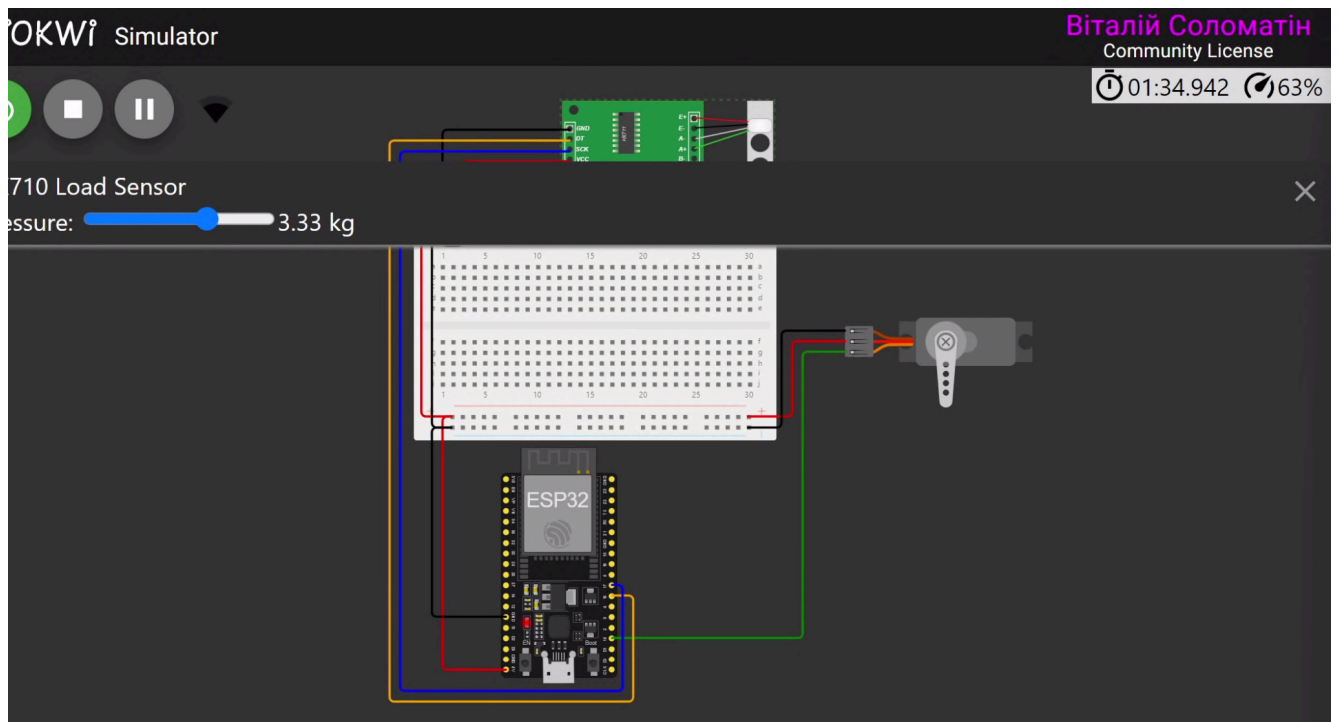


Рисунок 3.20 – Результат симуляції відкриття кришки вихідної ємності

Кришка вихідної ємності буде відкрита доки поточна вага пластику у кінцевій ємності, яку пристрій отримує завдяки постійним вимірюванням в реальному часі, не досягне «номінальної маси». Результат симуляції закриття крипки можна спостерігати на рисунку 3.21.

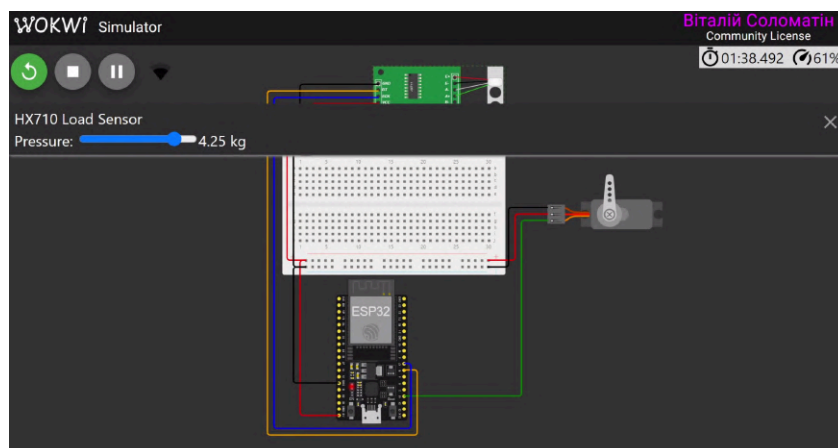


Рисунок 3.21 – Результат симуляції закриття кришки вихідної ємності

Оскільки однією із вимог для системи дозування є можливість користувацьких конфігурацій, в рамках команди «/settings» було розроблено функціонал, який надає можливість оператору 3D-принтеру налаштувати «номінальну масу», «мінімальну масу» та «інтервал автоматичних вимірювань». На рисунку 3.22 зображено відповідь телеграм-бота на команду «/settings».

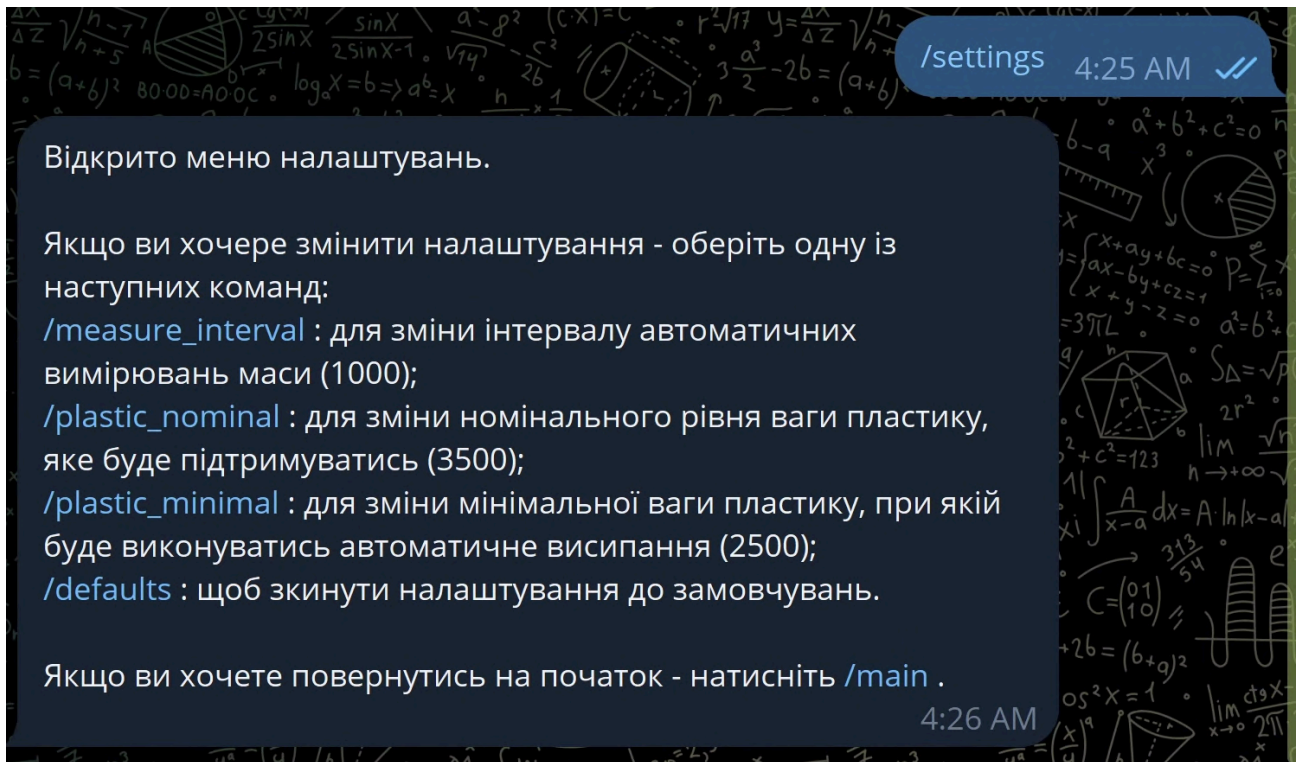


Рисунок 3.22 – Відповідь телеграм-бота на команду «/settings»

3.6 Висновки до третього розділу

В ході написання третього розділу кваліфікаційної роботи, було проведено вибір середовища розробки та розроблено загальний алгоритм роботи. Наступним етапом було створено робочий прототип системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів.

4 РОЗРОБКА ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО МАКЕТУ

4.1 Збірка демонстраційного макету системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку

Після розробки схеми підключення апаратних модулів, програмної складової та успішної симуляції роботи прототипу системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку наступним кроком була збірка демонстраційного макету, який дозволить максимально предметно працювати із об'єктом розробки цієї кваліфікаційної роботи.

Для спрощення роботи із апаратними модулями пристрою дозування пластичних матеріалів було застосовано спеціалізовану макетну плату, яка дозволяє з'єднувати елементи демонстраційного макету без застосування паяльника. «Макетна плата» для збірки мікроконтролерних систем, яка використовується в даній кваліфікаційній зображена на рисунку 4.1.

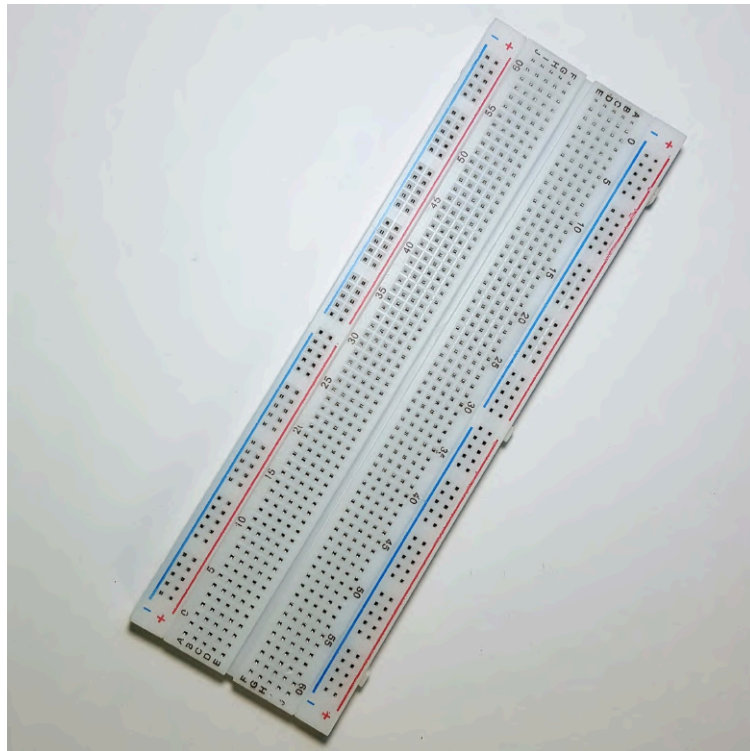


Рисунок 4.1 – «Макетна плата» для збірки мікроконтролерних систем

Оскільки плата мікроконтролера ESP32 занадто широка для стандартної макетної плати, що була згадана, було прийнято рішення, для збірки демонстраційного макету системи сповіщення про стан пристрою дозування, використовувати спеціалізовану «розвідну плату». Вона має в собі зручне розведення кожного із контактів мікроконтролера ESP32 на окремі контакти на платі, що значно спрощує підключення апаратних модулів.

Окрім вищепереліченого «розвідна плата» має окремі лінії із контактами для заземлення, напругами 5В та 3,3В. «Розвідна плата» може живитись від стандартизованих роз'ємів «12В-16В», «micro USB» та «USB Type C», що значно спрощує живлення усієї системи та дозволить жити її додатковими джерелами напруги та навіть від павербанка без використання спеціалізованого живлення напряму через контакти мікроконтролера. Просунута система живлення на «розвідній платі» для мікроконтролера ESP32, окрім всього вищепереліченого, надає можливість підключити додаткове джерело напруги і одночасно підключити плату до послідовного порта на комп'ютері, що дозволяє одночасно жити високоспоживчі елементи, такі як сервомотор, так і отримувати відлагоджувальні дані на комп'ютері від системи сповіщення про стан пристрою дозування. Використовувану «розвідну плату» надано на рисунку 4.2

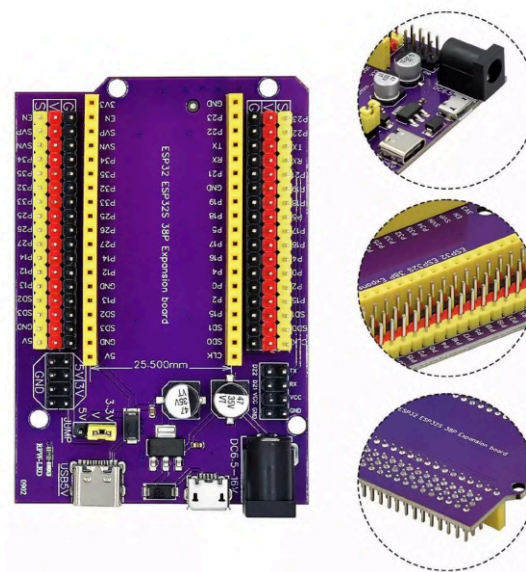


Рисунок 4.2 – «Розвідна плата» для мікроконтролера ESP32

Збірка демонстраційного макету системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D друку відбувалась сторого за розробленою схемою підключення із використанням «макетної» та «розвідної» плат.

Мікроконтролер ESP32, підключений до «розвідної плати», згаданої вище, показано на рисунку 4.3.

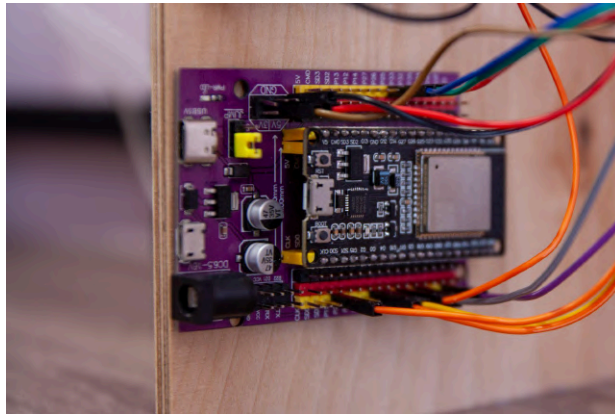


Рисунок 4.3 – Мікроконтролер ESP32, підключений до «розвідної плати»

Рисунок 4.4 демонструє підключені периферійні пристрої до мікроконтролера через макетну плату.



Рисунок 4.4 – Мікроконтролер ESP32 із підключеними периферійними пристроями

Наступним етапом було підключення АЦП НХ711 до тензодатчика ваги, для чого був задіяний паяльник. Надалі припаяні контакти були заізольовані за допомогою клей-пістолету. Результат підключення датчика ваги до першого каналу АЦП НХ711 надано на рисунку 4.5.

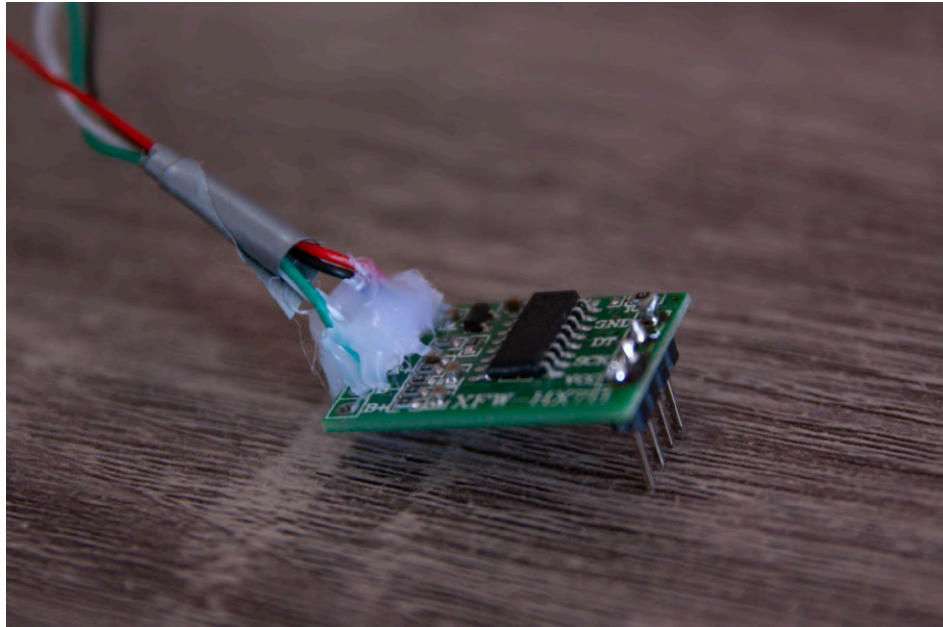


Рисунок 4.5 – Результат підключення датчика ваги до першого каналу АЦП НХ711

Наступним кроком було зібрано макет вагів із підручних матеріалів, кріпільних засобів та датчику маси. Зібраний макет вагів на основі датчика ваги НХ711 1KG Modul зображено на рисунку 4.6.

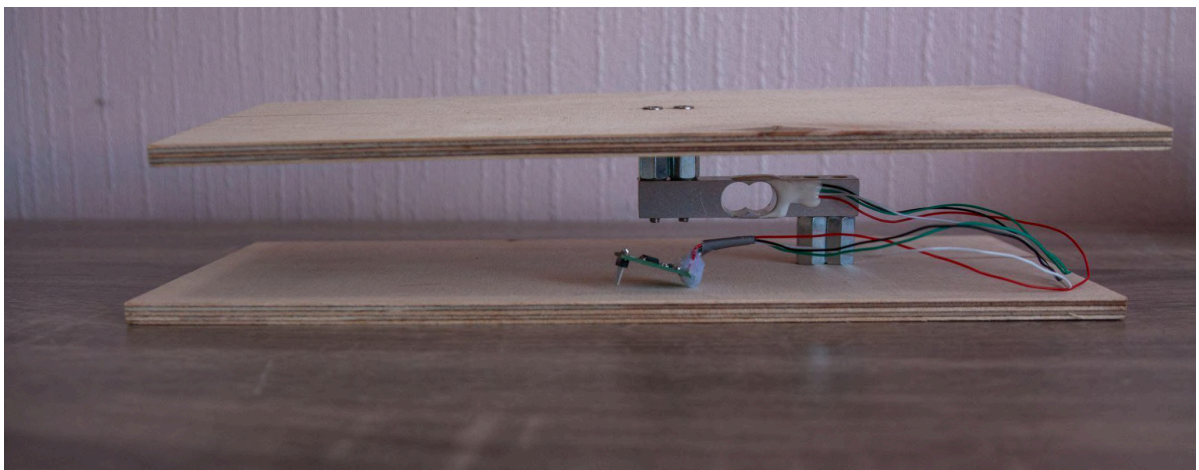


Рисунок 4.6 – Макет вагів на основі тензодатчику ваги НХ711

Було зібрано основний каркас пристрою дозування за допомогою підручних матеріалів та кріпіння. Результат збірки каркасу пристрою дозування разом із вихідною ємністю для пластичних матеріалів продемонстровано на рисунку 4.7.



Рисунок 4.7 – Зібраний каркас пристрою дозування разом із вихідною ємністю

Далі було прикріплено кришку вихідної ємності для пластичних матеріалів до сервомотору, який в свою чергу був закріплений на каркасі пристрою дозування за допомогою підручних матеріалів, кріпіння та клей-пістолету, що видно на рисунку 4.8

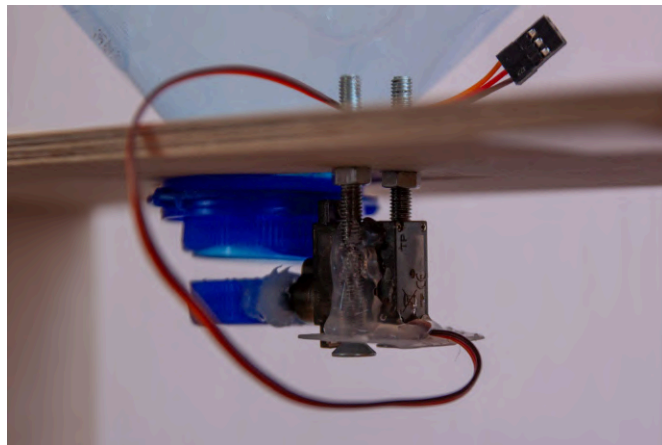


Рисунок 4.8 – Кришка вихідної ємності, скріплена разом із сервомотором

Надалі всі елементи пристрою дозування, включаючи мікроконтролер ESP 32, периферійні пристрої на макетній платі, макет вагів для кінцевої ємності, сервопривід із кришкою вихідної ємності та головний каркас пристрою, було підключено один до одного, що можна побачити на рисунку 4.9.

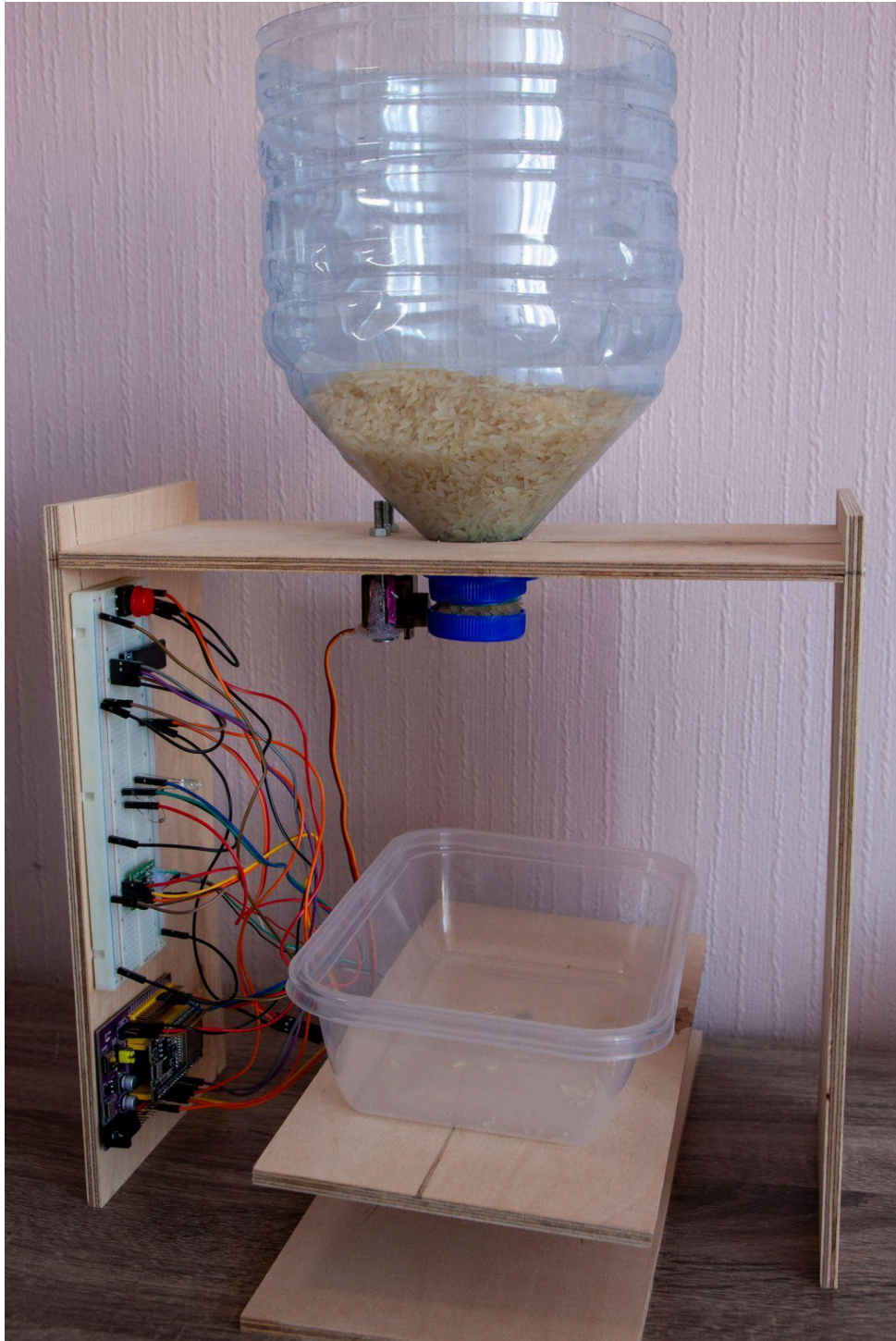


Рисунок 4.9 – Результат збірки демонстраційного макету системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів

4.2 Експериментальні дослідження. Демонстрація роботи системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку

Після успішної збірки демонстраційного макету наступним етапом було проведення експериментального дослідження, що дозволило би удостовіритися в роботоздатності як апаратного демонстраційного макету пристрою дозування, так і системи сповіщення у вигляді телеграм-бота.

Результат підключення мікроконтролера в складі демонстраційного макету до живлення через кабель «Micro USB» зображено на рисунку 4.10.

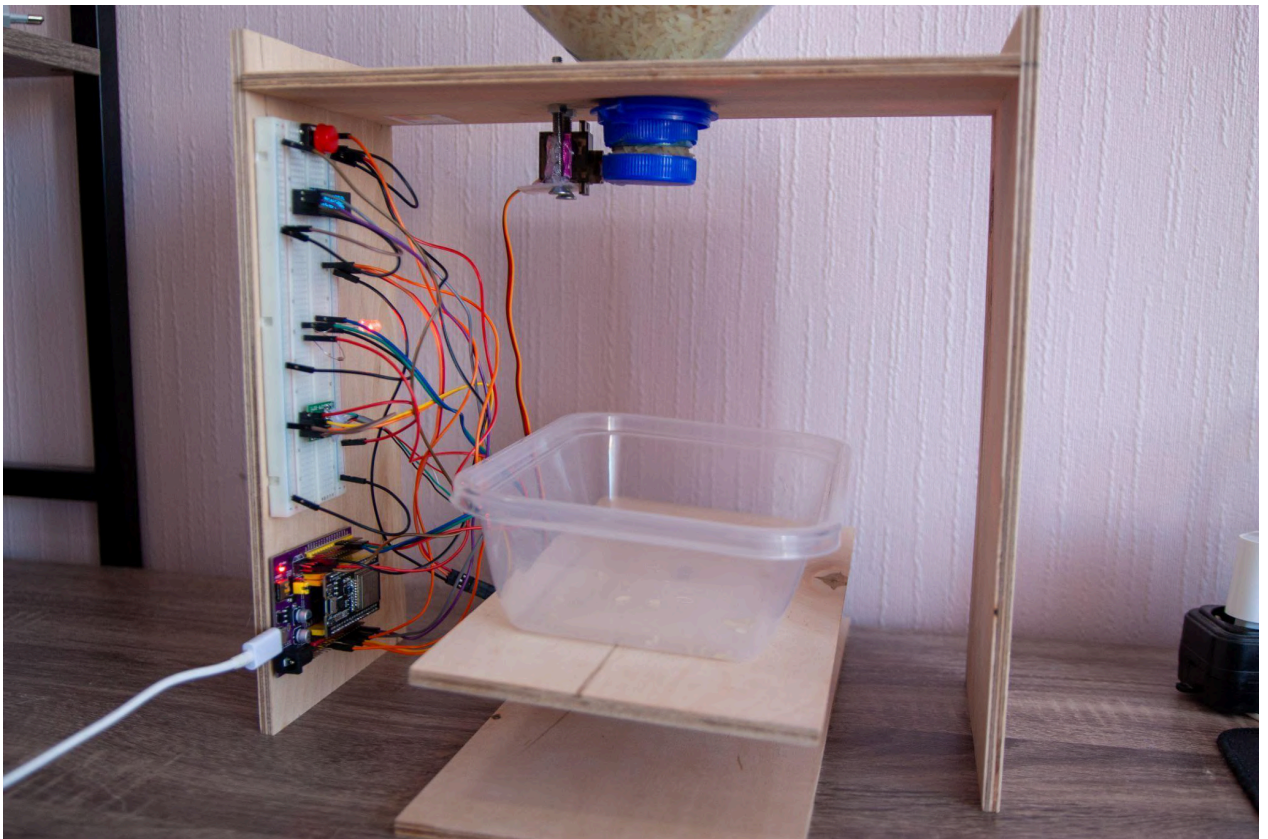


Рисунок 4.10 – Результат включення демонстраційного макету

Згідно за програмним алгоритмом під час початкової ініціалізації загоряється світлодіод червоним кольором, та проводяться контрольні вимірювання маси пластику у кінцевій ємності. Вся супутня інформація, яка є корисною для відладки пристрою дозування оператором 3D-принтера виводиться на підключений OLED дисплей.

Результат виведення відладницької інформації на дисплеї пристрою дозування, під час його ініціалізації, видно на рисунку 4.11.

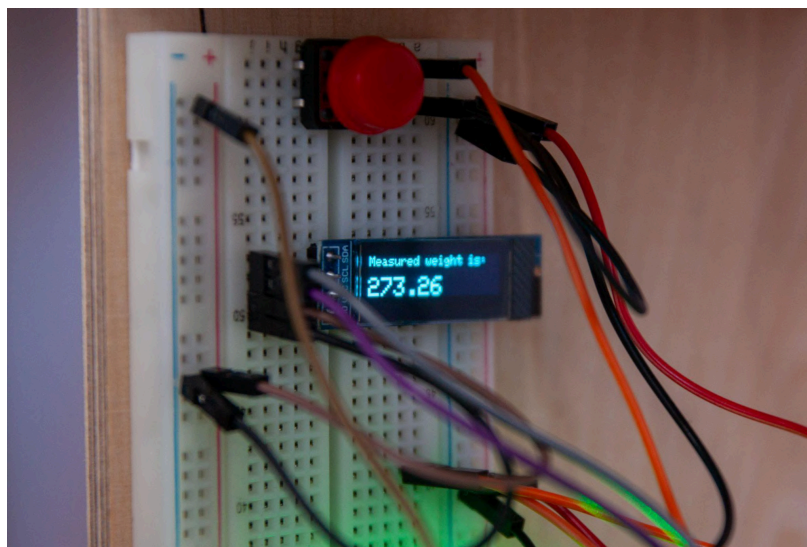


Рисунок 4.11 – Результат виведення відладницької інформації на дисплей пристрою дозування

Оскільки пристрою дозування пластичних матеріалів необхідно інтернет-з'єднання, під час його ініціалізації відбуваються спроби підключення до Wi-Fi мережі. Виведення відладницької інформації про це зображено на рис. 4.12.

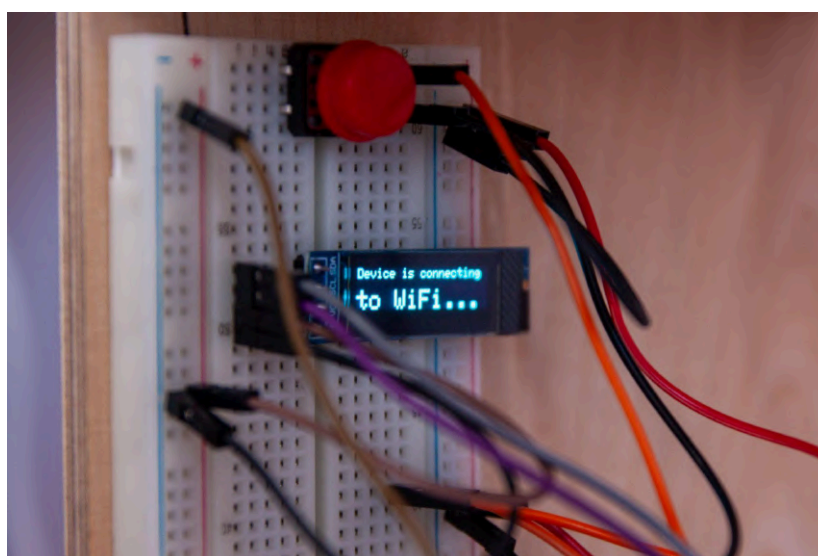


Рисунок 4.12 – Пристрій дозування підключається до Wi-Fi

Як можна побачити на рисунку 4.13, світлодіод загоряється зеленим кольором, як тільки пристрій дозування закінчив ініціалізацію.

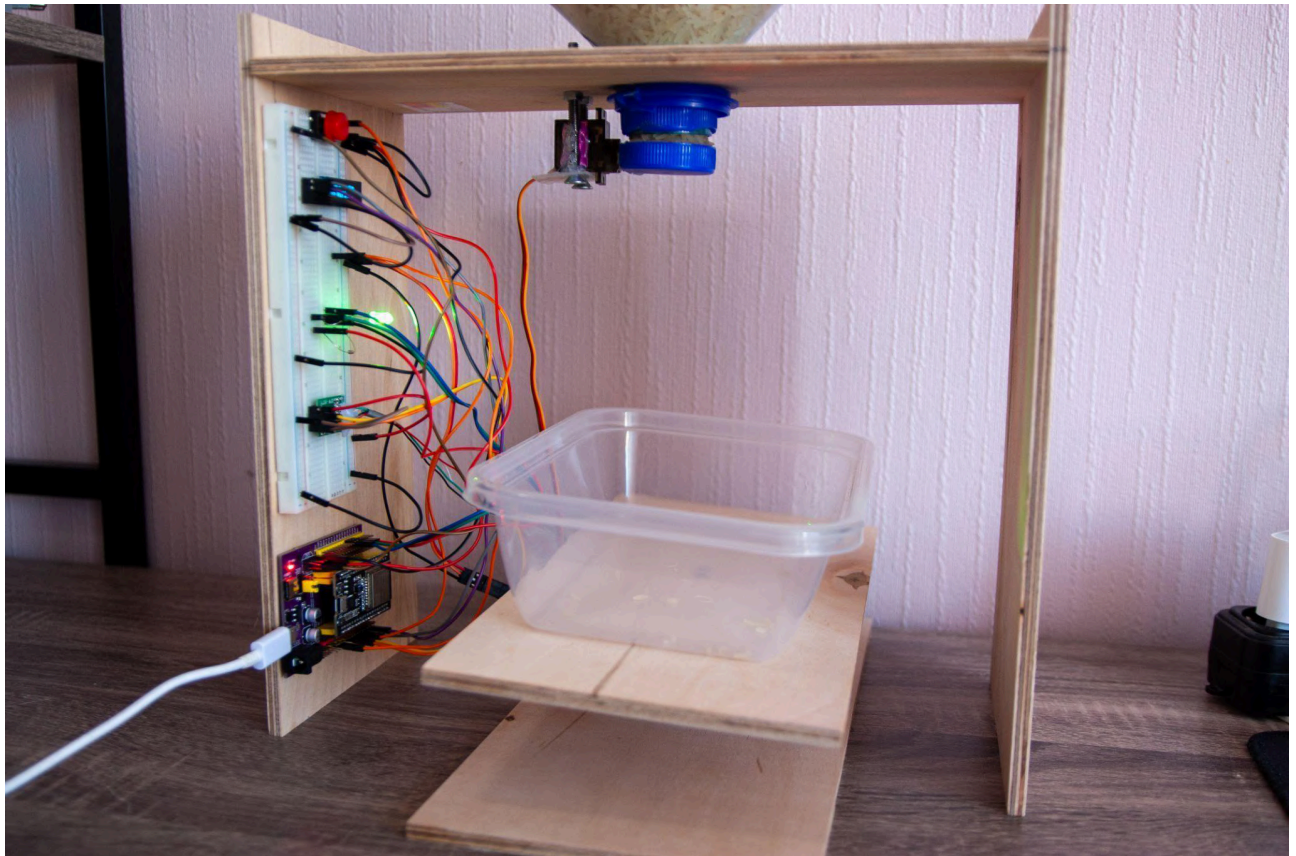


Рисунок 4.13 – Кінець ініціалізації пристрою дозування

В цей же момент, після ініціалізації пристрою дозування, користувачу, встановленому за замовченням програмно, надходить повідомлення про успішний старт пристрою, що демонструється на рисунку 4.14.

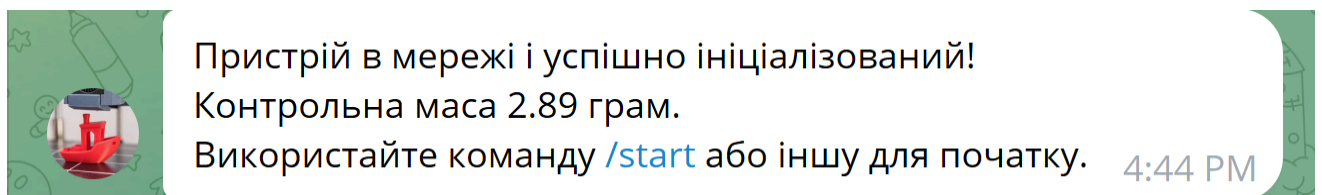


Рисунок 4.14 – Повідомлення про успішну ініціалізацію

Виконуючи основний цикл програми система сповіщення виконує постійні перевірки маси пластику в кінцевій ємності із програмним інтервалом. В момент, коли під час вимірювання маса становиться менше за мінімальну, виконується автоматичне висипання пластику, завдяки відкриванню кришки. Рисунок 4.15 предметно демонструє процес висипання.

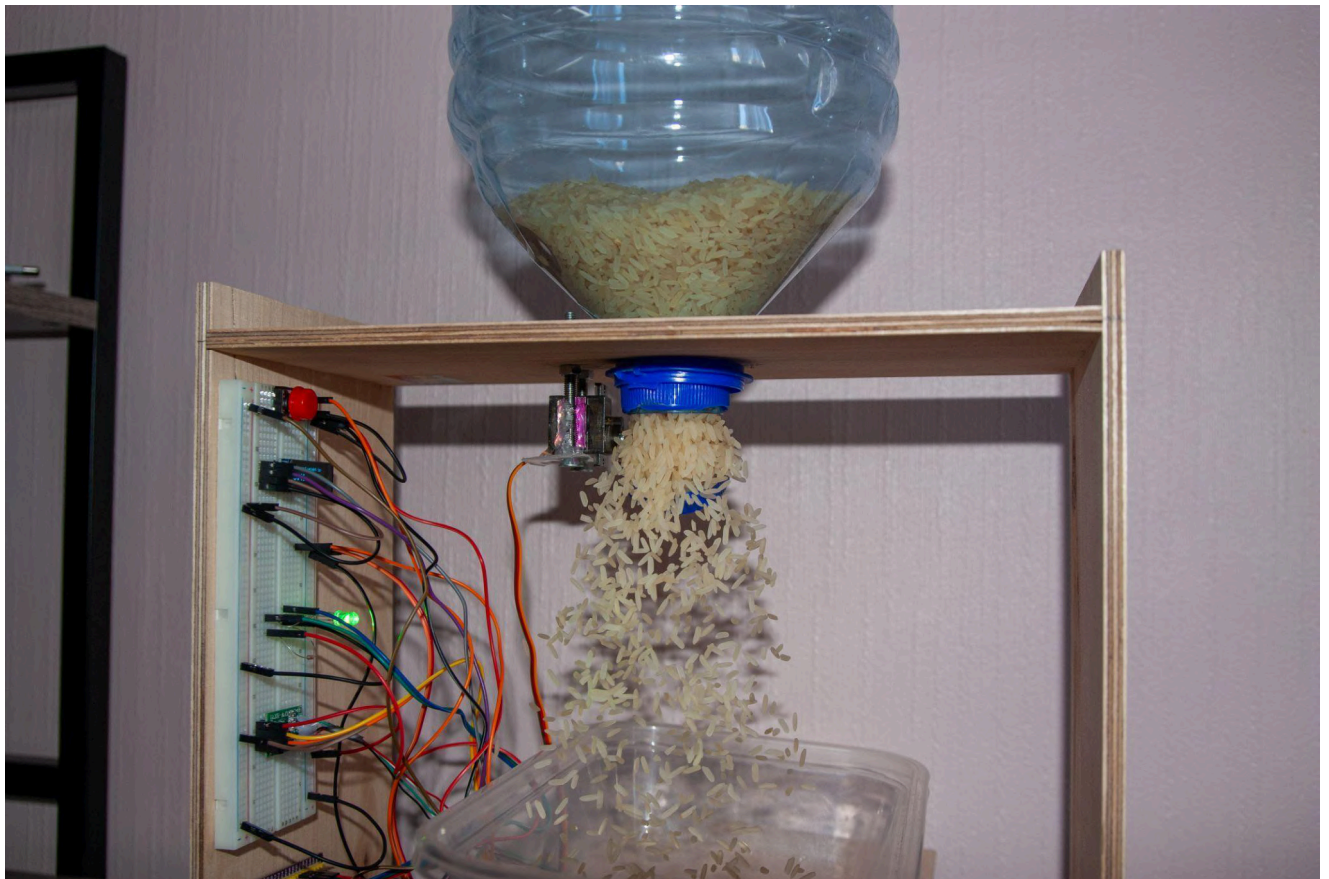


Рисунок 4.15 – Процес висипання пластику в кінцеву ємність

Під час висипання пластичного матеріалу, пристроєм дозування, в реальному часі, виконуються вимірювання маси гранульованого пластику у кінцевій ємності. Одномоментно із тим, як тільки пристрій виміряє вагу, яка буде більше «номінальної», кришка вихідної ємності закривається для переривання дозування пластичного матеріалу.

Закінчення дозування пластику в кінцеву ємність зображено на рис. 4.16.

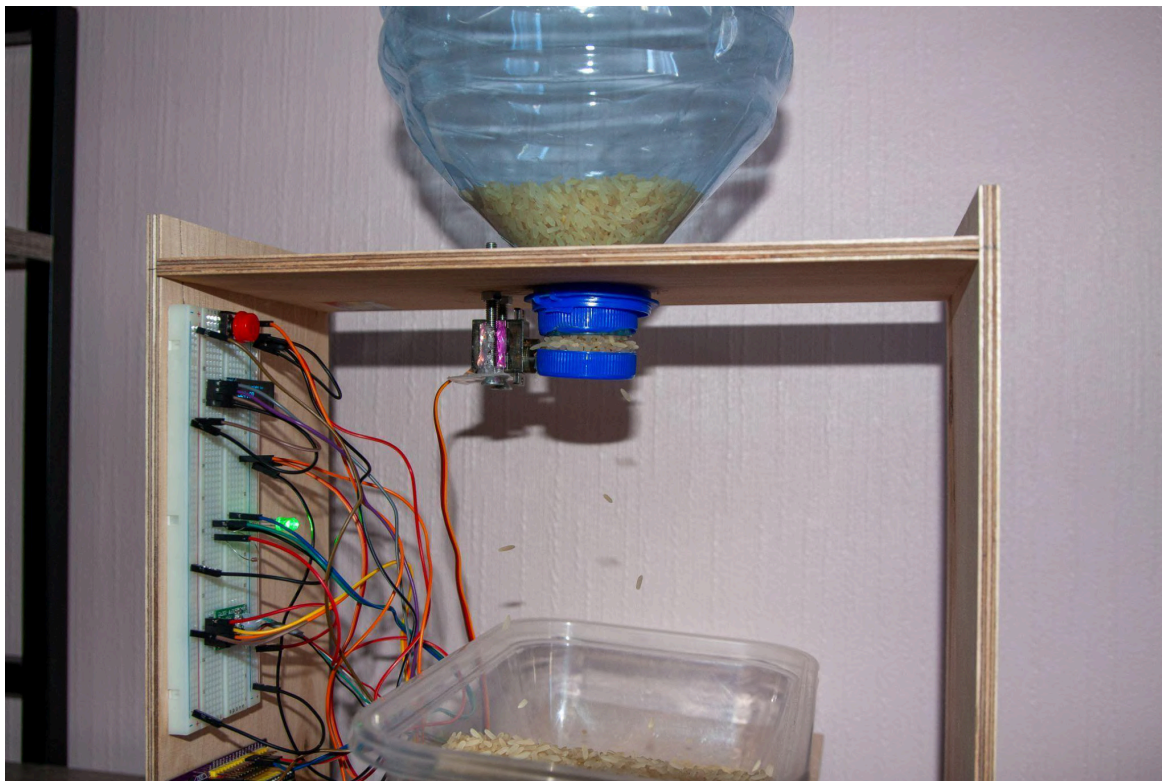


Рисунок 4.16 – Закінчення дозування пластику

Протягом усього процесу дозування пластичних матеріалів в кінцеву ємність система сповіщення, у вигляді телеграм-бота, сповіщення про початок дозування, недостатню масу пластику та про закінчення дозування, як це показано на рисунку 4.17.

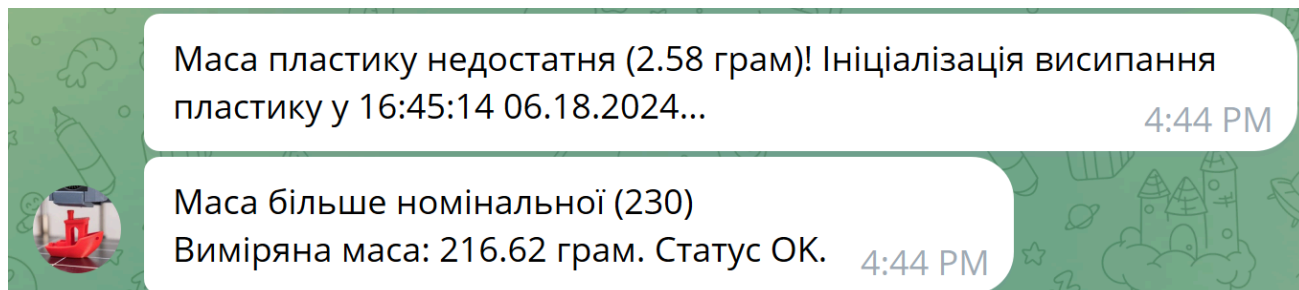


Рисунок 4.17 – Сповіщення оператора 3D-принтеру через телеграм-бот про висипання пластику

За алгоритмом роботи програми системи сповіщення про стан пристрою дозування кожне вимірювання маси пластику супроводжується виведенням чисельної маси в грамах на дисплей пристрою дозування, що можна побачити на рисунку 4.18.

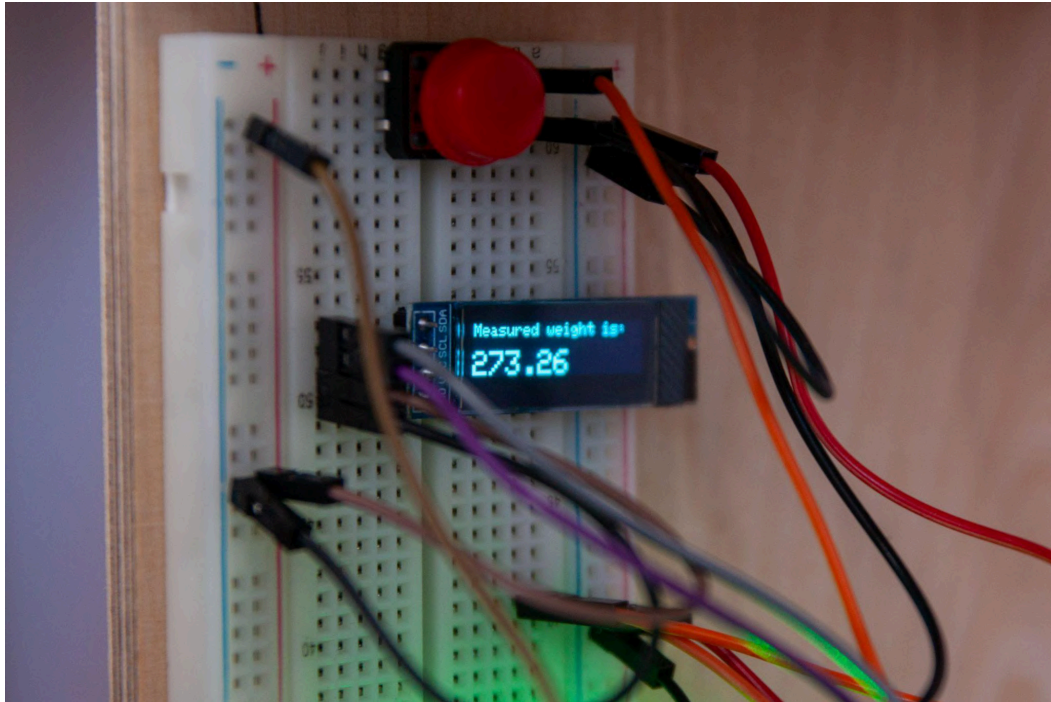


Рисунок 4.18 – Виведення виміреної маси пластику у грамах на дисплей пристрою

4.3 Висновки до четвертого розділу

Після завершення цього розділу даної кваліфікаційної роботи було зібрано та протестовано демонстраційний макет пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D принтеру, який дозволив предметно переконатися в роботоздатності програмної частини системи сповіщення про стан пристрою дозування.

В ході проведеного експериментального дослідження було виявлено, що демонстраційний макет пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку коректно виконує свою функцію, що полягає дозуванні гранульованого пластику та сповіщенні оператору 3D-принтера за допомогою Telegram-бота.

5 ВИЗНАЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ СИСТЕМИ

Визначення стабільності системи є важливим етапом в проектування системи автоматизації і дає змогу визначити стабільні параметри системи при яких вона буде відповідати вимогам, визначених в першому розділі.

Для визначення стабільності системи автоматизації сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку необхідно виконати наступні кроки:

- визначити параметри сервоприводу;
- визначити передатну функцію сервоприводу;
- визначити параметрів ПТ2-ланки;
- вибрати параметри ПІ-регулятора;
- знайти передатну функцію системи з ПІ-регулятором;
- визначення параметрів K_p і K_i ;
- порахувати передатну функцію.

5.1 Визначення параметрів та передатної функції сервоприводу

На початку необхідно визначити основні характеристики сервоприводу, зокрема максимальне навантаження та час відгуку. Це допомагає зрозуміти, які фізичні обмеження існують для системи та які параметри використовувати в подальших розрахунках.

Знання цих параметрів дозволяє правильно моделювати сервопривід у системі управління. Визначення параметрів допомагає задати межі для розрахунків і моделювання, що є основою для точних і реалістичних результатів.

Максимальне навантаження для сервоприводу, який відкриває та закриває кришку вихідної ємності, для демонстраційного макету, дорівнює 1 кг (приблизно 9,81 Н, враховуючи прискорення вільного падіння). Максимальний крутний момент для сервопривода, використовуємого для даної кваліфікаційної роботи є ~ 10 кг/см (9.81 Н/см), а час відгуку $\sim 0,2$ секунди на 60 градусів оберту.

Передатна функція описує, як система реагує на вхідний сигнал. Вона є математичною моделлю, що дозволяє аналізувати динамічну поведінку системи. Для сервоприводу зазвичай використовують модель другого порядку, оскільки вона коректно описує інерційні властивості та демпфування. Знання передатної функції дає можливість аналізувати стабільність системи, її перехідні процеси та частотні характеристики, що важливо для проектування ефективного регулятора.

Передатну функцію можна наблизити до типового другого порядку ПТ2-ланки (сервопривід часто моделюють саме так):

$$G(s) = \frac{K}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}; \quad (5.1)$$

де K – коефіцієнт підсилення, ζ – коефіцієнт демпфування, ω_n – власна частота.

5.2 Визначення параметрів ПТ2-ланки

Параметри власної частоти (ω_n) та коефіцієнта демпфування (ζ) визначають динамічні властивості системи. Власна частота вказує на швидкість реакції системи, а коефіцієнт демпфування визначає характер цієї реакції (перерегулювання, затухання тощо). Ці параметри дозволяють точно налаштувати модель сервоприводу, забезпечуючи коректне відображення його поведінки в реальних умовах експлуатації.

ПІ-регулятор має передатну функцію виду:

$$G_{PI}(s) = K_p + \frac{K_i}{s}; \quad (5.2)$$

5.3 Знаходження передатної функції системи з ПІ-регулятором

Передатна функція замкнутої системи з регулятором дає можливість оцінити, як система буде реагувати на вхідні сигнали з урахуванням впливу регулятора, що дозволяє аналізувати стабільність і динамічні характеристики всієї системи. Аналіз дозволяє виявити потенційні проблеми зі стабільністю і забезпечити необхідні коригування для досягнення оптимальної роботи системи.

Передатна функція замкнутої системи виглядає так:

$$G_{closed}(s) = \frac{G(s) \cdot G_{PI}(s)}{1 + G(s) \cdot G_{PI}(s)}; \quad (5.3)$$

5.4 Визначення параметрів K_p і K_i та вираження передатної функції

Визначення параметрів K_p і K_i є ключовим для налаштування регулятора. Значення підбираються з урахуванням вимог до стабільності і швидкості реакції системи. Підбір оптимальних значень даних параметрів дозволяє досягти балансу між швидкістю реакції і стабільністю системи. Підберемо значення K_p і K_i , щоб система була стійкою і швидко реагувала на вхідний сигнал. Для спрощення, припустимо такі значення:

$$\begin{aligned} - K_p &= 1; \\ - K_i &= 10. \end{aligned}$$

Розглянемо крокову функцію (стрибок на вході). Для спрощення представимо. Передатна функція замкнутої системи з підставленими значеннями виглядає так:

$$G_{closed}(s) = \frac{s+10}{s^3+20s^2+110s+100}. \quad (5.4)$$

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Охорона праці при 3D-друку

В процесі 3D-друку важливо дотримуватися вимог охорони праці, щоб забезпечити безпеку та здоров'я працівників. Основними нормативними актами, що регулюють питання охорони праці в Україні, є Закон України "Про охорону праці", ДСТУ ISO 45001:2018 (Система управління охороною здоров'я і безпекою праці) та інші відповідні державні стандарти. 3D-друк включає роботу з різноманітними матеріалами, включаючи пластики, смоли, порошкові метали, які можуть становити загрозу для здоров'я через виділення токсичних речовин, ультрафіолетове випромінювання, високу температуру та механічні небезпеки. Для забезпечення безпеки необхідно враховувати специфічні ризики, пов'язані з кожним типом обладнання та матеріалу.

6.2 Аналіз небезпек і шкідливих факторів на виробництві із використанням 3D-друку

При проведенні аналізу небезпек і шкідливих факторів, пов'язаних з 3D-друком, визначено кілька основних категорій ризиків. Хімічні небезпеки включають в себе виділення летких органічних сполук (ЛОС) і дрібнодисперсних частинок при плавленні або випаровуванні матеріалів, що використовуються для друку. Механічні небезпеки пов'язані з рухомими частинами принтера, які можуть спричинити травми при неправильному використанні. Температурні ризики виникають через високу температуру нагрівальних елементів та робочих зон принтера. Також існують електричні небезпеки через використання високовольтного обладнання. Оптичні небезпеки зумовлені використанням лазерів або ультрафіолетового світла в деяких типах 3D-принтерів, що може спричинити пошкодження зору.

6.3 Заходи з охорони праці у сфері 3D-друку

Для зменшення ризиків необхідно впроваджувати комплексні заходи з охорони праці. Серед них важливе місце займають організаційні та технічні заходи. Організаційні заходи включають навчання працівників правилам безпечної роботи з 3D-принтерами, розробку інструкцій з охорони праці та проведення регулярних інструктажів. Технічні заходи передбачають оснащення робочих місць витяжною вентиляцією для видалення шкідливих випаровувань, встановлення захисних екранів на рухомих частинах принтера, таких як головка екструдера або кришка пристрою дозування, забезпечення стабільного електроживлення та заземлення обладнання. Працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту, такі як респіратори, захисні окуляри, рукавички та спеціальний одяг. Необхідно забезпечити регулярне технічне обслуговування обладнання та перевірку його справності.

6.4 Пожежна безпека при 3D-друку

Пожежна безпека є важливим аспектом роботи з 3D-принтерами, оскільки використовувані матеріали та обладнання можуть спричинити займання. Для запобігання пожежам слід дотримуватися вимог ДСТУ EN 13501-1:2016 (Класифікація будівельних матеріалів та виробів за вогнестійкістю), забезпечити приміщення системами пожежної сигналізації та вогнегасниками. Важливо контролювати температуру нагрівальних елементів і уникати перегріву обладнання. Робочі зони повинні бути звільнені від займистих матеріалів, а також мати доступ до засобів пожежогашіння. Працівники повинні знати правила евакуації та вміти користуватися вогнегасниками.

6.5 Висновки до шостого розділу

Забезпечення охорони праці при 3D-друку є важливою складовою безпечної та ефективної роботи. Аналіз небезпек та шкідливих факторів дозволяє виявити потенційні ризики і впровадити відповідні заходи з їхньої мінімізації. Важливими аспектами є організація навчання персоналу, використання засобів індивідуального захисту, технічне оснащення робочих місць та забезпечення пожежної безпеки. Виконання цих заходів відповідно до державних стандартів України сприяє створенню безпечного робочого середовища та знижує ризики виникнення нещасних випадків на виробництві.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз методів сповіщення операторів 3D-принтера про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку, проаналізовано аналогічні системи сповіщення та методи передачі інформації між системою сповіщення і пристроєм дозування.

На основі проведеного аналізу було розроблено структурну схему сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів.

Далі було обрано апаратні модулі для демонстраційного макету системи сповіщення та розроблено схему їх підключення. Обрано середу розробки та розроблено програмну складову системи сповіщення. Було проведено симуляцію та прототипування для пристрою дозування. Наступним етапом було Зібрано демонстраційний макет системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів, який складався із обраних апаратних модулів, підручних матеріалів та крепіжних засобів. Заключним етапом було проведено експериментальне дослідження, що дозволило впевнитись в роботоздатності програмної, та апаратної частини демонстраційного макету системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів для 3D-друку.

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.
2. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньої програми «Системна інженерія» : Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарева, О.М. Цимбал та ін. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2023. – 218 с.
3. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.М. Цимбал, О.В. Токарева, А.І. Бронніков. Харків: ХНУРЕ, 2022. 66 с.
4. В. О. Соломатін. Розробка системи сповіщення про стан пристрою дозування пластичних матеріалів / Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2024) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2024. – Вип. 3. – с. 63-69.
5. Zhang, Y., Wang, J., Zhang, Y., & Liu, Y. (2020). Development of a 3D Printing Filament Extruder with Material Reuse Capability. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(7).
6. Mishra, S., & Balla, V. K. (2021). Additive Manufacturing Technologies: Recent Developments in 3D Printing of Ceramics. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 143(3), 030801.
7. Прокопенко, І. М., & Коваленко, О. В. (2020). Технологічні особливості друку та послідовність виготовлення деталей на 3D принтері. *Вісник*

Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Технічні науки, 52(1396), 81-85.

8. Столяренко, О. Ю., & Гуменюк, С. А. (2019). Дослідження механічних властивостей полімерних композицій, отриманих методом 3D-друку. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія "Екологія, людина, суспільство", с. 31, 155-159.

9. Чумаченко, В. О., & Ткаченко, О. В. (2020). Методи інтеграції компонентів у системі управління 3D-принтером. Збірник наукових праць Херсонського державного університету. Серія: Технічні науки, 3, 23-28.

10. Almohammad, A., Xu, X., & Lindroth, D. (2019). Development and Implementation of Smart Manufacturing Technologies in Additive Manufacturing: A Review. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 141(4), 040802.

11. Novoselov S., Sychova O. Technology of using digital twins in the control of industrial equipment. – Information systems in project and program management: Collective monograph edited by I. Linde. European University Press. Riga: ISMA, 2023. – pp. 173-181. doi: 10.30837/MMP.2023.281

12. Невлюдов І. Ш. Застосування цифрових двійників технічних засобів автоматизації для розроблення програмно-технічних комплексів АСУ ТП : Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків: Видавництво Іванченка І. С., 2023. – 267 с. ISBN 978-617-8059-95-8, doi: 10.30837/978-617-8059-95-8

13. Igor Nevliudov, Serhii Novoselov, Oksana Sychova. Control automation of assembly operations using a computer vision system in intelligent production. *Journal of natural sciences and technologies*. 2023, 2(2), pp. 173-182, doi: 10.5281/zenodo.8098567.

14. Невлюдов, І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. посіб. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 293 с.

15. Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. : , 2022. – 427 с.

16. Пневматичні пристрої та засоби автоматизації мехатронних систем [Текст] : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. – Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : Панов А. М. [вид.], 2020. – 255 с. – ISBN 978-617-7859-58-0 ; DOI: 10.30837/978-617-7859-58-0.