

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

Освітній рівень

Метод автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи

Назва теми

КВРАКІТР.2023181.02.14.ПЗ

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Шифр, назва

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та

робототехніка»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та

робототехніка»

Назва

Виконав:

студент II курсу, група АКІТРм-23-1

  
Підпис

Максим ЛУГОВИЙ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

  
Підпис

Микола ФЕДУЛА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

  
Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
зав. кафедри АКІТтаР

  
Підпис

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«   »     грудня 2024 р.

Хмельницький 2024

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТтаР

Валерій МАРТИНЮК

01 вересня 2024р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Луговий Максим Русланович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Метод автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи

Керівник роботи Федула Микола Васильович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26.08.2024 р. №60

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.12.2024р.





3 Вихідні дані до роботи мета роботи: розробити метод автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи. Предметом дослідження магістерської роботи є алгоритми та методи керування системою автоматизації 3D друку для безперервної роботи системи.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ, Аналіз відомих методів автоматизації процесу 3d-друку для безперервної роботи системи, Розрахунок параметрів елементів автоматизації процесу 3d-друку для безперервної роботи системи, Моделювання методу системи керування автоматизації процесу 3d-друку для безперервної роботи системи, Реалізація алгоритму та технології автоматизації процесу 3d-друку для безперервної роботи системи

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)  
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата  |   |
|---------------|---|---|---|
|               |   | завдання видав  | завдання прийняв  |
| Антиплагіат   | Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР       |  |  |
| Нормоконтроль | Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР     |  |  |

7 Дата видачі завдання 01 вересня 2024р.



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи».

Автор роботи: Луговий Максим Русланович.

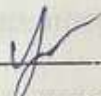
Керівник роботи: Федула Микола Васильович

Пояснювальна записка: 77 с., 44 рис., 0 табл., 1 дод., 71 джерел.

Графічна частина: 13 презентаційних слайдів.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, 3D-друк, АЛГОРИТМІЗАЦІЯ,  
КОНВЕЄРНА СТРІЧКА, RASPBERRY PI.

**Мета роботи:** розробити метод автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи. Розроблено метод автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи, який полягає у використанні модульної системи яка складається з конвеєрної стрічки, датчиків відстані, датчика температури, поверхні для друку, та Raspberry Pi для опрацювання параметрів. Розроблено та змодельовано візуалізацію системи автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи принтеру, а також розроблено мобільний додаток для перевірки параметрів та контролю системи.

  
Підпис студента

02.12.29  
Дата

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 6  |
| 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ 3D-ДРУКУ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОБОТИ СИСТЕМИ .....              | 10 |
| 1.1 Огляд та аналіз існуючих систем безперервного друку.....   | 10 |
| 1.2 Аналіз програмних засобів для контролю безперервного друку.....  | 15 |
| 1.3 Вибір обладнання автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи. ....                  | 18 |
| 1.4 Висновки до першого розділу.....   | 21 |
| 2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ 3D-ДРУКУ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОБОТИ СИСТЕМИ.....      | 23 |
| 2.1 Розрахунок параметрів конвеєрної стрічки .....   | 23 |
| 2.2 Аналіз поверхонь для друку .....   | 28 |
| 2.3 Аналіз характеристик філаменту.....  | 31 |
| 2.4 Висновки до другого розділу.....   | 35 |
| 3 МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ 3D-ДРУКУ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОБОТИ СИСТЕМИ..... | 37 |
| 3.1 Під'єднання та налагодження обміну даних між Raspberry Pi та OctoPrint.....                            | 37 |
| 3.2 Побудова алгоритму керування системою автоматизації процесу 3D-друку .....                             | 46 |
| 3.3 Розробка абстрактної моделі системи автоматизації процесу 3D-друку .....                               | 53 |
| 3.4 Висновки до другого розділу.....   | 61 |
| 4 РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ 3D-ДРУКУ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОБОТИ СИСТЕМИ.....   | 63 |
| 4.1 Вибір середовища для розробки моделі системи автоматизації процесу 3D-друку .....                      | 63 |

|   |    |
|---|----|
| 4.2 Реалізація моделі системи автоматизації процесу 3D-друку у середовищі SketchUp..... | 65 |
| 4.3 Розробка Web візуалізації системи автоматизації процесу 3D-друку.....               | 73 |
| 4.4 Висновки до четвертого розділу.....   | 77 |
| ВИСНОВКИ .....  | 78 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....  | 81 |

## ВСТУП

3D-друк став важливою частиною багатьох малих та середніх бізнесів даючи дешеву альтернативу виготовленню компонентів та різних готових моделей. Починаючи від виробництва комплектуючих до дронів закінчуючи виготовленням фігурок та текстилі, адаптивність та відсутність вимоги до форм дає можливість 3D принтерам виготовляти любі елементи без необхідності додаткових налаштувань та внесень змін на відміну від станків. Також не можна упускати важливість 3D-друку як спосіб виготовлення легких модифікацій чи складних компонентів для дронів які постачаються для військових. На даний момент в Україні існують сотні центрів із 3D-друку, які допомагають армії, а також приватні волонтерські принтери які не дивлячись на свої малі потужності продовжують вкладати свою частину задля перемоги України.[1-5]

Чудовим прикладом можуть слугувати невеликі волонтерські об'єднання які виготовляють скиди для дронів, або прості кріплення на конектори для старлінків. Подібні предмети вимагають від години до кількох, інколи друк може займати день якщо предмет складний та великий, але у випадку кріплень вони можуть друкуватися за годину і якщо принтер може друкувати увесь день, то людина навряд чи зможе кожен годину приходити до нього аби забрати готові вироби та очистити полотно для нового циклу друку, для вирішення подібної проблеми якраз і буде використовуватися наш метод автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи. [6-9]

Незважаючи на те, що індустрія 3D-друку була створена понад 30 років тому, її найбільше зростання припало на останнє десятиліття. Станом на 2018 рік прогнозується, що до 2022 року галузь зросте до 11 мільярдів доларів, а темпи зростання становитимуть 27% щороку протягом цього періоду. Незважаючи на таке зростання, технологія все ще має певні обмеження,

оскільки майже всі 3D-принтери на ринку друкують методом зверху вниз, перший шар друкується на плоскій поверхні, а потім додаються наступні шари, поки прототип не буде завершений. Цей метод має деякі суттєві обмеження, оскільки розмір друку обмежений розміром принтера. Великі об'єкти неможливо надрукувати без використання принтера, який є більшим за потрібний об'єкт. Крім того, деталі часто доводиться видаляти з відбитків вручну, що обмежує користувача можливістю друкувати по одному відбитку за раз і створює ризик пошкодження деталей під час видалення.

#### **Актуальність теми.**

Актуальність роботи обумовлена зростанням потреби у підвищенні ефективності 3D-друку як основного методу виготовлення підприємств які спеціалізуються на виробництві та прототипуванні, для яких забезпечення безперервної роботи системи якщо не є критично важливим то є бажаним, оскільки це призведе до збільшення продуктивності та зменшення людського втручання. В той час як застосування 3D-принтерів для створення складних і точних виробів набуває широкого розповсюдження у різних сферах, від промисловості до медицини, продуктивність друку значною мірою залежить від безперервності процесу як подачі філаменту так і очищення полотна для початку повторного друку, що потребує ручного втручання. [10,11]

Автоматизація процесу очищення полотна для продовження 3D-друку дозволяє зменшити частоту зупинки та втручання людини тим самим забезпечити стабільну роботу системи навіть для великих партій виробів або тривалих проектів. На ринку існує кілька рішень для виконання поставлених задач автоматизації 3D-друку, які базуються на різних підходах та технологіях, таких як автоматичний контроль параметрів друку, алгоритми відстеження справності друку та роботизовані маніпулятори для зміни матеріалів, але для більшості користувачів висока ціна модифікацій системи призводить до відмовлення від них. Таким чином, розробка методу

автоматизованої системи для безперервної роботи 3D-принтера є актуальною задачею, яка дозволяє підвищити ефективність процесу друку і зробити його більш доступним для звичайних користувачів.

### **Метою роботи.**

Метою роботи є розробка методу автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи. Для виконання мети роботи потрібно розглянути наступні завдання:

- аналіз існуючих методів та технологій автоматизації процесу 3D-друку;
- дослідження програмних засобів для імітаційного моделювання процесу друку;
- розробка математичної моделі роботи 3D-принтера для аналізу його продуктивності;
- розробка засобів оптимізації процесу друку;
- створення моделі автоматизованої системи для забезпечення безперервної роботи 3D-принтера.

### **Об'єктом дослідження**

Об'єктом дослідження виступають методи процесу автоматизації 3D друку для безперервної роботи системи

### **Предметом дослідження**

Предметом дослідження магістерської роботи є алгоритми та методи керування системою автоматизації 3D друку для безперервної роботи системи.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

Розробка нового методу автоматизації процесу 3D-друку для безперервної роботи системи може знизити ціну подібних принтерів, що сприятиме швидшій розробці та впровадженню 3D-друку в повсякденне життя, зокрема шляхом зменшення вартості порівняно з існуючими системами.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Під час виконання магістерської роботи було розроблено метод та створено модель для автоматизованої системи 3D друку, яка здатна працювати безперервно та зменшити кількість ручного втручання людиною. Розроблений метод забезпечує підвищення ефективності процесу друку та зменшення ціни остаточної системи порівняно з конкурентами на ринку 3D-друку. Модель має всі необхідні функції необхідні для роботи, а саме очищати стрічку конвеєра яка виступає у ролі полотна для друку від готових виробів, тим самим прибираючи необхідність людини вручну відчіпляти елементи від полотна та встановлювати його заново для продовження друку.

## **1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ 3D-ДРУКУ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОБОТИ СИСТЕМИ**

### **1.1 Огляд та аналіз існуючих систем безперервного друку**

3D-друк відкрив нові можливості для виробництва невеликих компонентів або для створення одноразових елементів, які могли б потребувати форми та довгого налаштування станків. Нажаль одним з головних недоліків принтерів є довгий час друку та необхідність забирати виготовлені елементи з площини на якій відбувається друк. Для вирішення цієї проблеми існує безліч різних методів автоматизації, які дозволяють 3D-принтеру працювати без зупинок на обслуговування, зменшуючи людське втручання до мінімуму. У даному розділі розглянуто основні способи автоматизації 3D-друк для безперервної роботи системи їх переваги та недоліки.

#### **1. Системи автоматичного видалення готових деталей**

Однією з головних недоліків для безперервного друку є потреба вилучення готових деталей з платформи для друку, що хоча і не займає багато часу, але потребує втручання людини що в певних випадках стає проблемою. Так для прикладу якщо користувач друкує велику кількість малих деталей їх буде розбито на менші групи які будуть друкуватися окремо протягом певного часу, дві-три години на друк, після чого користувачу потрібно буде прийти до принтеру та зібрати виготовлені елементи аби можна було продовжити друк, таким чином користувач який виступатиме в ролі оператора не може відійти далеко від принтера оскільки кожні кілька годин йому потрібно приходити та виконувати однакову просту дію. На ринку присутні принтери, що використовують механічні рішення для автоматичного вилучення деталей.[12] Ці підходи можна узагальнити за допомогою рис.1.1.

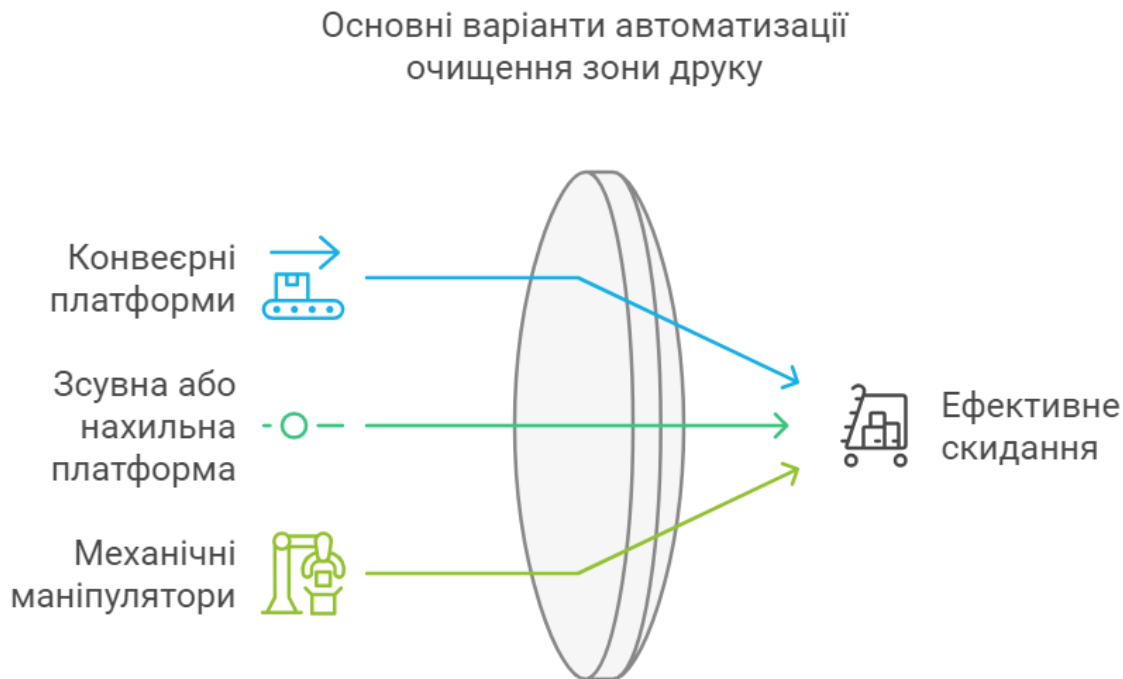


Рисунок 1.1 - Основні варіанти очищення друкуючої поверхні

Якщо розглядати повністю то можливо розділити на наступні варіанти:

- конвеєрна стрічка: платформи з рухомою стрічкою, після закінчення друку вмикається мотор що приводить в рух стрічку яка скидає елементи в контейнер, після чого мотор вимикається і поверхня готова до повторного друку, це дозволяє автоматично очищати поверхню без втручання людини. Принтер Creality CR-30 рис.1.2 [13], використовує подібний принцип. Додаткова перевага подібної системи полягає в тому, що з'являється можливість друкувати довгі деталі використовуючи стрічку для зсуву деталі під час друку. Такий підхід ефективний для виготовлення невеликих елементів або друку довгих елементів без зупинки(не створюючи зон з'єднання компонентів оскільки друк відбувається за один цикл);

- зсувна або нахильна платформа: платформа, в більшості випадків на поршнях, піднімається створюючи кут та скидаючи готовий виріб до контейнера. Подібна система є порівняно дешевою для створення, але потребує спеціальної поверхні та пластику які не приклеюються один до

одного, подібні вимоги створюють додаткові витрати та правила обслуговування. Розсувна система використовується у принтері Prusa[14];

– використання механічних маніпуляторів: саме дороге рішення, використання роботів маніпуляторів які забирають елементи використовуючи датчики або камери для визначення положення елемента. Таке рішення вимагає складного програмного забезпечення та синхронізації усіх систем, оскільки маніпулятори можуть пошкодити як полотно так і каркас 3D-принтеру. Масштабне промислове виробництво може дозволити такі витрати але для маленької друкарні або одного домашнього принтеру такі витрати не є доцільними.



Рисунок 1.2 - 3D-принтер Creality CR-30 з конвеєрною стрічкою

## 2. Системи автоматичної заміни філаменту

Додатковим методом автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи є реалізація заміни філаменту або рідини для друку без зупинки системи. Якщо під час друку закінчиться філамент(матеріал для друку) більшість нових принтерів зупиняться та повідомлять користувача звуковим сигналом про проблему, після чого можна продовжити друк без шкоди виробу,

але більш старі версії не мають такої функції, при закінченні філаменту принтер продовжить працювати та призведе до втрати незакінченого елемента та матеріалу витраченого на друк. Через подібні потреби компанії почали розробляти методи та системи здатні автоматично замінити філамент при його закінченні, за своїм принципом роботи їх можна поділити на наступні системи.[15,16]

Спаювання: для FDM-принтерів застосовуються пристрої, що контролюють залишок філаменту та автоматично замінюють катушки спаюючи активну ліску з новою. Пристрій розуміє що ліска закінчується або обрізає активну, після чого моторчиком подається нова ліска яка притискається до обрізаної та сплавляється нагрівачем рис.1.3. Наприклад, Palette 2 від Mosaic Manufacturing рис.1.4 дозволяє одночасно використовувати кілька кольорів чи матеріалів і автоматично з'єднувати різні філаменти в єдину ліску. Подібна система підтримує безперервний друк та дає можливість використовувати кілька матеріалів або кольорів для виготовлення елемента.

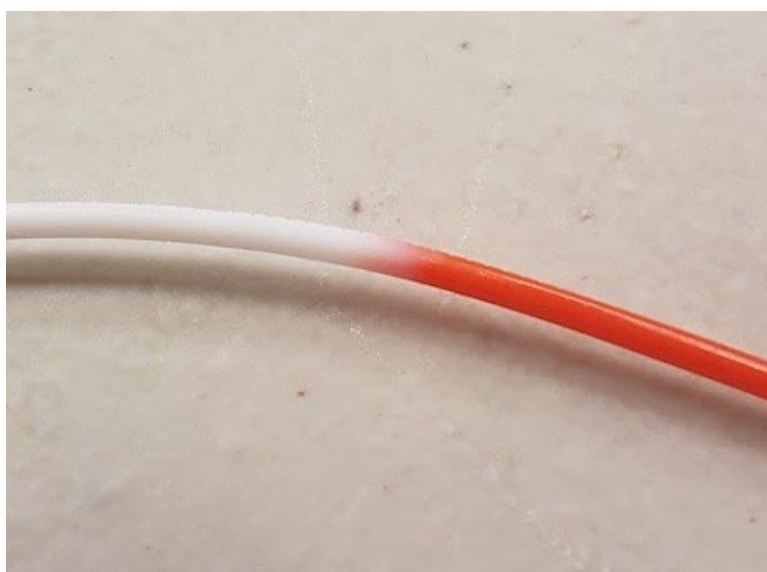


Рисунок 1.3 - сплавлена ліска



Рисунок 1.4 - внутрішня частина Palette 2

Картриджові системи: певні бренди використовують картриджові системи які за своїми принципами схожі на картриджові системи звичайних струйних принтерів, принтер має слот для блоку картриджу або декілька які беруть на себе пріоритет у випадку закінчення іншого. Таке рішення має багато переваг та недоліків рис.1.5 але воно дозволяє швидко замінити матеріал без необхідності навчання та мінімалізувати помилки під час заміни, також подібна система дозволяє використовувати різні філаменти під час друку змінюючи пріоритети. Найкраще подібні системи себе показують у 3D-принтерах із рідкими смолами для SLA та DLP друку. Подібні системи варіюються у ціні від складності системи але як і інші системи автоматизованої заміни філаменту використовуються в промислових виробництвах через високу ціну.



Рисунок 1.5 - аналіз картридових системи

## 1.2 Аналіз програмних засобів для контролю безперервного друку.

Інша важлива складова для забезпечення безперервного автоматизованого друку за допомогою 3D-принтеру – це програмне забезпечення, яке дозволяє контролювати стан принтеру, реагувати на проблеми та вносити зміни в параметри друку. Більшість 3D-принтерів мають вбудоване програмне забезпечення та програмне забезпечення для комп'ютерів, розроблене фірмою бренду, які дозволяють виконувати моніторинг та відповідають за виконання автоматизованих дій з філаментом. Для розуміння було розглянуто кілька найпопулярніших програм:

- OctoPrint : найпростіша та найпопулярніша програма для контролю та віддаленого управління 3D-принтером рис.1.6. OctoPrint надає функції

моніторингу, старту нових циклів, та надсилає автоматичне повідомлення у разі помилки що виступає для нас найкращим варіантом, оскільки користувач може дізнатися про закінчення філаменту без витрат та інтеграції додаткових елементів, тим самим можливо легко перехопити повідомлення помилки та використати його для триггеру старту циклу заміни філаменту. Також корисною функцією є повідомлення про завершення друку, яке також можливо перехопити та використати для запуску циклу очищення друкуючої поверхні.

- Simplify3D: програма створена саме для підготовки моделей до друку, але вона також має великий функціонал, а саме можливість налаштовувати власні скрипти для початку та завершення друку. Наприклад, можна запустити скрипт, який автоматично підігріває екструдер або поверхню до потрібної температури перед друком або зупиняє його після завершення. Користувач зможе підв'язати до вбудованого скрипту на контроль екструдеру наші скрипти для контролю логіки роботи та запуску - зупинки автоматизованої системи очищення зони друку рис.1.7.

Додатковою перевагою є розділення моделей на процеси, що дозволяє розділити модель на процеси з різними параметрами, можна встановити більшу висоту шару для менш важливих частин, зменшуючи час друку, або змінювати щільність, що може допомогти при використанні конвеєрної стрічки для виконання безперервного друку довгого компоненту.

Це особливо корисно для великих і складних проектів, де різні частини мають різні вимоги до якості. Нажаль ліцензія Simplify3D задорога а внесення змін у скрипти та прив'язка до них може стати недійсною після оновлень, які хоч і бувають нечасто проте зазвичай вносять багато змін, змушуючи користувачів переглядати та фіксувати свої скрипти, що нам нажаль не підходить через необхідність постійного моніторингу оновлень програми.

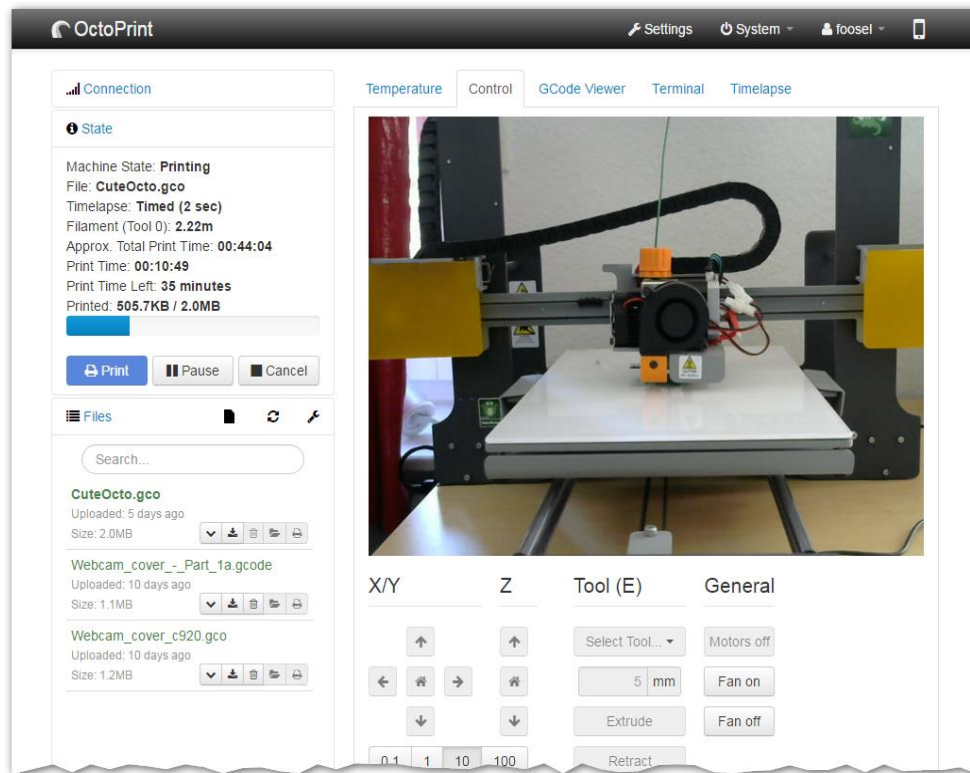


Рисунок 1.6 - інтерфейс OctoPrint

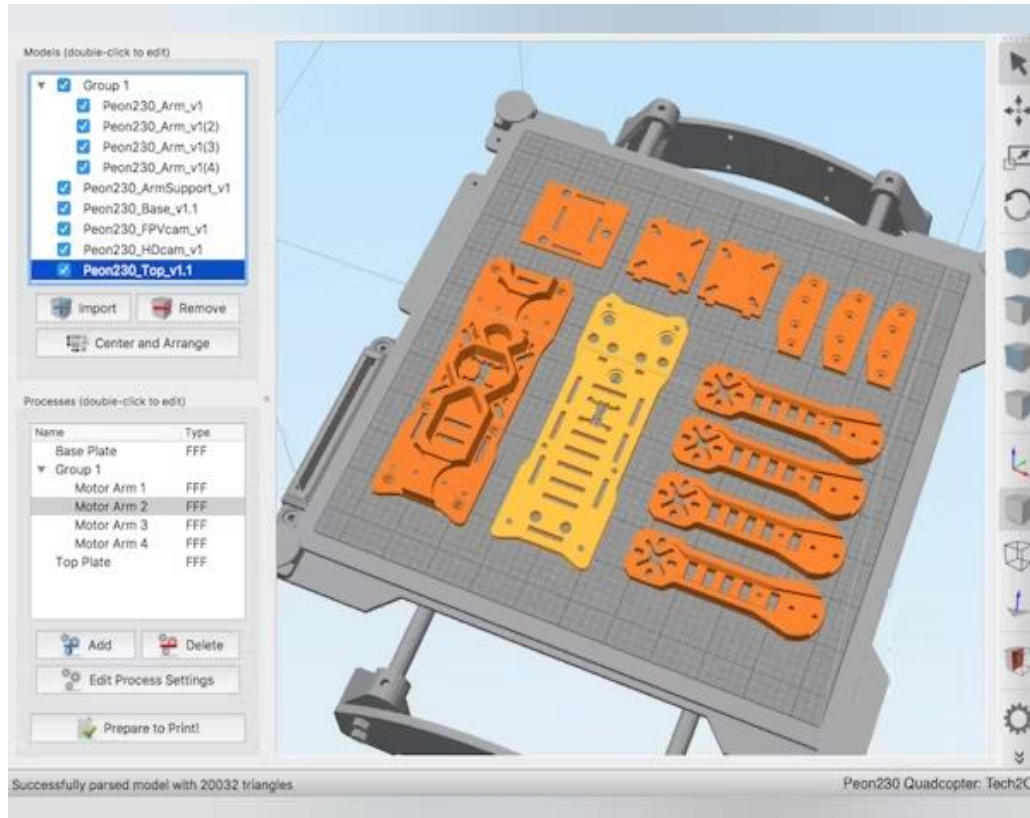


Рисунок 1.7 - інтерфейс Simplify3D

1.3 Вибір обладнання автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи.

При підготовці до автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи потрібно в першу чергу вибрати підходящу модель 3D-принтеру, адже певні моделі які використовують рідкий пластик не підійдуть нам, оскільки автоматизацію їх очищення можливо реалізувати лише з використанням роботів маніпуляторів, які нажаль занадто дорогі. Всі принтери можна поділити на 5 основних груп за принципом друку рис.1.8.[17-19]

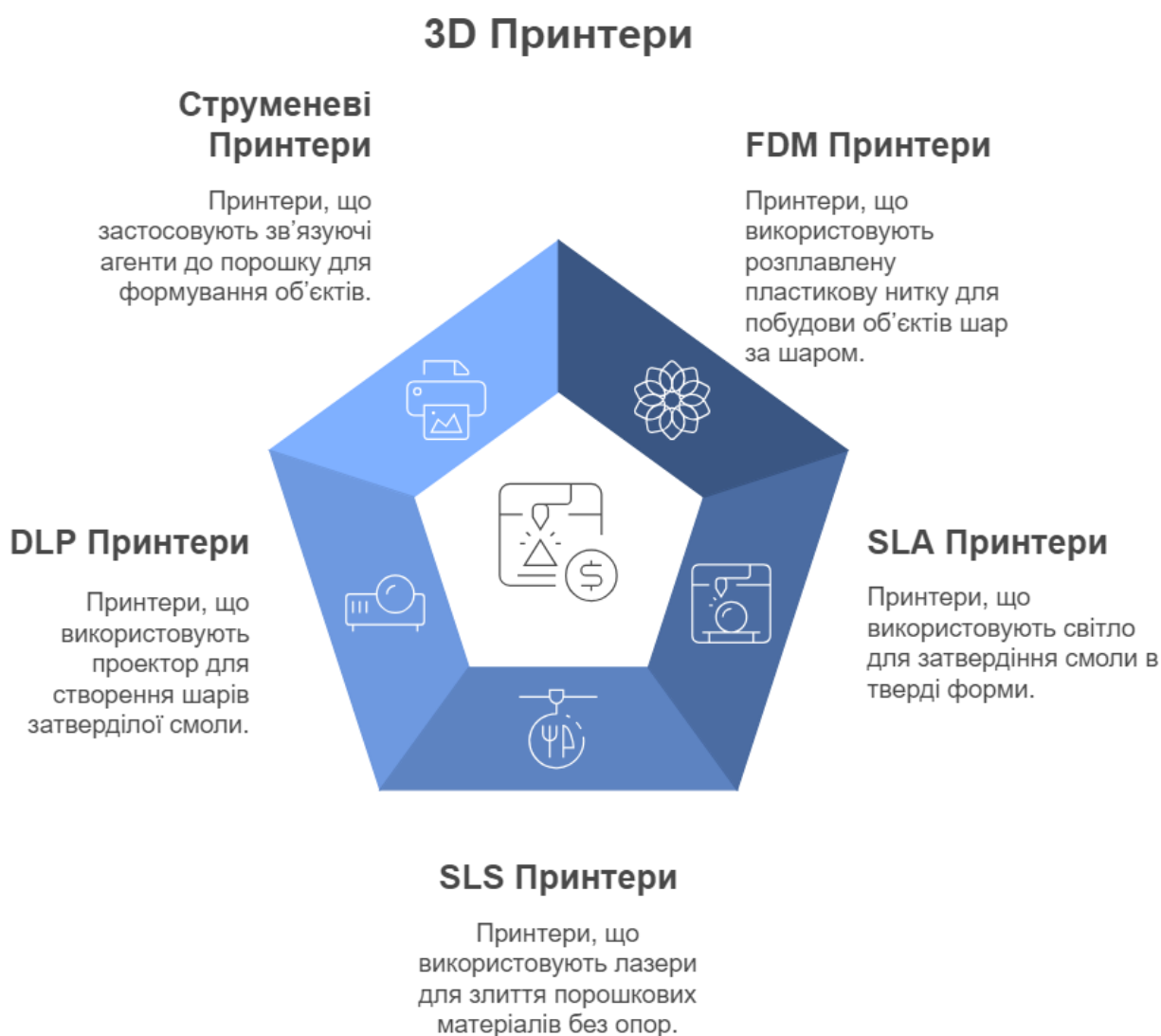


Рисунок 1.8- Типи 3D-принтерів

Для даного методу будемо розглядати FDM принтер. Принтери FDM використовує розплавлену пластикову ліску (філамент). Fused Deposition Modeling (FDM) принтери є найпоширенішими 3D-принтерами як для звичайного користувача так і для виробництва через свою низьку вартість та простоту використання. Для нас головна перевага FDM полягає в закріпленні друкуючій області поверх якої друкується елемент рис.1.9, на відміну від інших які друкують в перевернутому стані зверху донизу, або які повністю заливають друкуючу поверхню рідиною для друку.



Рисунок 1.9 - Приклад FDM 3D-принтеру

Наступний важливий елемент - конвеєрна стрічка, для максимального здешевлення ціни нам було б бажано зібрати свою дешеву версію, але оскільки

більше фокусуватимемо увагу на методі керування, то для роботи буде обрано дешеву невеличку конвеєрну лінію до якою буде зафіксовано друкуючу поверхню, та в загальному плані розглянуто розробку та моделювання власної конвеєрної стрічки. Для простоти було обрано OpenCV Conveyor 320mm Mini Conveyor PU Belt рис. 1.10, порівняно з іншими елементами дешевої конвеєр, ціна на різних сайтах варіюється від трьох тисяч гривень до чотирьох, ширина полотна 10 см, але для нашого методу, полотно буде покривати спеціальна скляна поверхня до якої не повинен приставати пластик. Теоретично можливо використати дві пластини та прикріпити їх на кріплення, одна буде використовуватися для друку в той час як друга буде знаходитися на нижній частині стрічки, тим самим при увімкненні заміни конвеєрна стрічка буде проходити 50% своєї довжини аби замінити місцями.

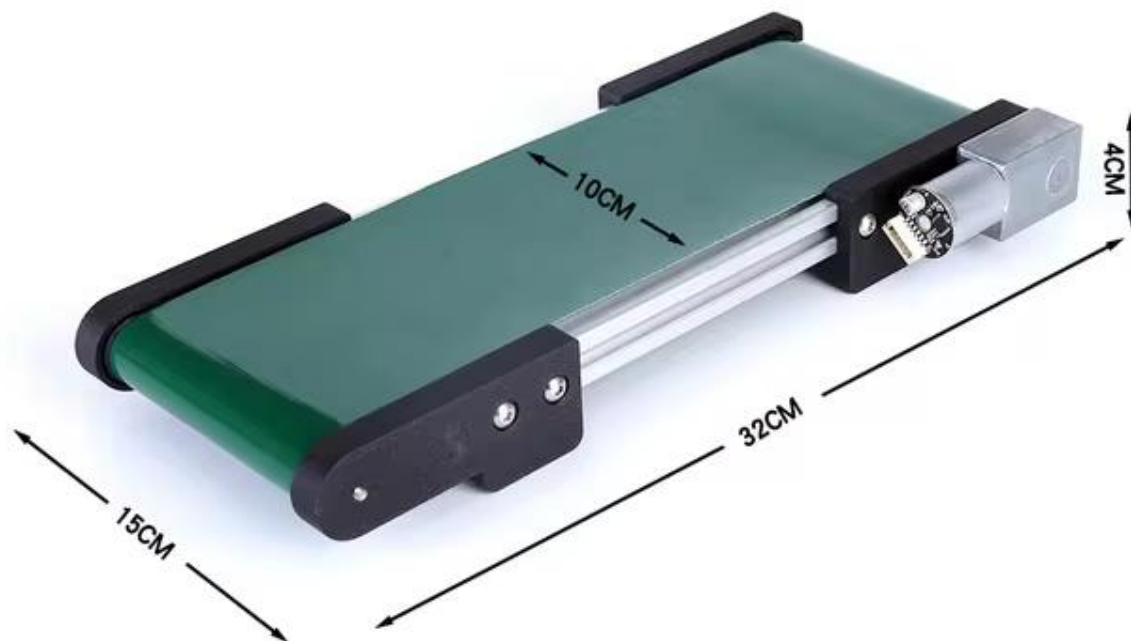


Рисунок. 1.10 - OpenCV Conveyor 320mm

При виборі контролеру доцільно обирати між мікроконтролеру ESP32-S3 та одноплатним комп'ютером Raspberry Pi 4, для реалізацію методу керування, оскільки наша мета в першу чергу це створення

конкуреноспроможної систему, використання більш складного контролеру сильно вплине на ціну системи, чого бажано уникнути. Якщо порівнювати їх то одразу можливо відкинути різницю в GPIO, в ESP їх 22 а в Raspberry 28, чого більш ніж достатньо для виконання поставлених задач, живлення 3.3 та 5 відповідно, цього нажаль замало для заживлення конвеєру якому потрібно 12В, через що буде використовуватися додаткове джерело живлення.[20,21] Найбільша проблема та різниця між цими контролерами - це мова програмування, ESP32-C3 підтримує Arduino IDE та ESP-IDF, в той час як Raspberry підтримує Python, C++, Scratch та інші, через що більша кількість людей обрала Python.[22,23]

#### 1.4 Висновки до першого розділу

В результаті аналізу існуючих методів та систем безперервного друку було проаналізовано існуючі програми для контролю та методи автоматизацію друку, визначили доцільність розробки нового методу та способи його імплементацію в уже існуючі системи.

Спираючись на аналіз існуючих методів автоматизації нами було визначено імплементацію модульної конвеєрної стрічки як найкращий спосіб автоматизації процесу очищення друкуючої поверхні, оскільки він легко може бути використаний в парі з любим 3D-принтером який використовує FDM та не закритий в захисний корпус, тим самим можливо взяти один з найдешевших FDM принтерів та доповнити його нашою системою, перетворивши його на принтер з автоматизованою системою очищення друкуючої поверхні.

OctoPrint було обрано як найкращий програмний засіб для виконання наших задач. Головна перевага - OctoPrint є відкритою платформою для керування 3D-принтом з великою кількістю додаткового функціоналу який може бути нам корисний в майбутньому покращенні методу та при інтеграцію інших приладів через API. Програма підтримує більшість 3D-принтерів та

створені користувачами плагіни, які ми також зможемо використати для нашої системи аби спростити процес розробки. Таким чином OctoPrint є ідеальним вибором для впровадження системи безперервного друку завдяки відкритій архітектурі та широким можливостям інтеграції а головне простоти використання.[24,25]

Метод буде розроблено враховуючи за основу принтер Bambu Lab A1 та конвеєр OpenCV Conveyor 320mm, оскільки принтер використовує метод FDM та не закритий в корпус, через що можлива легка імплементація конвеєрної стрічки. Контролер не є важливим для методу оскільки його легко можливо замінити.

## **2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ 3D-ДРУКУ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОБОТИ СИСТЕМИ**

### **2.1 Розрахунок параметрів конвеєрної стрічки**

Попередні роботи були виконані для дослідження ефективності конвеєрної системи з використанням різних підходів. Широнг та Сяохуа провели дослідження з метою підвищення енергоефективності конвеєрної стрічкової системи за допомогою моделювання та оптимізаційного підходу. Аналітичне моделювання було ініційовано для опису етапів, пов'язаних з її роботою. Були змодельовані та оптимізовані різні параметри, що відображають роботу конвеєра, для досягнення найкращої операційної ефективності (Shirong, 2011). У роботі Ірфана і Саніа енергоефективність конвеєрної системи досліджувалася з урахуванням різних факторів, що впливають на вартість електроенергії конвеєрної системи. Різні етапи були змодельовані з урахуванням швидкості руху конвеєра при повному завантаженні, частковому завантаженні та без навантаження. Це дозволило їм встановити взаємозв'язок між швидкістю руху конвеєрної стрічки, динамікою завантаження стрічки та швидкістю споживання енергії під час роботи конвеєрної системи. Зниження енергоспоживання є основною сферою занепокоєння останніх дослідників. Це допоможе виробникам знизити собівартість виготовлених деталей. Спроба контролювати енергоспоживання конвеєрної системи також була успішною в роботі Haleroto та ін. Вартість електроенергії в компонентах конвеєрної системи з електричним та механічним приводом була оцінена шляхом контролю системи множинних приводів механізму.

Наш метод керування автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи розглядає використання механізму конвеєрної стрічки, яка повинна працювати під змінним навантаженням та температурою протягом

скороченого часу роботи. З урахуванням проектних параметрів та умовних позначень була розрахована діюча конвеєрна система з оптимальним коефіцієнтом корисної дії. Ця модель розглядає застосування конвеєрної стрічкової системи, яка транспортує матеріали з однієї точки в іншу точку, або рухається в замкнутому циклі. Під час роботи конвеєрна стрічка відчуває розтягуючий ефект під дією ваги вантажів, що проходять через неї. Ці вантажі можна класифікувати на:

- Навантаження від матеріалів, що транспортуються  $L_C$
- Навантаження від натяжного ролика, що спрямовує рух стрічки  $L_I$
- Навантаження від обертового ефекту пасових передач  $L_B$

При проектуванні конвеєрної стрічкової системи необхідно враховувати правильний вибір типу натяжного ролика. При виборі враховується оптимальна вантажопідйомність, щоб мати конструкцію, яка не вийде з ладу під час експлуатації. Можна використовувати рівняння 2.1 для розрахунку навантаження на холостий хід.

$$L_C = \frac{\text{Маса роликів}}{\text{Відстань між роликами}} \quad (2.1)$$

Крім того, навантаження, пов'язане з матеріалами, що транспортуються, також є частиною факторів, які будуть використовуватися, коли необхідно розрахувати ефект розтягування. Його можна виразити як відношення продуктивності конвеєра до швидкості обертової стрічки, як показано в рівнянні 2.2.

$$L_C = \frac{C_C}{v} \quad (2.2)$$

Натяг конвеєрної стрічки можна оцінити, враховуючи коефіцієнт тертя  $f$ , довжину і висоту конвеєра ( $l, H$ ), прискорення під дією сили тяжіння ( $g$ ), кут

нахилу і три ефекти навантаження. Це можна розрахувати за допомогою наведеного нижче рівняння 3.3:

$$L_B = 1.37 * f * l * g * (2 * L_I + 2 * L_B * L_C) * \cos\delta + (H * g * L_C) \quad (2.3)$$

Під час переміщення матеріалів на конвеєрній стрічці потрібні дві різні потужності: потужність, яка приводить в рух шків, і мінімальна потужність, необхідна для приводу електродвигуна. Рівняння 2.4 і 2.5 були розроблені для проектного розрахунку потужності, необхідної для приводу механізму конвеєрної стрічки представляє потужність, необхідну для приводу шківа і може бути розрахована за допомогою рівняння 2.4, а мінімальна потужність, необхідна для приводу електродвигуна, може бути отримана за допомогою рівняння 2.5.

$$p_p = \frac{T_b * \vartheta}{1000} \quad (2.4)$$

$$p_m = \frac{p_p}{D_f} \quad (2.5)$$

Отже, прискорення конвеєрної стрічки можна отримати за допомогою рівняння 2.6.

$$A = \frac{B_{TS} - T_B}{[L * (2 * L_I + 2 * L_B * L_C)]} \quad (2.6)$$

Час роботи можна розрахувати за допомогою рівняння 2.7.

$$T_t = 60 A \quad (2.7)$$

Швидкість обертання розраховується за допомогою рівняння 2.8.

$$V = \frac{\pi DN}{60} \quad (2.8)$$

Загальна потужність двигуна  $H_p$  була отримана шляхом додавання рівнянь 2.4 і 2.5. Також було враховано зменшення швидкості на 5%, щоб врахувати втрати.

$$H_p = (p_p + p_m) * 1.05 \quad (2.9)$$

Струм двигуна можна розрахувати, враховуючи загальну потужність і співвідношення необхідної напруги, ККД і коефіцієнта потужності, як зазначено в рівнянні 2.10.

$$\text{Motor Current} = \frac{H_p * 746}{V * 1.73 * \text{efficiency} * pf} \quad (2.10)$$

Розтягуюче напруження, яке виникає, коли конвеєрна стрічка перебуває у сталому стані, може бути отримане за допомогою рівняння 2.11.

$$T_p = T_b * S_k \quad (2.11)$$

Отже, прискорення конвеєрної стрічки можна отримати за допомогою рівняння 2.12:

$$A = \frac{T_p - T_b}{[L * (2 * L_I + 2 * L_B * L_C)]}, \quad (2.12)$$

де  $T_b$  - натягнення ременя;  
 $T_p$  - натяг шківів;  
 $f_x$  - ефективність тертя;  
 $f_y$  - коефіцієнт завантаження конвеєра;  
 $l$  - довжина конвеєра в мм  
 $L_I$  - середнє навантаження;  
 $L_B$  - ефективність навантаження на стрічку;  
 $L_C$  - навантаження матеріалу що транспортується;  
 $H$  - висота конвеєра;  
 $p_p$  - потужність необхідна для роботи конвеєра;  
 $p_m$  - потужність необхідна для роботи мотору;  
 $V$  - швидкість конвеєру;  
 $A$  - прискорення стрічки;  
 $B_f$  - міцність стрічки;  
 $I$  - відстань між котушками;  
 $D$  - діаметр котушок;  
 $T$  - температура навколишнього середовища;  
 $N$  - кількість обертів на хвилину;  
 $\delta$  - кут нахилу конвеєра;  
 $T_t$  - час роботи;  
 $S_k$  - стартова ефективність;  
 $C_c$  - потужність конвеєра;  
 $C_r$  - фактори відповідальні за тертя;  
 $m_i$  - вага катка.

## 2.2 Аналіз поверхонь для друку

У більшості випадків при 3D друці використовуються різні типи поверхонь залежно від матеріалу, принтера та вимог до адгезії. Можна виділити п'ять основних типів рис.2.1

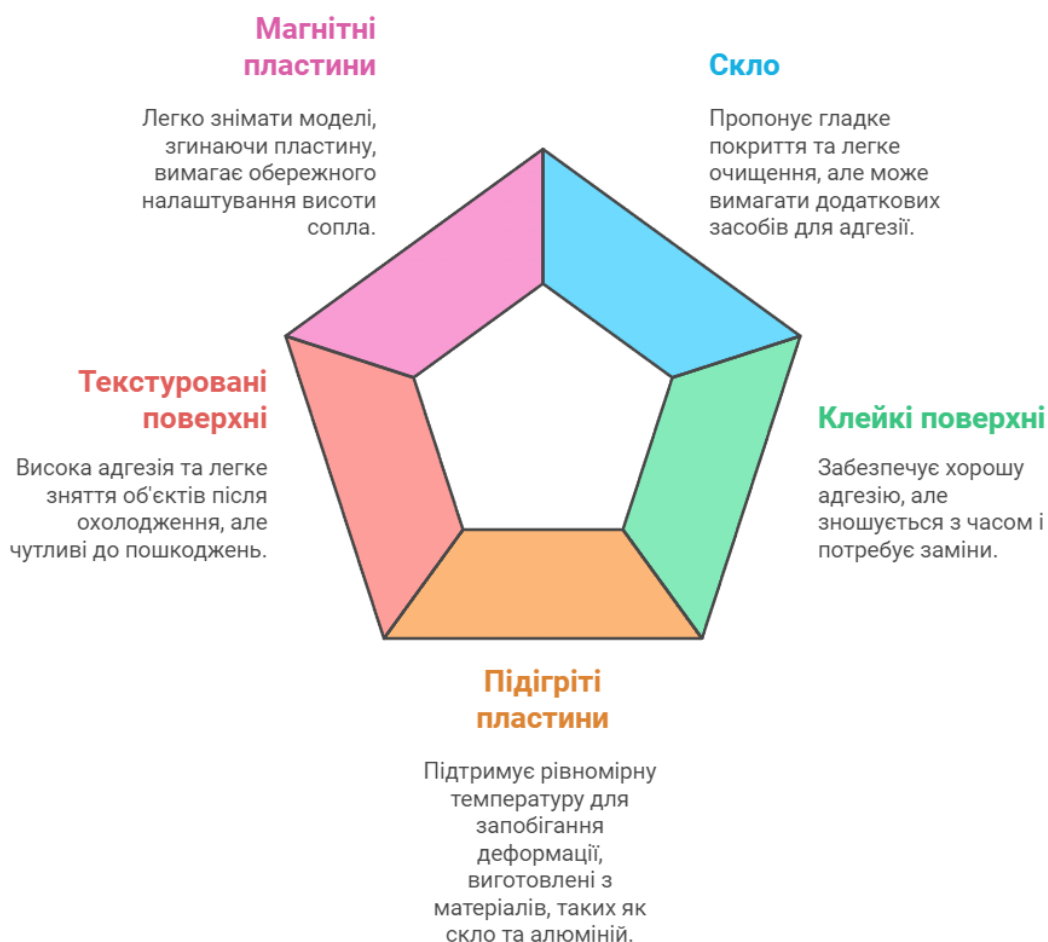


Рисунок 2.1 - Типи поверхонь

Дослідження проведені користувачами показали, що на конвеєрних стрічках виявили два основних типи матеріалу, до яких PLA змогла належним чином прилипнути. Однак обидві стрічки мали очевидну проблему: якщо наконечник екструдера торкався будь-якої стрічки, це призводило до розплавлення матеріалу стрічки протягом декількох секунд, оскільки температура екструдера в більшості випадків наближена до 190 градусів

цельсія, тобто температури на 5-20 градусів нище за температуру плавлення використовуваного пластику.

Подібна проблема не є критичною при ідеальному друці, але при використанні рухомої поверхні існує шанс ситуації, коли наконечник екструдера торкається поверхні, і цілком можливо, що під час звичайного друку конвекції від наконечника буде достатньо, щоб розплавити стрічку.

Було визначено, що до стрічки можна додати листи поліімідної плівки П-ПМ або PEI, щоб забезпечити прийнятну поверхню друку, одночасно запобігаючи розплавленню стрічки. Було обрано нейлонову стрічку Slip Top Tan Nylon, оскільки обидві стрічки були прийнятними поверхнями для друку, але нейлонова стрічка здатна витримувати вищу температуру, ніж стійка до порізів ПВХ стрічка до того як розплавиться, та, потребуватиме менше додаткових шарів для запобігання пошкодженням під час друку.

Для вибору між стрічкою Kapton Tape і PEI як поверхнею для друку було сформовано наступну матрицю прийняття рішень. Для порівняння було використано дані друку безпосередньо на стрічці, які показали, що PEI з невеликим відривом випередив Kapton Tape як найкращий варіант поверхні для друку. Обидва матеріали мали схожі показники термостійкості, оскільки обидва були прийнятними термоізоляторами для захисту стрічки і мали достатню адгезію, щоб залишатися прикріпленими до стрічки під час використання. Було визначено, що PEI має дещо кращу довговічність і його легше наносити, а також його відносно низька вартість порівняно з каптонною стрічкою є достатньою, щоб зробити його кращим варіантом, оскільки в першу чергу необхідно зробити доступну економічно доцільну систему.

Для забезпечення безпеки конвеєрної стрічки під час нормальної експлуатації та під час випадкових аварій, було проведено аналіз досліджень термічних характеристик поверхонь.

Наконечник екструдера був відокремлений від решти вузла і модифікований. Для отримання більш точних результатів у випадку, коли

наконечник екструдера врізався в конвеєрну стрічку, з наконечника екструдера був вирізаний невеликий шматок, щоб забезпечити більшу площу контакту під час дослідження.

Це було зроблено для того, щоб наблизити площу контакту поверхні, яка може виникнути в результаті деформації конвеєрної стрічки і поверхні для друку під час зіткнення.

- Наконечник екструдера був налаштований на температуру 250 градусів за Цельсієм протягом усього дослідження.

- 250 градусів за Цельсієм було обрано тому, що це найгірший сценарій. Принтер підтримує переважно PLA та PET нитки. PLA друкує при температурі приблизно 210 градусів за Цельсієм, а PET - приблизно 240 градусів за Цельсієм.

- Початкова температура стрічки та PEI становила 21 градус Цельсія, що відповідає кімнатній температурі.

- Товщина PEI спочатку була встановлена на рівні 0,05 дюйма, але потім була збільшена до 0,1 дюйма для моделювання двох шарів стрічки після того, як одного шару було визнано недостатнім.

Результати дослідження можна побачити на рис. 2.2.

Максимально допустима температура матеріалу конвеєрної стрічки становить приблизно 120 градусів за Цельсієм. Однак після 30 секунд контакту наконечника екструдера з конвеєрною стрічкою максимальна температура стрічки становить лише 110,6 градусів за Цельсієм. Тому двох 5-міліметрових шарів PEI повинно бути достатньо, щоб захистити конвеєрну стрічку принаймні на 30 секунд, якщо екструдер врізається в стрічку, що повинно викликати повідомлення про помилку та зупинити процес друку та нагріву.

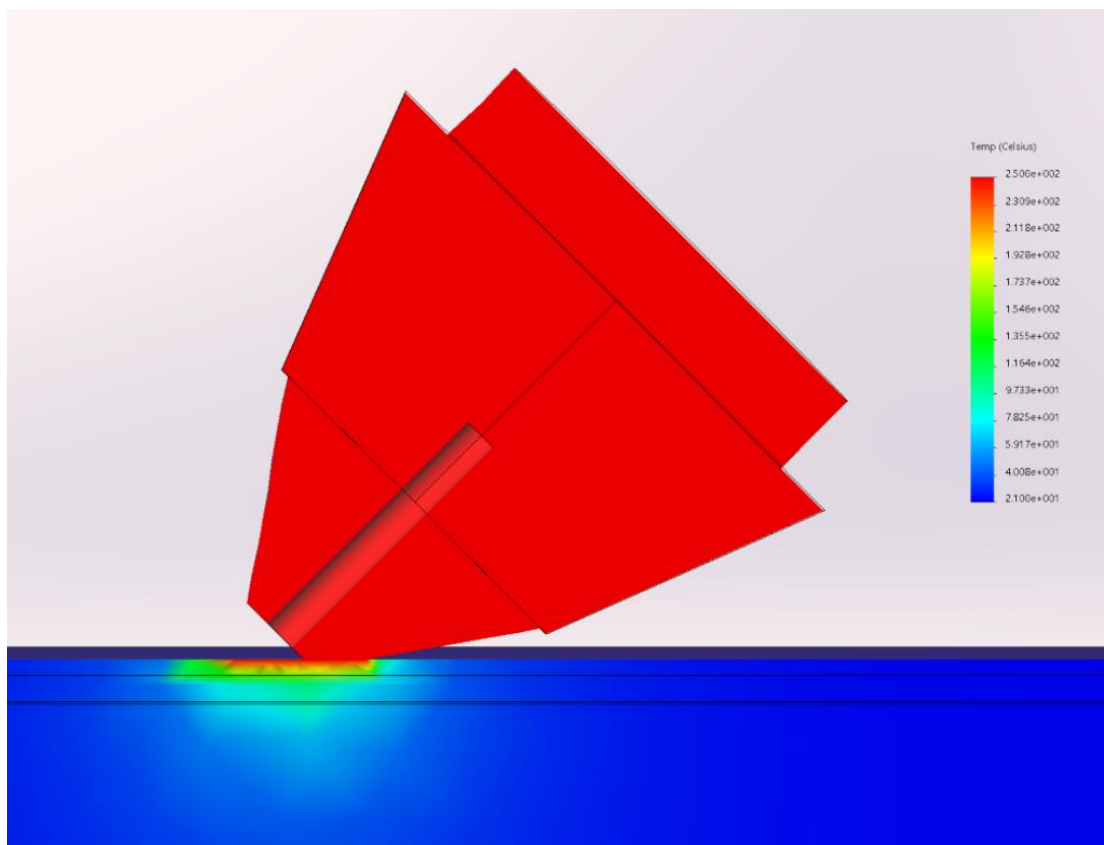


Рисунок 2.2 - Теплові дослідження зіткнення наконечника

### 2.3 Аналіз характеристик філаменту

Полімерні нитки, філамент, для 3D-друку можна класифікувати на дві основні групи: чисті полімерні нитки та композитні.

Чисті полімерні нитки виготовляються виключно з полімерної суміші без додавання будь-яких домішок або наповнювачів. Кожен тип таких ниток має унікальні фізико-механічні властивості, що залежать від хімічного складу полімеру [26]. Однак можливості використання чистих полімерів іноді обмежуються їхніми природними характеристиками, які можуть бути недостатніми для виконання певних завдань або задоволення технічних вимог конкретних продуктів.

Ця проблема спонукає дослідників і виробників до створення нових типів матеріалів, які відповідають вимогам промисловості та забезпечують кращі показники механічних властивостей.

Одним із найбільш ефективних методів є модифікація полімерних матеріалів шляхом введення добавок, які значно покращують характеристики ниток. Такий підхід привів до появи композитних ниток, які поєднують властивості полімерів і наповнювачів, створюючи нові можливості для застосування у різних галузях [27-30].

Нище розглянуто основні види чистих полімерних ниток, які набули широкого використання у 3D-друці, а також їх особливості, переваги та недоліки, та оберемо найкращий варіант для нашого завдання.

PLA (полілактид) є одним із найсучасніших і найпопулярніших матеріалів, розроблених для широкого спектра застосувань. Цей термопластичний полімер має унікальну властивість біорозкладності, що робить його екологічно дружнім вибором для багатьох галузей. Завдяки своїй біосумісності, PLA знайшов застосування в медицині, де він використовується для виготовлення імплантатів та інших біоматеріалів. Безпечність для організму PLA пояснюється тим, що PLA не є метаболічно шкідливим [31,32].

Процес виготовлення таких виробів починається з перетворення PLA на нитку, яка далі обробляється методом 3D-друку FDM (моделювання методом наплавлення). Цей метод дозволяє створювати вироби з високою точністю, що особливо важливо для медичних додатків. Наприклад, з PLA розробляють індивідуальні імплантати, які відповідають специфічним потребам пацієнтів [33,34].

Сучасні дослідження також зосереджуються на створенні нанокompозитних матеріалів на основі PLA. Одним із прикладів є PLA/оксид графену (GO), який демонструє покращені механічні властивості та біосумісність. Цей матеріал був протестований на відповідність багатьом параметрам, включаючи морфологію, хімічний склад, механічні

характеристики і здатність сприяти кісткоутворенню. Результати показали, що нанокompозит PLA/GO має великий потенціал для використання в біомедичних технологіях [35,36].

Покращення механічних властивостей PLA проводилося шляхом створення композитних матеріалів, таких як суміші з термопластичними еластомерами (ТПУ) та армовані е-скловолокном (E-glass fiber). Зокрема, додавання скловолокна значно збільшує модуль пружності на розрив і вигин, що робить такі композити більш придатними для технічних застосувань. Ці інноваційні підходи дозволяють розширювати сфери використання PLA від медичних пристроїв до промислових компонентів.

ABS (акрилонітрил-бутадієн-стирол) - універсальний термопластичний полімер, який отримав широке поширення завдяки своїм унікальним властивостям. Цей матеріал є результатом кополімеризації акрилонітрилу, бутадієну та стиролу, що забезпечує йому високу міцність, ударостійкість і термостабільність.

ABS вперше був розроблений у 1950-х роках як вдосконалена альтернатива стирол-акрилонітрильним сополімерним матеріалам (SAN) [37]. У той час ABS представляв собою комбінацію SAN із нітрильним каучуком, де SAN забезпечував жорсткість і склоподібну структуру, а каучук додавав матеріалу еластичності та ударостійкості.

При кімнатній температурі ABS має аморфну, склоподібну структуру, яка наділяє його високими механічними характеристиками. Завдяки цьому матеріал широко застосовується в багатьох галузях, включаючи 3D-друк методом FDM. Однак, попри свої переваги, ABS має певні недоліки, такі як недостатня термостабільність у порівнянні з іншими полімерними матеріалами, а також складнощі з адгезією до поверхні під час друку.

Для подолання цих недоліків проводяться численні дослідження, спрямовані на модифікацію властивостей ABS. Одним із перспективних підходів є створення композитів. Наприклад, розробка нитки ABS, армованої

оксидом графену (GO), дозволила значно покращити механічні властивості цього матеріалу. Зокрема, додавання 2% мас GO за допомогою методу змішування розчинників забезпечило підвищення міцності на розрив та модуля Юнга[38]. Цей композитний матеріал успішно використовується для 3D-друку, що дозволяє отримувати більш міцні та стабільні вироби. Подальші дослідження у цій галузі зосереджені на оптимізації складу композитних матеріалів на основі ABS, що відкриває нові можливості для використання цього полімеру в технологічно складних і критично важливих додатках.

Поліпропілен (PP) є одним із найбільш популярних матеріалів серед термопластичних полімерів завдяки своїй доступності, низькій щільності та універсальним фізико-хімічним властивостям. Як представник поліолефінів, цей напівкристалічний гомополімер активно застосовується у військовій промисловості, виробництві побутової техніки, автомобілебудуванні та будівництві.

Однак поліпропілен має певні обмеження, такі як недостатні термічні, електричні та механічні властивості в порівнянні з інженерними пластиками, такими як полікарбонат (PC) чи поліамід (PA). До того ж, PP характеризується високим коефіцієнтом тертя в умовах сухого зсуву, що обмежує його використання в деяких галузях [30,40,41].

З метою вдосконалення властивостей поліпропілену часто застосовують модифікацію за допомогою додавання неорганічних наповнювачів у вигляді наночастинок. Використовуючи методи екструзії та ін'єкційного формування, було встановлено, що додавання GO знижує коефіцієнт тертя поліпропіленових нанокомпозитів до 74,7%, що робить цей матеріал більш стійким до зношування навіть при високих навантаженнях і швидкості[42].

Ще одне дослідження зосереджувалося на порівнянні друківаних властивостей ненаповненого поліпропілену та поліпропілену, наповненого 30% скловолокна. Результати показали, що наповнений скловолокном ПП має значно кращі механічні властивості, такі як міцність на розрив і опір

деформації. Це відкриває нові можливості для використання поліпропілену у 3D-друці, особливо для виготовлення деталей, які піддаються значним механічним навантаженням.

Таким чином, завдяки різноманітним модифікаціям поліпропілен можна адаптувати для задоволення вимог різних галузей, значно розширюючи сфери його застосування.

## 2.4 Висновки до другого розділу

Ми проаналізували попередні дослідження, які розглядали ефективність конвеєрних систем із використанням різних підходів. Зокрема, моделювання енергоефективності, продемонструвало шляхи оптимізації параметрів конвеєрної стрічки для досягнення високої операційної ефективності. Було розглянуто вплив різних факторів, таких як швидкість руху стрічки, навантаження та енергоспоживання, що дозволило нам встановити оптимальні параметри для нашої системи.

Визначили, що додавання поліімідної плівки або PEI на нейлонову стрічку підвищує її стійкість до високих температур і забезпечує оптимальні умови друку, запобігаючи пошкодженням від контакту з екструдером. Також було визначили, що використання нейлонової стрічки є найбільш ефективним варіантом для забезпечення безпеки та надійності стрічки для безперервної роботи систем, а також додавання захисного шару з поліімідної плівки забезпечує не лише стійкість до високих температур, але й тривалий термін експлуатації друкованої поверхні

Ми дослідили основні типи поверхонь, які використовуються для 3D-друку, і встановили, що PLA забезпечує найкращу адгезію на конвеєрних стрічках. Однак проблема розплавлення матеріалу через контакт із гарячим екструдером змусила нас обрати PLA.

Було розглянуто характеристики полімерних ниток, які використовуються для 3D-друку, і класифікували їх на чисті та композитні. Дослідження показують, що хоча чисті полімерні нитки мають хороші базові властивості, їхні механічні характеристики часто не задовольняють потреб виробництва.

Композитні матеріали, зокрема нитки з додаванням графену або інших наповнювачів, продемонстрували значно вищі показники міцності та зносостійкості.

PLA був визнаний одним із найкращих матеріалів для нашої системи завдяки його екологічності та універсальності. Також розглянуто композитні нитки на основі PLA, що дозволяє забезпечити необхідну механічну міцність для друку складних деталей.

У цьому розділі проведено, що для забезпечення безперервної роботи системи автоматизації 3D-друку оптимальними є використання нейлонової конвеєрної стрічки з поліімідним покриттям та PLA або композитних ниток на його основі. Запропоновані рішення дозволяють підвищити ефективність процесу друку, знизити витрати енергії та забезпечити тривалий термін експлуатації обладнання.

### **3 МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ 3D-ДРУКУ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОБОТИ СИСТЕМИ**

#### **3.1 Під'єднання та налагодження обміну даних між Raspberry Pi та OctoPrint**

Для багатьох 3D-принтерів файли для друку завантажуються або через слот SD, або через USB-порт. Це означає, що вам доведеться, наприклад, вставляти SD-карту в комп'ютер, завантажувати на неї G-код і вставляти її в 3D-принтер щоразу, коли ви хочете щось надрукувати. А принтер без слота для SD-карт вимагає, щоб комп'ютер був прив'язаний до нього протягом усього процесу друку.[43,44,45]

З OctoPrint таких незручностей немає. Ви можете отримати доступ до принтера через Wi-Fi і виконувати безліч завдань, таких як завантаження і запуск друку, моніторинг через пряму трансляцію з камери, запис таймлапсів, керування принтером і багато іншого! Це дуже популярний інструмент серед ентузіастів 3D-принтерів, який значно покращує користувацький досвід.

У цьому розділі було проаналізовано та розібрано, як встановити OctoPi на одну з плат Raspberry Pi. Але спочатку розглянемо OctoPrint, його можливості рис.3.1 і те, що потрібно для встановлення OctoPi.

На нашу думку, найбільш корисною функцією OctoPrint є можливість віддаленого керування вашими принтерами. Багато принтерів оснащені невеличкими сенсорними екранами або погано продуманими інтерфейсами, через що навіть такі стандартні завдання, як наведення осей, викликають проблеми. Інтуїтивно зрозумілий веб-інтерфейс OctoPrint значно спрощує використання принтера, дозволяючи вам зосередитися на інших справах.[46,47]

Різноманітні плагіни, доступні через інтерфейс менеджера плагінів, надають додаткові функції, включаючи створення власних таймлапсів, зовнішній моніторинг/контроль за допомогою смартфона і навіть інтеграцію з Telegram для віддаленого моніторингу.

Якщо налаштування Wi-Fi з використанням інструмента Raspberry Pi Imager було успішно виконано рис.3.2, можна безпосередньо переходити до розділу, присвяченого підключенню Raspberry Pi до принтера рис.3.3. У разі відсутності попередньої конфігурації необхідно виконати ручне налаштування бездротового з'єднання відповідно до наведених нижче інструкцій.[48,49]

Після завершення запису образу операційної системи інструментами на зразок Raspberry Pi Imager або Etcher SD-карта може бути автоматично демонтована з системи. У такому випадку користувач має повторно підключити карту до комп'ютера, щоб продовжити роботу.

У файловій системі SD-карти, зазвичай доступній під назвою boot, знаходиться набір системних файлів. Серед них слід ідентифікувати конфігураційний файл `ostopi-wpa-suplicant.txt`, який призначений для налаштування параметрів Wi-Fi. Для редагування цього файлу важливо використовувати текстові редактори, які зберігають коректне форматування та забезпечують сумісність з UNIX-системами. Стандартні редактори, як-от Notepad у Windows чи TextEdit на MacOS, можуть вносити небажані зміни до структури файлу, що може спричинити помилки під час його подальшого використання. [50]

У файлі `ostopi-wpa-suplicant.txt` необхідно знайти секції, які містять параметри SSID (ім'я мережі) та пароль для підключення до бездротової мережі. Після внесення відповідних змін файл слід зберегти у форматі UTF-8 без змін до його розширення. Лише після цього SD-карту можна використовувати у Raspberry Pi для забезпечення доступу до мережі. Такий підхід забезпечує точність налаштувань та мінімізує ризик помилок при конфігурації мережевого з'єднання.



Рисунок 3.1 - Можливості OctoPrint

```
## WPA/WPA2 secured
network={
  ssid="Octopus"
  psk="OctoPrint"
}

## Open/unsecured
#network={
#  ssid="put SSID here"
#  key_mgmt=NONE
#}

## WEP "secured"
##
## WEP can be cracked within minutes. If your network is still relying on this
## encryption scheme you should seriously consider to update your network ASAP.
#network={
#  ssid="put SSID here"
#  key_mgmt=NONE
#  wep_key0="put password here"
#  wep_tx_keyidx=0
#}

# Uncomment the country your Pi is in to activate Wifi in RaspberryPi 3 B+ and above
# For full list see: https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_3166-1_alpha-2
country=GB # United Kingdom
#country=CA # Canada
#country=DE # Germany
#country=FR # France
country=US # United States

### You should not have to change the lines below #####
```

Рисунок 3.2 - Налаштування Wi-Fi

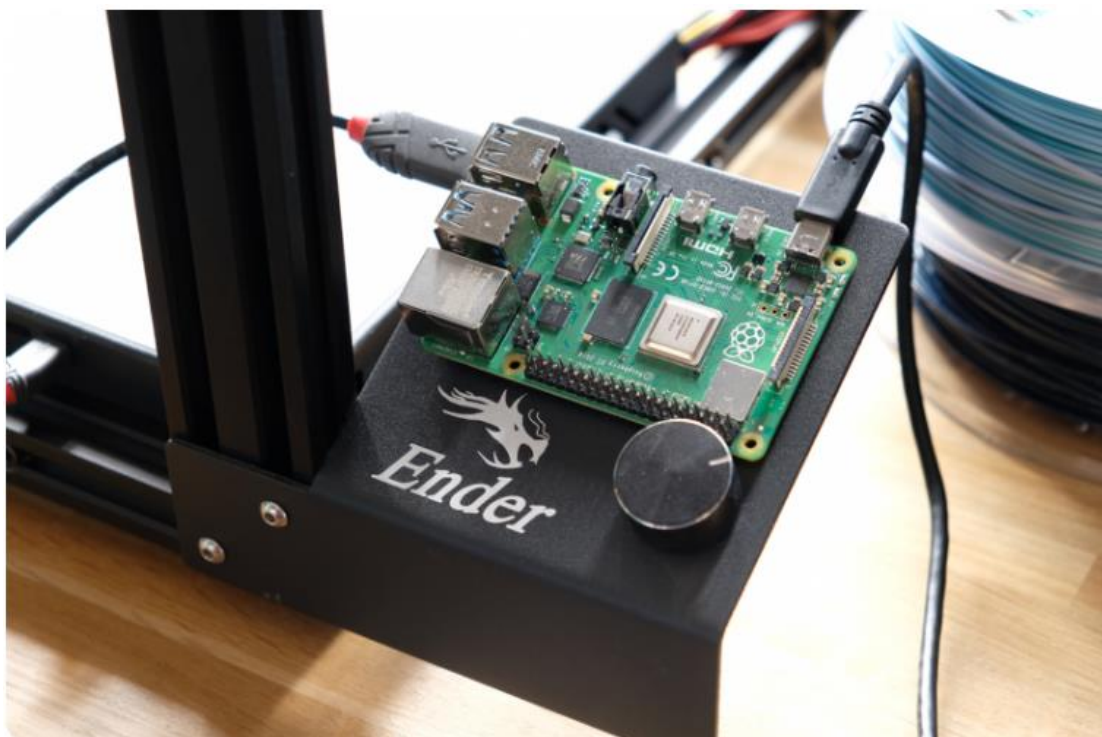


Рисунок 3.3 - Під'єднання Raspberry до ОП

Також можливо налагодити обмін даними через локальну мережу, для створення власного хмарного сервісу, оскільки хмарні сервіси зберігання даних сьогодні дуже дорогі, через що користувач має обмежений обсягом пам'яті, вартість послуг дуже висока при використанні більш як кількох гігабайтів, а також при виконанні обчислень на хмарних серверах можуть статися посилки або перебої з електроенергією, через що процес може повністю зупинитися, використовуючи разбері пай для обчислення та передачі даних через локальну мережу та додаткове джерело живлення у вигляді павербанку, можливо уникнути подібних проблем. [51,52,53]

Висока вартість, додаткові витрати на пробний період, необхідність обслуговування, щорічна плата за користування послугами робить використання платних хмарних технологій недоцільними для невеликих домашніх проектів або тестування нових проектів без значних фінансових витрат.

Open Media Vault надає веб-інтерфейс для управління мережевим сховищем і підтримує ряд файлових систем, включаючи EXT4, BTRFS і NTFS. Next cloud та Own cloud - це також саморозміщені платформи для обміну файлами та спільної роботи, які можна використовувати як NAS-рішення, і обидві можуть бути встановлені на Raspberry Pi за допомогою спеціалізованих образів.

Обмеження продуктивності: Raspberry Pi має відносно скромні процесор і пам'ять у порівнянні зі спеціальними пристроями мережевого зберігання даних (NAS) або іншими серверами. Це може обмежити продуктивність певних додатків, особливо якщо існуюча система вимагає великої обчислювальної потужності або ширини смуги пропускання.

Дані можуть бути отримані з централізованого дискового сховища кількома користувачами та різними клієнтськими пристроями за допомогою мережевого сховища, або Network-Attached Storage. Для доступу до спільного сховища користувачі локальної мережі використовують типове з'єднання Ethernet. Також можна проаналізувати та зробити припущення щодо потенційної доцільності надання Network-Attached Storage додаткових функцій, таких як віддалений доступ, резервне копіювання та синхронізація, а також можливості потокової передачі мультимедійних даних, що стане в нагоді при використанні ОктоПринт який має вбудований функціонал передачі зображення та аналізу процесу друку, залежно від конкретних потреб.

Економічна ефективність стає головною перевагою, оскільки у порівнянні з багатьма іншими мережевими сховищами або серверними рішеннями, Raspberry Pi є дешевим пристроєм, що робить його економічно ефективним рішенням для невеликих проектів або проектів з обмеженим бюджетом. [54,55]

На рис. 3.4 зображено архітектурна схема Raspberry Pi з NAS, на якій перше і найголовніше - це зібрати всі компоненти, необхідні для

налаштування. Підключити роутер TP link до джерела живлення і з'єднайте порт Ethernet кабелю роутера з портом Raspberry Pi. Після чого переконайтеся, що роутер підключений до модему для доступу до Інтернету, та видимий для Raspberry Pi. Увійшовши на сторінку налаштувань маршрутизатора, IP-адреса за замовчуванням 192.168.0.1.

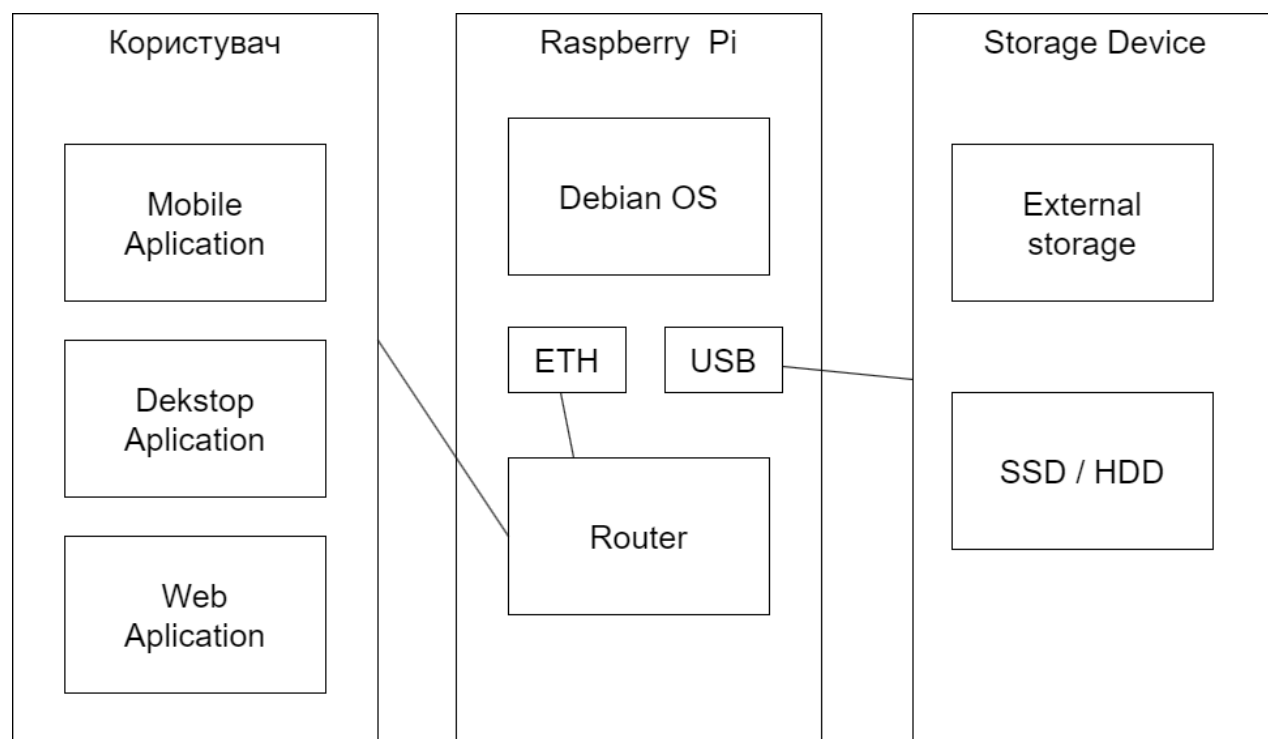


Рисунок 3.4 Архітектурна схема для Raspberry Pi з NAS

Налаштування з'єднання на FTP-клієнті ПК рис.3.5, після відкриття FTP-клієнта можливо ввести параметри хоста. Ці параметри є параметрами нашого Raspberry Pi. Як показано на рис. 3.5, потрібно заповнити наступні параметри:

- хост: IP-адреса, нашого Raspberry Pi;
- ім'я користувача: ім'я користувача Raspberry Pi. За замовчуванням це «рі» ;

– пароль: пароль користувача Raspberry Pi. Пароль за замовчуванням «raspberrypi», але при реєстрації облікового запису, встановленні операційної системи ви могли обрати інший пароль;

– порт: 22, 2222, стандартні порти, але можна перевірити запусивши в консолі Raspberry Pi команду `sudo netstat -tuln`.

Перейшовши до списку клієнтів `dhcpcd` і знайшовши IP-адресу Raspberry Pi. Обов'язково слід записати у програмі або у додатковому файлі IP-адресу контролеру, оскільки при під'єднанні додаткових пристроїв це буде важливо.

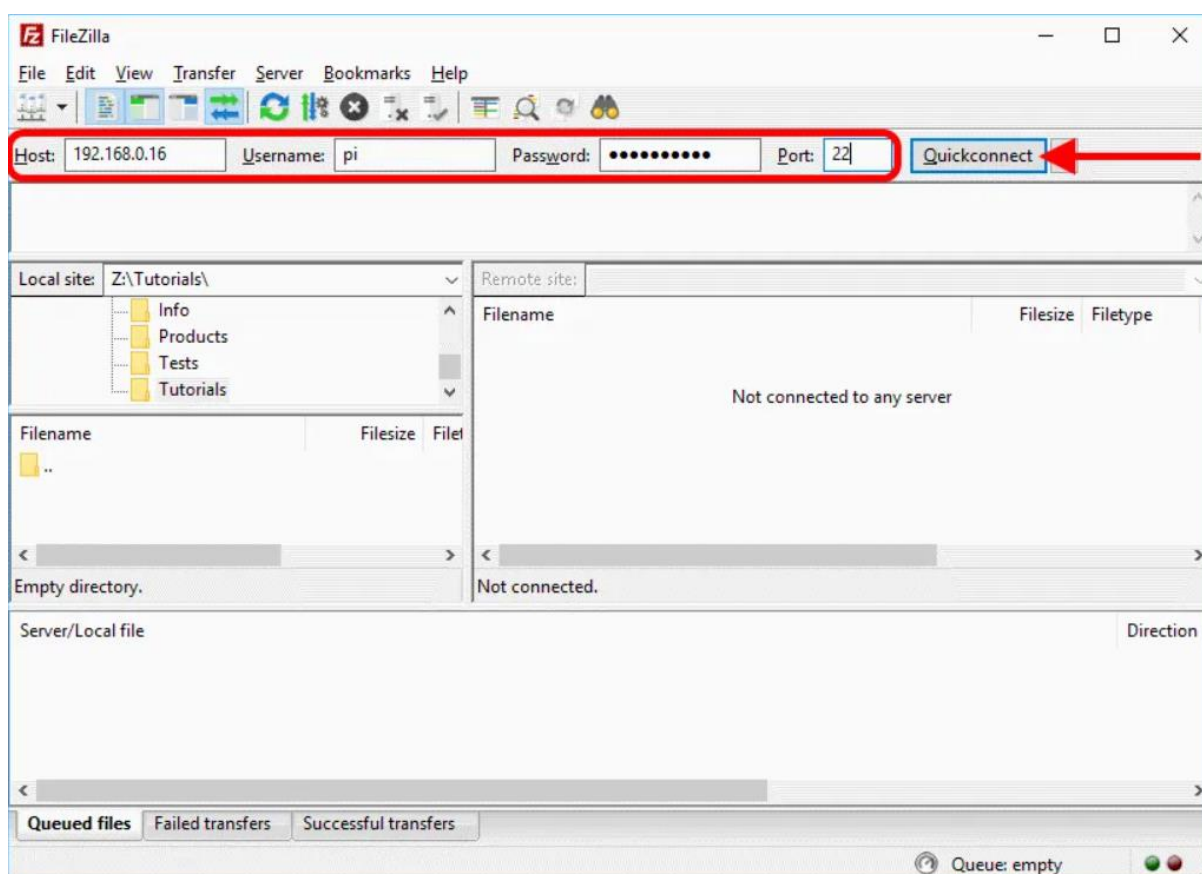


Рисунок. 3.5 Конфігурація Raspberry Pi

Існує шість основних компонентів рис. 3.6. Компонент Веб-додаток надає користувацький інтерфейс для доступу до мережевої системи зберігання даних. Цей компонент взаємодіє з компонентом автентифікації та введення даних користувача. На цій архітектурній схемі представлені різні компоненти

та взаємодії мережевої системи зберігання даних з використанням Raspberry Pi, показано, як керується автентифікація та авторизація користувачів, як зберігаються файли та доступ до них, а також як можна отримати доступ до системи зберігання даних як локально, так і віддалено.

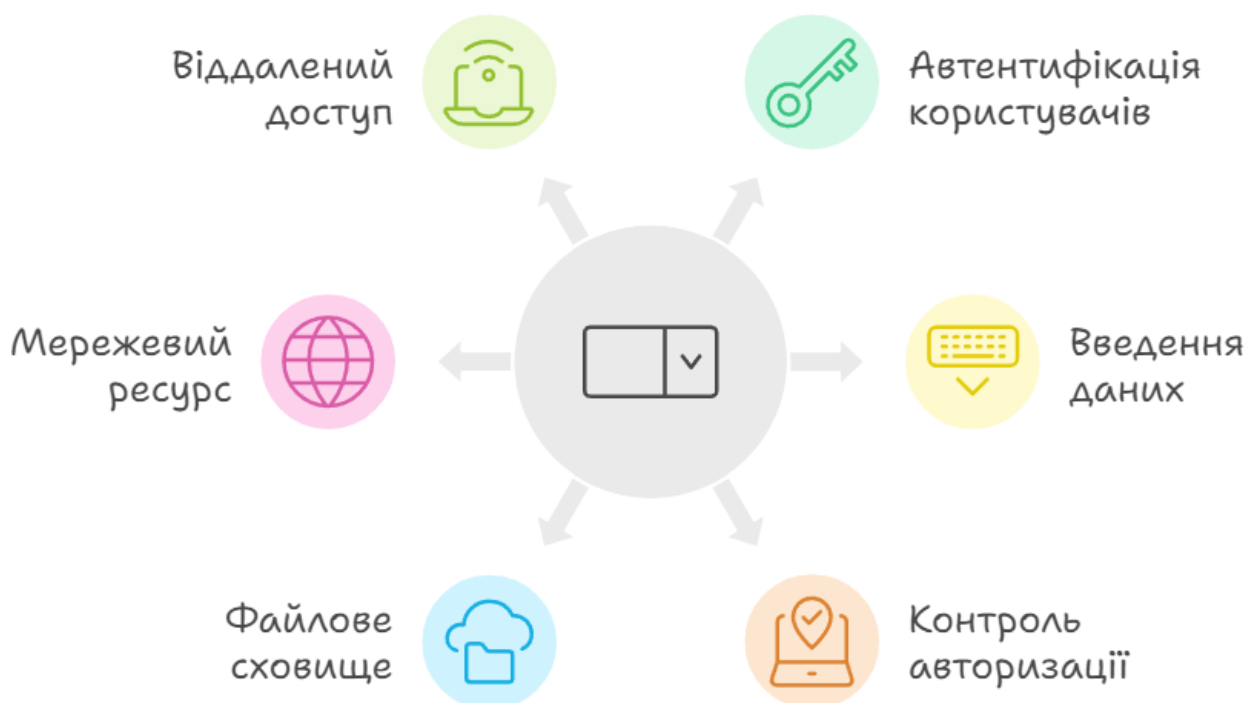


Рисунок 3.6 Основні компоненти

При роботі з великою кількістю файлів і даних, нам знадобиться мережеве сховище, або скорочено NAS. Якщо користувачі не мають можливості використовувати комп'ютер для зберігання даних найкращим варіантом буде використання зовнішнього жорсткого диску для цієї функції, оскільки їх ціна порівняно низька та вони мають високу надійність, але також можливо використовувати для пам'яті картку пам'яті на якій розташовано операційну систему та передавати великі масиви даних до нашого хмарного сховища при наявності світла очищуючи пам'ять від старих даних. У цій конфігурації використовується Open Media Vault OS, операційна система debian, яку можна вільно встановлювати.

Багато систем NAS підтримують підключення одного або декількох накопичувачів для збільшення загальної ємності пам'яті. Клієнти ніколи не підключаються до конкретних пристроїв зберігання даних, натомість вони завжди використовують IP-адресу головного пристрою NAS.

Для доступу до мережевого сховища клієнти часто використовують з'єднання Ethernet. Головний вузол у цій конфігурації, NAS, відображається в мережі як єдиний вузол.

OpenMediaVault – це популярне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, яке можливо встановити на Raspberry Pi для організації мережевого сховища. Воно підтримує різні файлові системи, конфігурації RAID і надає широкий вибір сервісів, таких як FTP, SMB/CIFS, NFS тощо.

Nextcloud – це ще одне рішення з відкритим вихідним кодом, яке можливо використовувати на Raspberry Pi як NAS. Воно пропонує синхронізацію файлів, управління календарем, контактами та багато інших корисних функцій.

OwnCloud, подібний до Nextcloud, також надає можливість створення персонального хмарного сховища з аналогічним функціоналом. FreeNAS – це безкоштовна операційна система на базі BSD, яка підтримує функції NAS і може бути адаптована для Raspberry Pi за допомогою спеціальних плагінів. Мережеве сховище (NAS) – це чудове рішення, якщо обробляється та зберігається великий обсяг файлів і даних.

Наприклад, наш внутрішній жорсткий диск часто заповнений робочими матеріалами та програмами, тому для збереження даних часто використовуються зовнішні носії. Однак, коли інші користувачі проектів або робочих груп потребують доступу до певних файлів або наборів даних, мережеве сховище стає незамінним інструментом для організації та обміну даними.

Ми можемо використовувати Raspberry Pi як невеликий сервер або пристрій для додатків Інтернету речей (Internet of Things). Завдяки низькому

енергоспоживанню та компактності, цей пристрій чудово підходить для запуску різноманітних сервісів, таких як веб-сервери, медіацентри або системи домашньої автоматизації.

Одним із практичних варіантів є налаштування Raspberry Pi як файлового сервера, що дозволяє нам зручно отримувати доступ до файлів і обмінюватися ними в межах локальної мережі. Іншим корисним застосуванням є його роль у контролі розумного будинку, де можливо автоматизувати та управляти освітленням, опаленням чи системами безпеки, таким чином можливо використовувати Raspberry Pi не тільки для контролю процесу безперебійного друку 3D принтером, що робить його більш конкурентно здатним да доцільним для користувача. [56,57,58]

Крім того, Raspberry Pi ідеально підходить для збору й моніторингу даних у Internet of Things - проектах, наприклад, для контролю температури, вологості або відстеження споживання енергії. Його універсальність дозволяє використовувати цей пристрій як центральний вузол для управління системами розумного будинку, включаючи освітлення, замки й термостати.

Ми можемо масштабувати систему, додаючи нові пристрої та автоматизуючи різні рутинні завдання через інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Універсальність Raspberry Pi робить його чудовим вибором для широкого спектра наших вимог при реалізації проекту автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи.

### 3.2 Побудова алгоритму керування системою автоматизації процесу 3D-друку

Процес керування системою можна розбити на кілька простих алгоритмів які будуть виконуватися окремими функціями на Python. Першим алгоритмом який розшлянуто буде функція 3Dprint() файлу main.py рис.3.7, при наявності OctoPrint або заготовленої бази даних функція підтягне

константи та існуючі змінні, у випадку якщо серед виготовлених знімних буде присутня Err(змінна що відповідає за присутність помилок в коді роботи) = 1 або Finish (змінна що відповідає за закінчення черги друку) = 1, при подачі сигналу про необхідність присутності оператора, оскільки алгоритм має критичну помилку або завершив свою роботу та готовий до вимкнення. Код для виклику state зображено на рис.3.7, рис.3.8 можливі стани state:

- Printing - відбувається друк;
- Paused - увімкнена пауза;
- Operational - усе увімкнено, помилки відсутні, друк не розпочато;
- Finishing - друк завершується, очищення головки, повернення в стартову позицію і тд;
- Offline - принтер не підключено.

У нашому випадку при state = Operational прирівнюємо змінну Finish до 1, та повідомляємо оператору про зупинку. Далі оператор вимкне систему через завершення друку або розпочне новий друк, у випадку якщо оператор задав чергу друку система не перейде в стан Operational а перейде в Paused, який в свою чергу в функції відповідальній за увімкнення конвеєрної стрічки (Conv\_move) при завершенні заміни друкуючої поверхні провокує старт друку та перехід в стан Printing.

Після старту друку програма перевіряє скільки часу залишилося до кінця друку, викликаючи змінну progress яке є масивом з інформацією про прогрес, у якій містяться наступні параметри:

- completion - відсоток виконаного друку у форматі 0.XX;
- filepos - кількість виконаних байтів G-коду;
- Time - час який виконується друк;
- TimeLeft- час який залишився до завершення друку.

Програма оновлює дані про час друку доки він не завершиться, при завершенні T\_print = 0 запускається функція Conv\_move, відповідальна за

контроль конвеєрної стрічки. При завершенні її роботи головна функція відвантажує нові дані на наявність помилок та знову запускає цикл друку.

Алгоритм роботи функції `Conv_move` рис.3.9 відповідає за роботу конвеєру, викликається у коді `3Dprint` та виконує наступну дію - при завершенні друку цикл запускає конвеєрну стрічку.

При старті роботи `3Dprint()` в першу чергу повторно завантажує змінні та переконується що принтер завершив процес друку, у випадку якщо існує змінна відповідальна за час який залишився до завершення друку цикл ставиться на паузу до моменту завершення друку, тобто до того моменту доки змінна відповідальна за час який залишився для друку не буде дорівнювати нулю.

Йде перевірка на повтор помилки `Err1` яка відповідає за прилипання друкованого об'єкту до друкуючої поверхні, оскільки використано дві друкуючі поверхні можливо дозволити об'єкту прилипнути до однієї поверхні та друкувати на другій, після завершення друку на другій поверхні нам доведеться зупинити друк до втручання оператора.

```
44 url = "http://10.2.10.223/api/job"
45 api_key = my_api_key
46 headers = {
47     "X-API-Key": api_key
48 }
49 response = requests.get(url, headers=headers)
50 if response.status_code == 200:
51     data = response.json()
52     print(f"Current state: {data['state']}")
53 else:
54     print(f"Error: {response.status_code}")
55
```

Рисунок 3.7 - Код запиту змінної state

У випадку якщо принтер не друкує та  $Err1 = 0$ , конвеєрна стрічка буде увімкнена та працювати час необхідний для проходження половини довжини конвеєрної стрічки.

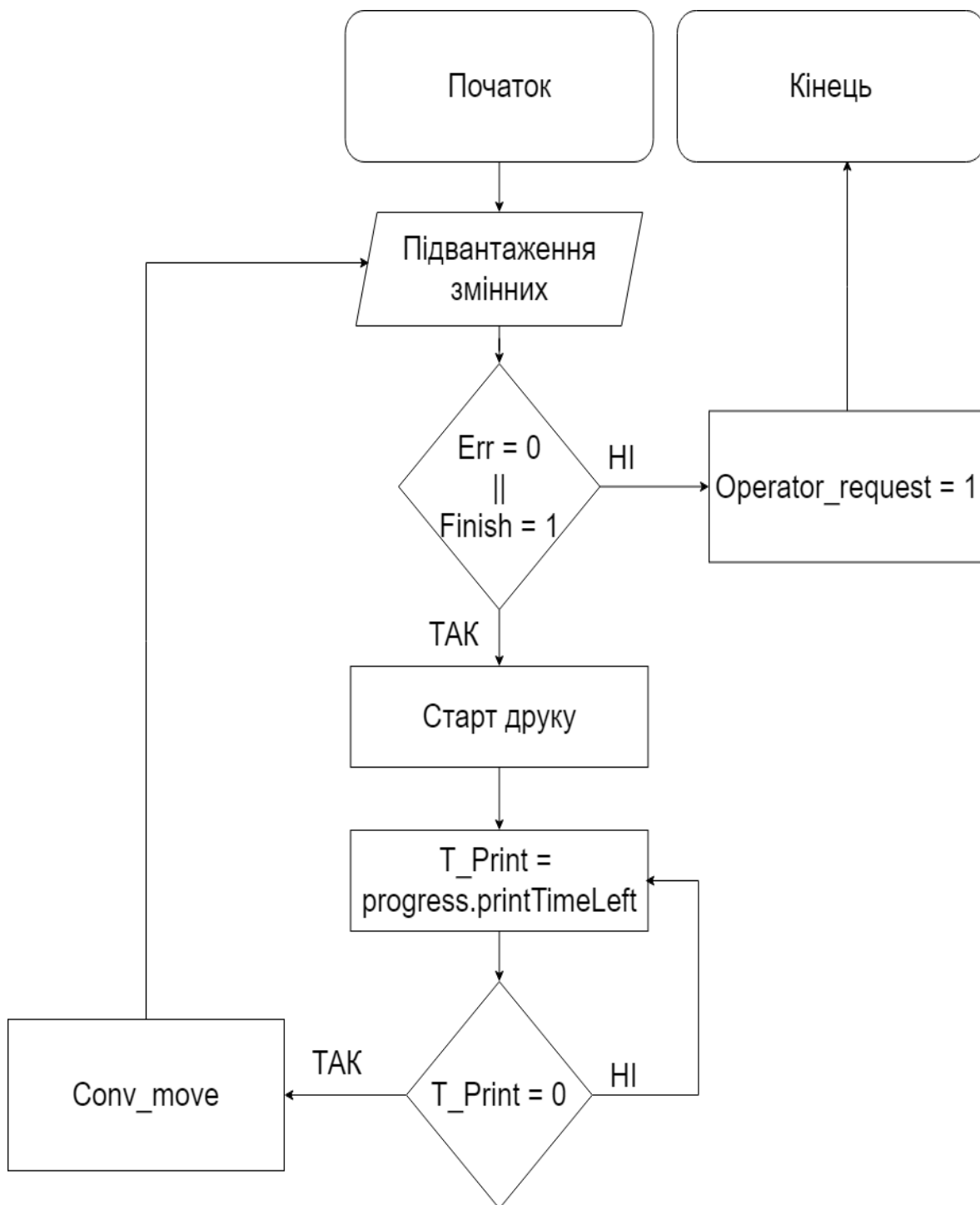


Рисунок 3.8 - Алгоритм роботи функції 3Dprint

Під час роботи відбувається перевірка стандартним датчиком HC SR04 для визначення об'єктів на друкуючій поверхні, якщо відстань яку показує датчик зменшується, це свідчить підтвердженням прилипання об'єкту до друкуючої поверхні та прирівнюємо D1 до 1, тим самим говорячи про помилку Err1, але як було уже сказано вище, оскільки потенційно використовується декілька друкуючих областей непридатність однієї з них не призведе до повної зупинки, доки є інша робоча область.

Додатковий датчик D2 виконує схожу роль але він перевіряє фіксацію друкуючої поверхні в зоні для друку, у випадку якщо поверхня не опинилася в визначеному місці в визначений час функція запускає відлік та паузи на 10 секунд, при проходженні п'яти пауз вважаємо що Err2 = 1, сталася помилка в роботі конвеєрної стрічки та зупиняємо функцію.

Якщо датчик 2 спрацював, вмикається нагрівача поверхня для задання температури друкуючій області аби під час друку наш об'єкт не відклеювався а тримався на місці. Повторюємо перевірку з затримкою відповідності температури, у випадку відсутності нагріву, Err3 прирівнюємо 1, що відповідає поломці нагрівної поверхні, після чого у коді вимикаємо друк. Після нагріву до відповідної температури повторюється цикл друку. Частина коду Conv\_move відповідального за алгоритм роботи зображено на рис.3.9.

У цьому алгоритмі не враховується існування системи підігріву друкуючої поверхні, припускаючи, що використовується друкуюча поверхня без потреби в підігрів, але у випадку необхідності, можливо імплементувати подібну систему та прописати її алгоритм роботи наступним чином, рис. 3.10.



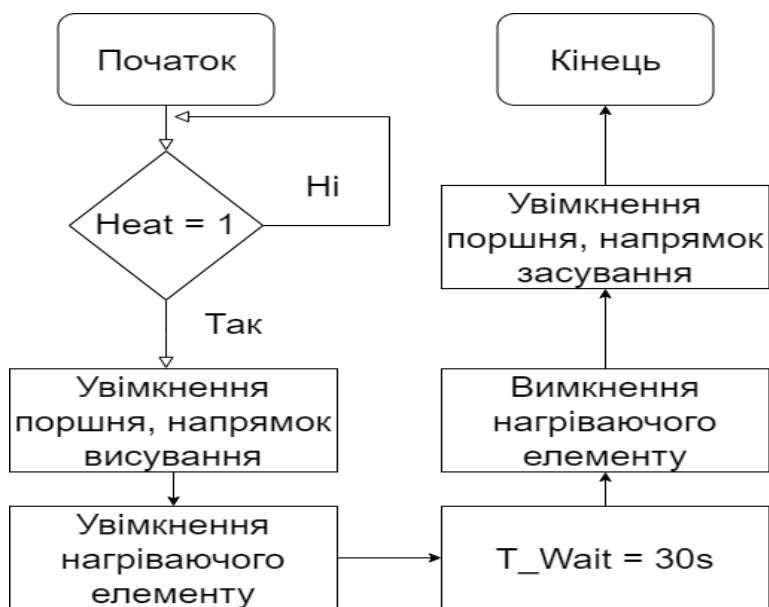


Рисунок 3.10 - Алгоритм роботи системи нагріву друкуючої поверхні  
(функція Heat())

```

def Conv_move():
    conveyor_length = 100
    half_cycle_time = conveyor_length / 2
    retries = 0

    while True:
        if printing_finished():
            time_remaining = get_time_remaining()
            while time_remaining > 0:
                time.sleep(1)
                time_remaining = get_time_remaining()

            if check_error_adhesion() == 1:
                continue

            start_conveyor()
            start_time = time.time()
            while time.time() - start_time < half_cycle_time:
                if detect_object():
                    set_error("Err1")
                    break
                time.sleep(0.1)

            if not check_surface_position():
                retries += 1
                if retries >= 5:
                    set_error("Err2")
                    stop_function()
                    break
                time.sleep(10)
            else:
                retries = 0
        else:
            time.sleep(1)
  
```

Рисунок. 3.11 - Частина коду Conv\_move

### 3.3 Розробка абстрактної моделі системи автоматизації процесу 3D-друку

Орієнтуючись на вимоги поставлені в попередніх розділах можливо розпочати розробку абстрактної моделі системи автоматизації процесу 3D-друку. На рис.3.11 зображено вид згори на нашу модель, на конвеєрну стрічку монтується поверхня для друку, яка кріпиться до стрічки зажимами, обидві поверхні розташовані відповідно, через що коли перша поверхня перебуває під друкуючою голівкою іншу не видно при виду зверху. Також зображено розташування датчиків відстані, D1 та D2, які відповідають за перевірку поверхні для друку на присутність сторонніх об'єктів (якщо надрукований об'єкт не відчепився та залишився на друкуючій поверхні), та калібрування встановлення поверхні для друку в задані координати відповідно.

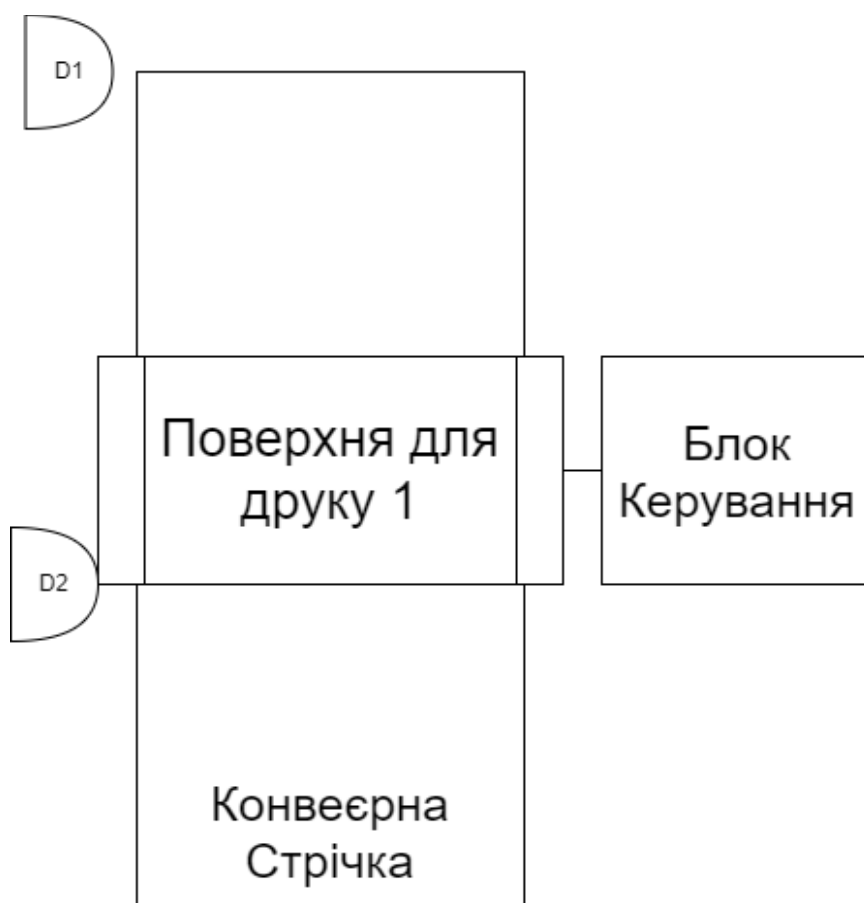


Рисунок 3.12 - Абстрактна модель, вид згори

Як видно з розташування датчиків на рис.3.12, горизонтально встановлений датчик D1 перевіряє відстань між собою та доступною поверхнею, у випадку якщо під час роботи системи щось потрапить в діапазон довжини конвеєрної стрічки, датчик реагує як на сторонній об'єкт, датчики відстані передають дані у вигляді набору цифр, які відповідають відстані у міліметрах, через що система здатна вставити реагування на ситуацію коли показник датчика менший за 500 міліметрів, що буде означати прилипання або наявність стороннього елемента на конвеєрній стрічці.

Додатковий датчик D2 розташований вертикально перевіряє відстань за тією самою логікою, оскільки наша поверхня для друку ширша за конвеєрну стрічку, буде записано зміну параметрів з відстані від датчика до землі або поверхні на яку встановлено конвеєр.

Під час роботи датчику, після завершення циклу “заміни поверхні”, нова поверхня зробить зміну свого положення на половину довжини стрічки та увійде в зону зчитування датчику, що буде означати наявність поверхні в необхідній зоні.

Для більш точної калібровки можливо використовувати кілька датчиків, або калібрувати розташування панелі не по її межах а по кількох зроблених у ній отворах, оскільки шанс на помилку та відповідну зміну параметрів знижується, через те що відбувається подвійна перевірка, та зменшення шансу помилки через втручання зовнішніх факторів які могли б затригерити датчик. Таким чином можливо більш точно визначати положення поверхні для друку, але всерівно бажано виконувати кожен раз після завершення циклу очищення та встановлення нової поверхні для друку функцію автоматичного калібрування, яка вбудована в більшість нових 3Д принтерів, але подібне дослідження можливо буде провести в майбутньому у випадку реалізації проекту, на даній стадії припустимо, що зафіксована на конвеєрі поверхня не може відхилитися на критичну для друку величину. [59,60,61,62]

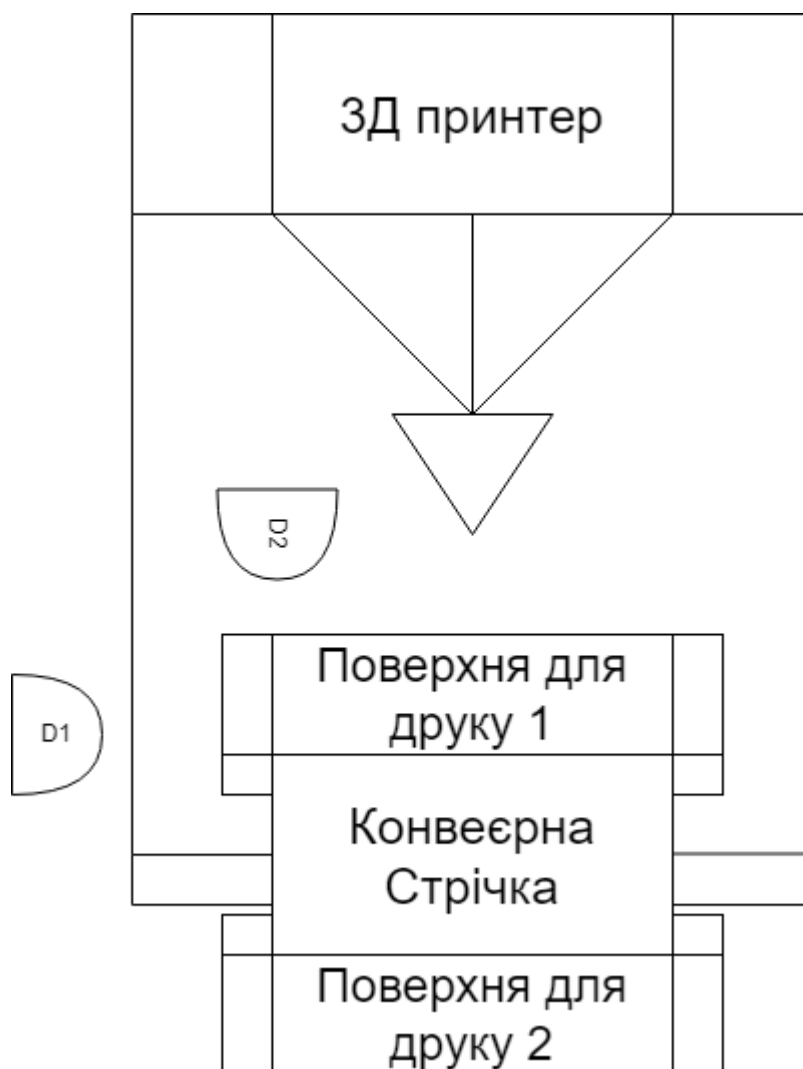


Рисунок 3.13 - Абстрактна модель, вид спереду

Вид спереду на абстрактна модель зображено на рис.3.13, головна вимога та пріоритет розробки нашої моделі - це можливість встановити в зазор між конвеєрною стрічкою, двома поверхнями для друку основу 3D принтеру, оскільки подібним чином можливо швидко та надійно закріпити нашу систему, а також не вносити додаткових змін в дизайн 3D принтеру, як роблять більшість подібних систем, нажаль буде втрачено доступну висоту роботи принтеру, через висоту стрічки та системи, але потенційно при використанні конвеєрної лінії із зазором між стрічками допускається припущення, що втрата доступної висоти друку не буде більшою за кілька сантиметрів.



Рисунок 3.14 - Цикл роботи абстрактної моделі, вид збоку

Скидання надрукованих об'єктів буде відбуватися під час переходу поверхнями для друку на іншу площину, два кріплення встановлене в центрі поверхні для друку з обох сторін дозволить системі легко роботи перехід в точці з мотором, коліщатком, або іншим механізмом для забезпечення перевертання поверхні. Як зображено на рис. 2.14, під час встановлення поверхні під кутом в дев'яносто градусів усі приклеєні об'єкти повинні відчепитися, або піч дас встановлення в позицію готовності для друку під час виконання друку який може займати до кількох годин приклеєні об'єкти під впливом гравітації повинні відвалитися, але у випадку якщо вони залишаться причеплені реагує датчик D1.



Рисунок 3.15 - Схема встановлення магнітів у поверхні

Додатковим варіантом забезпечення стабільності та встановлення поверхні на місце після проходження циклу очищення можуть стати магніти рис. 3.15. можливо приєднати кілька не потужних магнітів із зворотної сторони конвеєрної стрічки та поверхні для друку, під час проходження поворотної точки, магніти роз'єднуються та дозволять системі легко повернути поверхню для друку, а при встановленні назад паралельно до конвеєрної стрічки магніти знову з'єднуються встановивши стрічку та поверхню в ідеальну позицію, забезпечивши додаткову фіксацію та надійність під час друку.

На рис. 3.13, та рис. 3.14 зображено дві абстрактні моделі поршневої систему контролю нагрівальним елементом для системи безперебійного друку. Головна перевага подібної системи полягає в тому що при нагріві

нагрівної поверхні або нагрівального елемента пластик певних типів буде краще відлипати від поверхні при завершенні друку, що в свою чергу призведе до більш надійного очищення друкуючої поверхні від надрукованої моделі, також певні типи пластику краще прилипають до нагрітої поверхні, такі як PLA (полілактид).

PLA це один з самих популярних матеріалів для 3D-друку, який виготовляють із відновлюваних ресурсів, таких як кукурудзяний крохмаль або цукрова тростина. Його біо розкладність робить PLA екологічно чистим вибором для різних проектів. Особливості PLA:

- температура друку: в межах 190 - 220 °C, що дозволяє працювати з більшістю принтерів;
- нагріта платформа: бажано використовувати температуру 50–60°C для стабільного друку, хоча PLA часто друкується і без підігріву;
- простота у використанні: завдяки низькому рівню деформації, варпінгу, PLA дозволяє друкувати навіть складні деталі без додаткових налаштувань, що буде максимально корисно при безперервному друку;
- фізичні властивості: міцний, але крихкий матеріал, підходить для статичних або декоративних об'єктів.

Загалом, PLA є чудовим вибором для тих, хто прагне отримати якісний результат без складного налаштування. Він найкраще підходить для творчих, навчальних і декоративних проектів, де не потрібна висока міцність чи термостійкість.

Також можливо використовувати без нагріву поверхні PETG (поліетилентерефталат-гліколь) — це сучасний матеріал для 3D-друку, який поєднує в собі міцність, гнучкість та зручність у роботі. Він є модифікованою версією стандартного PET, широко використовуваного в харчовій промисловості, наприклад, для виготовлення пластикових пляшок. Додавання гліколю в структуру робить PETG менш крихким і більш стійким до деформацій.

PETG має високу хімічну та термостійкість, що робить його ідеальним для виготовлення функціональних деталей, які повинні витримувати механічні навантаження або вплив агресивних середовищ. Він має хорошу адгезію до нагрітих поверхонь, особливо при температурі платформи 70–90°C.

Під час друку PETG демонструє низьку схильність до деформації (warping), що дозволяє друкувати навіть великі об'єкти з високою точністю. Однією з ключових переваг PETG є його комбінація міцності та еластичності. На відміну від PLA, він не крихкий, що дозволяє використовувати його для деталей, які повинні витримувати ударні або гнучкі навантаження.

Однак PETG чутливий до налаштувань друку, зокрема, важливо уникати перегріву, оскільки це може призвести до ниток і спотворених поверхонь.

PETG також відомий своєю стійкістю до вологи та ультрафіолету, що дозволяє використовувати його для зовнішніх елементів або в умовах підвищеної вологості. Завдяки високій прозорості у певних варіаціях PETG підходить для створення об'єктів із естетичним акцентом, таких як світлодіодні корпуси або декоративні елементи.

Хоча PETG є трохи складнішим у друку, ніж PLA, він забезпечує чудовий баланс між довговічністю, стійкістю до навантажень та простотою роботи, що робить його одним із найбільш універсальних матеріалів для 3D-друку.

Як видно з рис.3.16 та рис.3.17 поршень встановлюється в проміжок між конвеєрними стрічками, що дозволить висунути нагрівальний елемент та прижати його через конвеєрне стрічку до поверхні для друку, таким чином, нагрівати поверхню для кращої роботи з пластиком у випадку якщо така необхідність є, також можливе покращення коду для визначення оптимальної дії з певним типом пластику, ігноруючи або використовуючи нагрів лише для очищення поверхні а не для нагрівання перед друком.

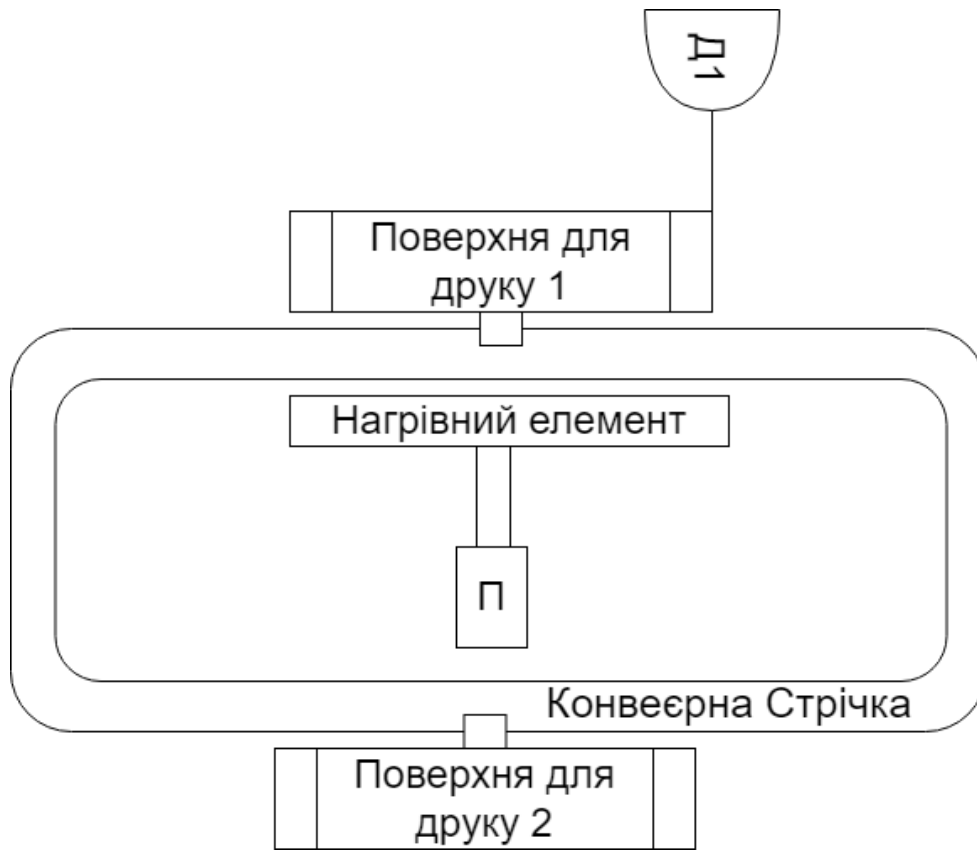


Рисунок 3.16 - Абстрактна модель, версія 1, вид збоку на поршневу систему контролю нагрівальним елементом

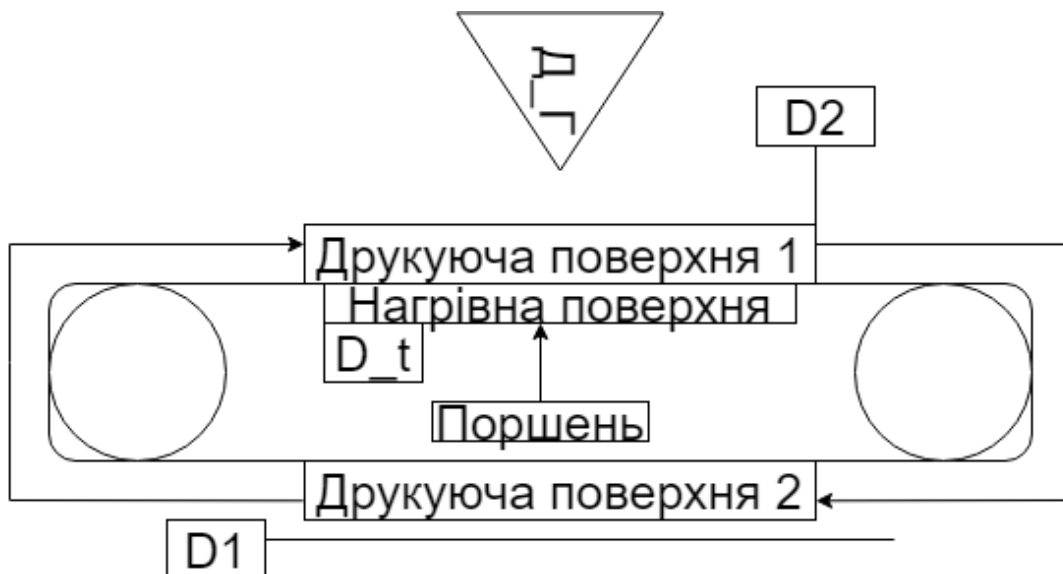


Рисунок 3.17 - Абстрактна модель, версія 2, вид збоку на поршневу систему контролю нагрівальним елементом

### 3.4 Висновки до другого розділу

В результаті аналізу системи автоматизації процесу 3D-друку було змодельовано метод, спрямований на забезпечення безперервної роботи системи. У ході дослідження вирішено низку важливих завдань, що підвищують ефективність та автономність роботи.

Було налаштовано обмін даними між Raspberry Pi та OctoPrint, що забезпечило зручний доступ до принтера через Wi-Fi. Завдяки впровадженню OctoPrint вдалося позбутися необхідності прямого втручання в кодування принтеру, та відмова від фізичних носіїв, таких як SD-карти або USB-з'єднання що під'єднуються в принтер для передачі даних об'єкту для друку. Проведено детальну інсталяцію OctoPi на Raspberry Pi, що дозволило забезпечити стабільний доступ до керування через веб-інтерфейс або реалізацію керування програмним шляхом.

Особливу увагу було приділено правильному редагуванню конфігураційних файлів для налаштування мережі, що дає змогу уникнути проблем із форматуванням і забезпечити стабільність роботи системи.

Розроблено алгоритм керування процесом автоматизації, який регулює стани 3D-принтера, зокрема Printing, Paused, Operational, Finishing та Offline. Алгоритм передбачає автоматичну обробку помилок та завершення завдань за допомогою змінних Err та Finish. Реалізовано можливість переходу між станами, наприклад, під час призупинення друку активується заміна друкуючої поверхні, після чого друк автоматично продовжується. Алгоритм враховує залишковий час виконання задачі за допомогою масиву progress, що забезпечує оптимізацію роботи системи.

Створено абстрактну модель автоматизації, яка ґрунтується на використанні конвеєрної стрічки для переміщення друкуючих поверхонь. Датчики D1 та D2 інтегровано для перевірки наявності сторонніх об'єктів, та коректного положення поверхонь а також для реагування на зміну умов, таких

як прилипання об'єктів до стрічки або зміщення поверхні для друку. Це дозволило досягти високої точності та стабільності роботи системи.

У результаті виконаної роботи вдалося створити систему, яка поєднує сучасні апаратні та програмні засоби, такі як Raspberry Pi, OctoPrint, конвеєрна стрічка та датчики. Це рішення дозволило забезпечити безперервність друку, підвищити продуктивність та закласти основу для подальшої модернізації системи.

## 4 РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ 3D-ДРУКУ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОБОТИ СИСТЕМИ

4.1 Вибір середовища для розробки моделі системи автоматизації процесу 3D-друку

Модель системи автоматизації процесу 3D-друку було розроблено в sketchup. SketchUp було обрано з багатьох причин, які включають її доступність, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, широкий функціонал і можливості для створення точних 3D-моделей.

SketchUp ідеально підходить для завдань такого типу завдяки своїй гнучкості та простоті у використанні.

Основні причини вибору SketchUp:

1. Доступність, SketchUp має безкоштовну версію (SketchUp Free), яка доступна як веб-додаток. Це дозволяє почати роботу без фінансових витрат. Крім того, програма не потребує високих апаратних ресурсів, що робить її придатною для використання на широкому спектрі пристроїв;

2. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс SketchUp є доволі простим і зрозумілим інтерфейсом, який дозволяє швидко освоїти базові функції навіть новачкам. Всі основні інструменти, такі як створення геометричних фігур, екструзія, масштабування та обертання, легко доступні на панелі інструментів;

3. Точність і параметризація. Для моделювання системи автоматизації процесу 3D-друку важливим аспектом є точність. SketchUp дозволяє задавати точні розміри та координати для елементів, що забезпечує створення моделей, які відповідають реальним технічним вимогам;

4. Широкий вибір інструментів для проектування SketchUp пропонує безліч функцій, які значно спрощують процес створення моделі систем автоматизації:

- інструмент "Push/Pull": дає змогу легко створювати тривимірні об'єкти шляхом екструзії поверхонь;
- групування і компоненти: дозволяє організувати модель, об'єднувати елементи в групи або компоненти. Це особливо корисно для роботи з великими системами, де кожен компонент виконує певну функцію;
- шари і теги: забезпечують зручне управління різними частинами моделі, що дозволяє швидко приховувати або показувати певні елементи.

5. Велика бібліотека готових компонентів SketchUp має доступ до бібліотеки готових 3D-моделей через 3D Warehouse. Це значно спрощує роботу, оскільки багато елементів, таких як деталі механізмів, вже доступні у вигляді готових компонентів. Замість того, щоб створювати їх вручну, можна просто імпортувати їх у свій проект;

6. Підтримка плагінів і розширень. Для SketchUp існує велика кількість плагінів, які розширюють його функціонал. Наприклад, плагіни для автоматичного створення складних форм, симуляції роботи механізмів або експорту моделей у формати, сумісні з іншими програмами. Це робить SketchUp більш гнучким інструментом для моделювання специфічних систем, таких як автоматизація процесів 3D-друку;

7. Експорт у різні формати SketchUp підтримує експорт моделей у різні формати, зокрема STL, що є стандартом для 3D-друку. Це дозволяє легко перенести модель до програмного забезпечення для нарізання (slicer), яке використовується для підготовки до друку.

Використовуючи усі надані середовищем функції користувач може легко відтворити дизайн нашого методу та створити дизайн тестової моделі, для дослідження та внесення можливих покращень.[63-66]

## 4.2 Реалізація моделі системи автоматизації процесу 3D-друку у середовищі SketchUp

В середовищі SketchUp було реалізовано конвеєрну стрічку та процес переміщення платформи для очищення друкуючої поверхні. На рис. 4.1 зображено вид зверху на конвеєрну стрічку яка використовується для очищення поверхонь, бажано аби стрічка була додатково покрита PEI на випадок помилки та початку друку на конвеєрній стрічці а не на друкуючій поверхні, у такому випадку при недостатньому натягу стрічки друк буде виконано але можливі відхилення якості.

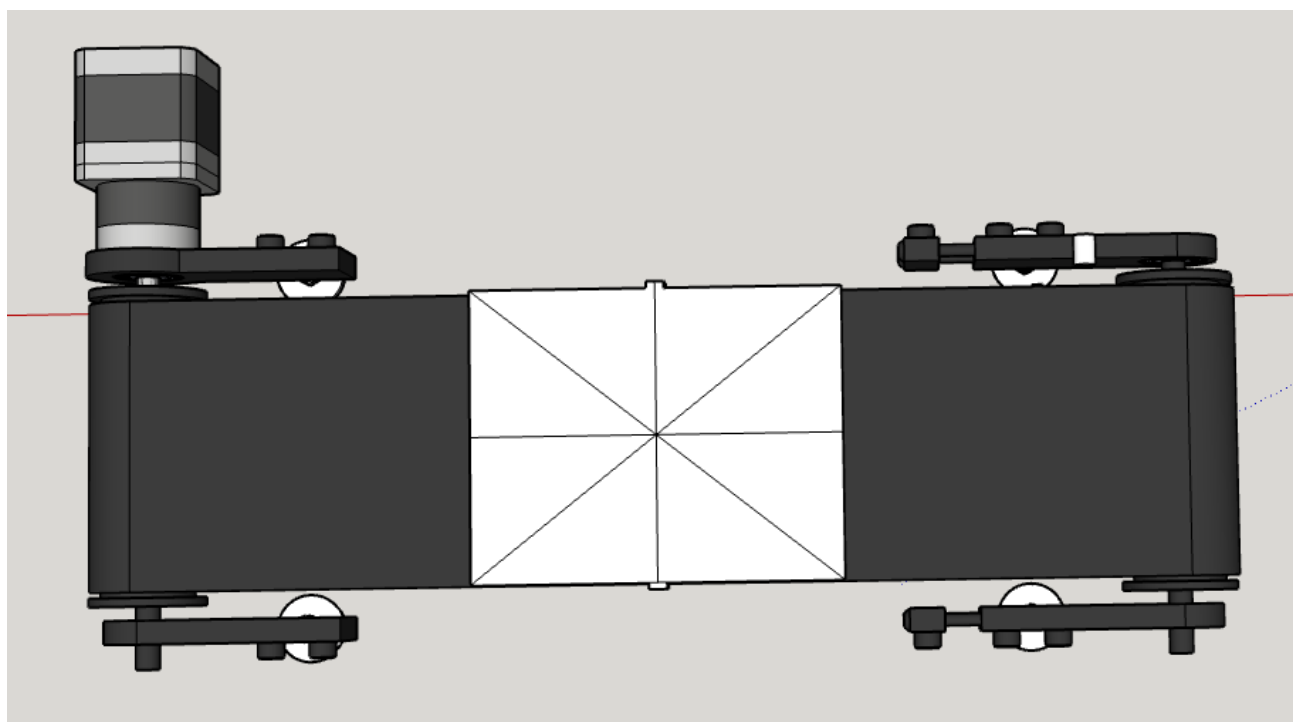


Рисунок 4.1 - вид зверху на модель конвеєрної стрічки

На рис. 4.2 зображено макет поверхні на якій буде виконуватися 3D-друк, бажаний матеріал для виконання - спеціальне скло з додатковим покриттям у вигляді PEI - стрічки, для максимального продовження життя поверхні та уникнення пошкоджень у випадку розкалібрування головки або

друкуючої поверхні. Поверхня покриває конвеєрну стрічку та прикріплена двома кріпленнями до стрічки, які розташовані з обох сторін поверхні в її центрі, для максимального спрощення проходження оберту.

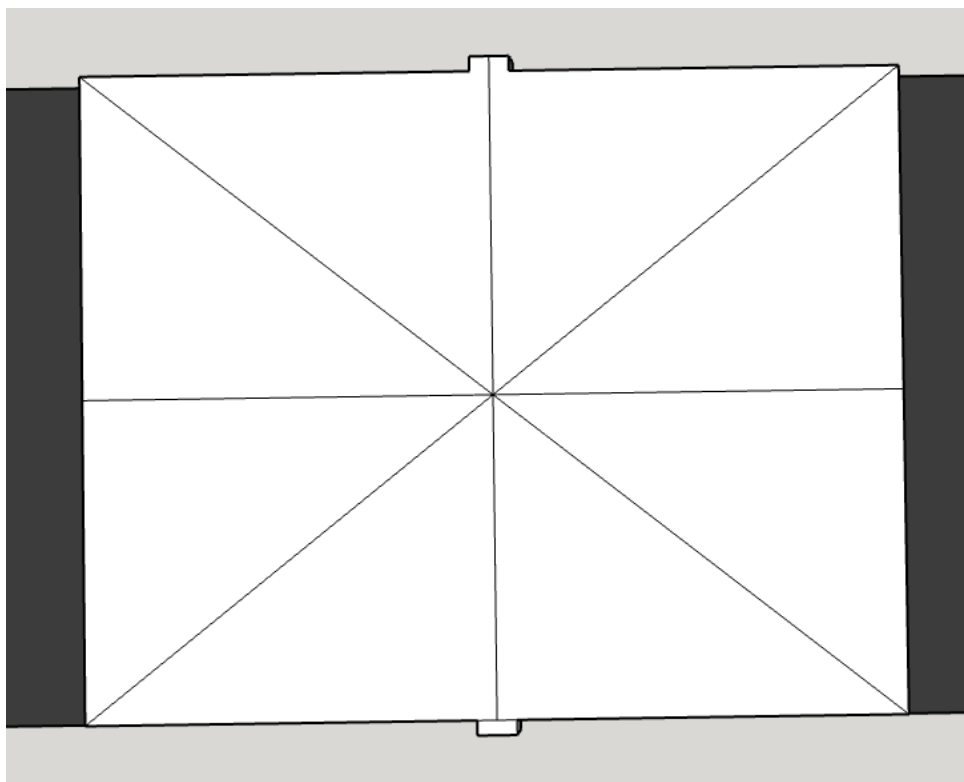


Рисунок 4.2 - поверхня для 3D-друку

На рис. 4.3 зображено вид збоку на модель конвеєрної стрічки, як видно з рисунку, модель має зазор для потенційного встановлення 3D-принтеру, аби друк відбувався на друкуючій поверхні. Також модель має чотири ножки для стабільного встановлення та регулювання висоти зазору для кращого розміщення друкуючої частини відносно 3D-принтеру.

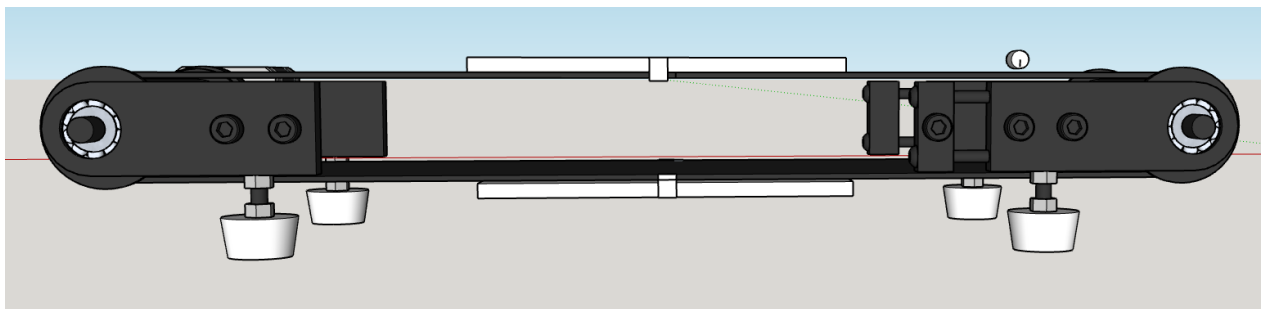


Рисунок 4.3 - вид збоку на модель конвеєрної стрічки

Як видно з рис.4.4, рис.4.5 при увімкненні циклу очищення - заміни поверхні, обидві друкуючі поверхні змінюють свою позицію дзеркально, поверхня 1 переходить в місце поверхні 2, скидаючи надрукований компонент під час охолодження друкуючої поверхні та перебування в перевернутому стані, без покладання додаткових зусиль.

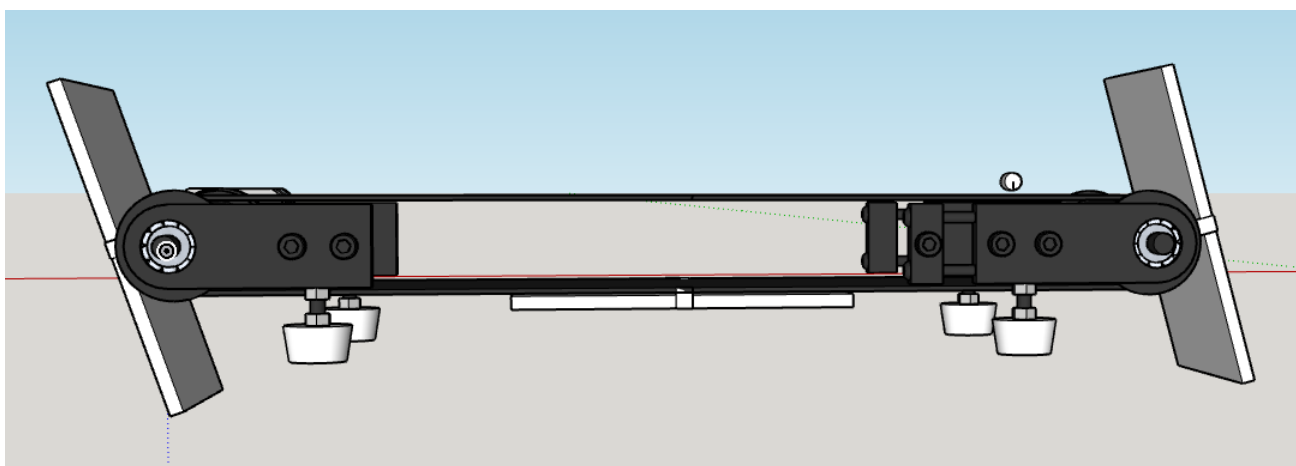


Рисунок 4.4 - процес заміни поверхні

На рис.4.6 зображено вид збоку на нагрівачу поверхню, яка приводиться в рух за допомогою поршня. Як було вже розглянуто напі у цій роботі, встановлення нагрівної поверхні є не обов'язковим параметром при використанні скляної поверхні з використанням додаткової захисної стрічки РЕІ, але у випадку використання інших друкуючих поверхонь, або лише конвеєрної стрічки на який буде відбуватися друк, подібна система може бути

імплементована, таким чином, як було зображено. Основа поршня встановлюється горизонтально на додаткову поверхню, яку можна прикріпити до каркасу нашої конвеєрної стрічки, цю поверхню та кріплення можна роздрукувати на принтері після додаткового проектування.

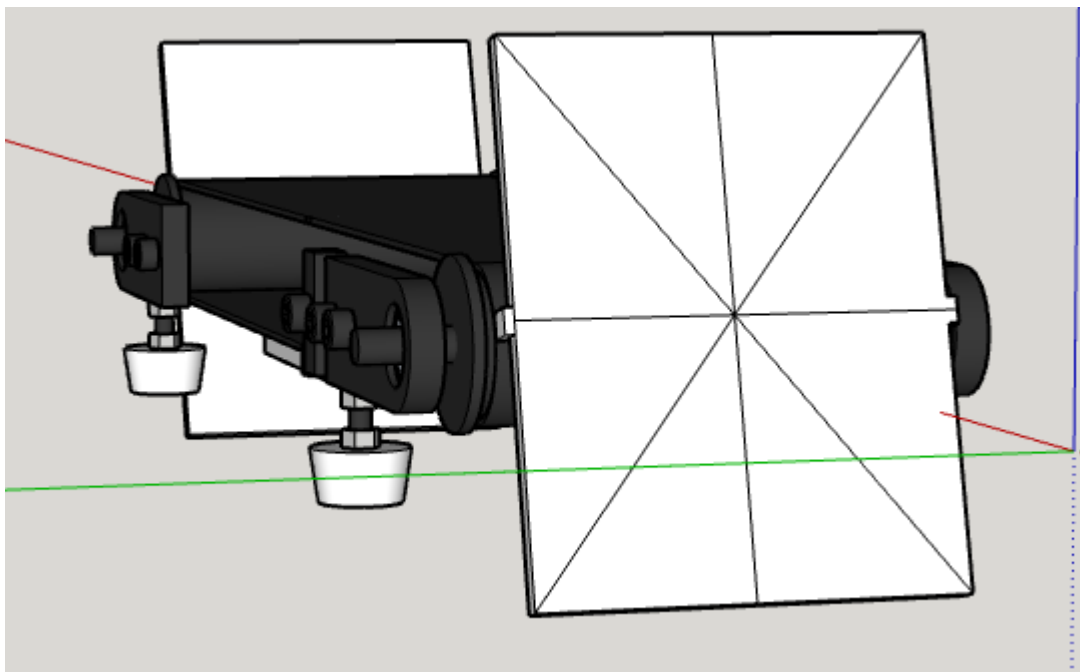


Рисунок 4.5 - процес заміни поверхні

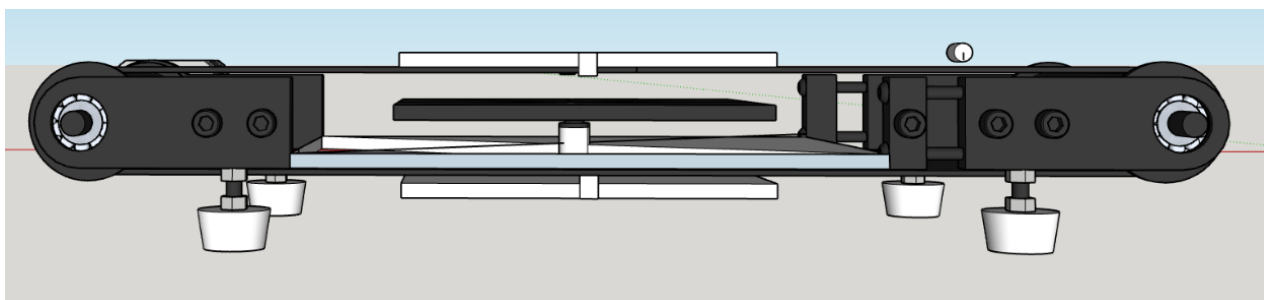


Рисунок 4.6 - вид збоку на поршень з нагріваючою поверхнею

Для прикладу було взято 3D принтер Ender, у якого відкрутили поверхню для друку рис.4.7. У захисному боксі розташована електроніка принтеру а також залишаються каркасні металеві балки до яких можливо під'єднати розроблену систему.

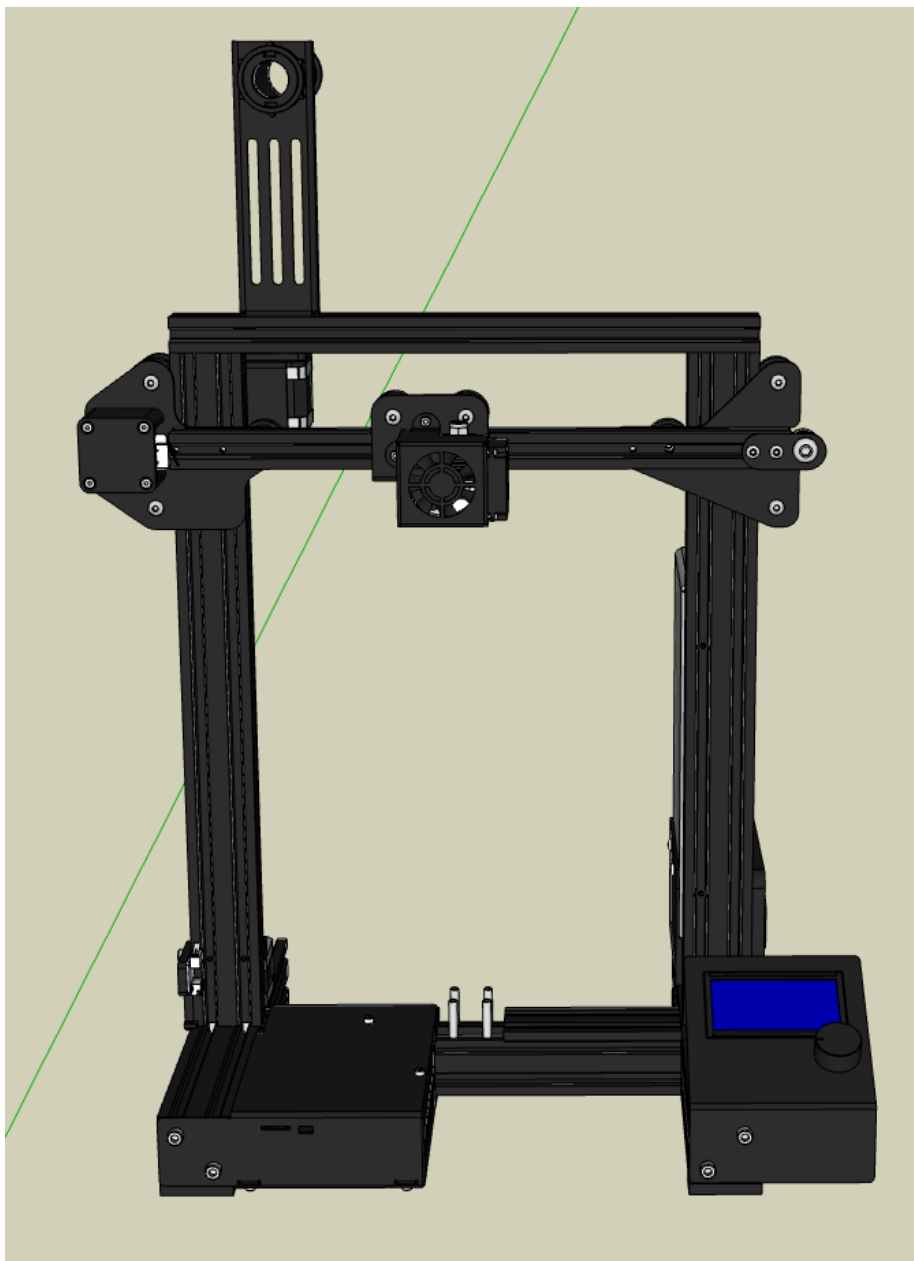


Рисунок 4.7 – 3d принтер баз поверхні для друку

Для простоти монтажу можна застосувати три підходи:

- демонтувати одну з основ принтеру, після чого встановити конвеєрну стрічку в задану позицію, після чого заново змонтувати кріплення;
- розібрати конвеєрну стрічку, у випадку якщо обрана модель таке дозволяє, встановити систему для автоматизації очищення друкуючої поверхні на передбачене місце та заново з'єднати конвеєрну стрічку;

- монтувати кріплення автоматизованої системи очищення друкуючої поверхні поверх кріплень для встановлення друкуючої поверхні, таким чином користувач втратить від десяти до тридцяти сантиметрів доступної для друку області, але буде отримано швидкий спосіб монтажу та мінімізація можливостей потенційного пошкодження як системи очищення так і 3D-принтеру рис.4.8, рис4.9.

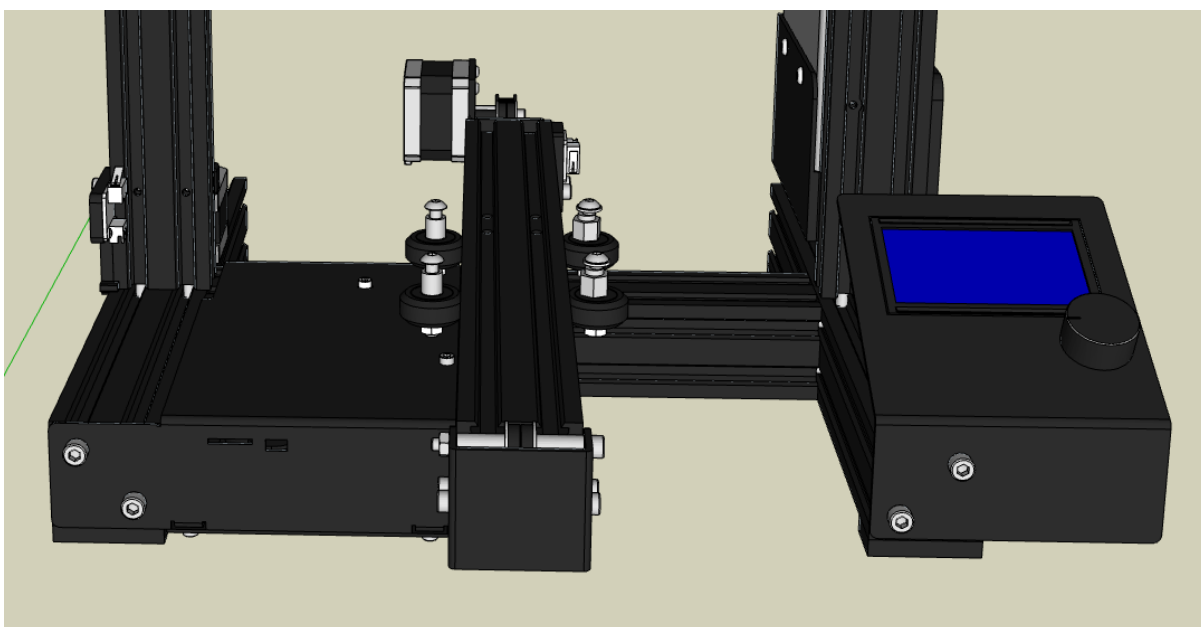


Рисунок 4.8 – вбудовані позиції для кріплення друкуючої поверхні

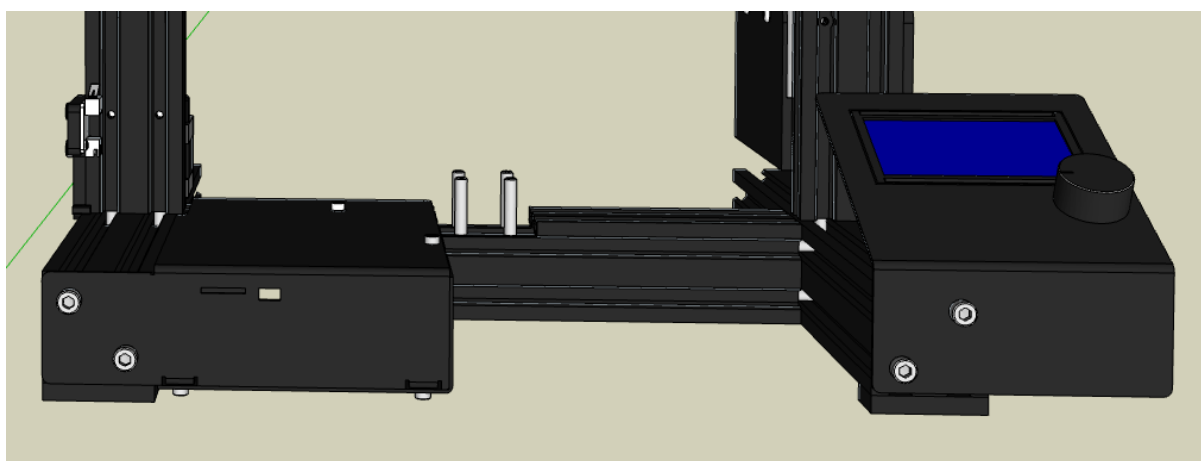


Рисунок 4.9 – вбудовані позиції для кріплення основи друкуючої поверхні

При монтажі на кріплення розраховані на друкуючу поверхню нам доведеться відмовитися від використання підігрівуючої поверхні, оскільки поршнева система притискання підігрівуючої поверхні до друкуючої поверхні забирає більшу частину вільного місця між конвеєрною стрічкою. Таким чином при монтажі необхідно зарання вирішити чи потрібна ця поршнева система та підігрів поверхні у випадку конкретного пластику та поверхні, якщо використовувати обрані нами поверхні та пластик, то цілком реалістично обійтися без підігріву поверхні.

Як видно на рис.4.10, при встановленні системи на , а саме при встановленні кріплення автоматизованої системи очищення друкуючої поверхні знизу кріплень для встановлення друкуючої поверхні ми змогли досягти присутності зазорів для роботи конвеєрної стрічки

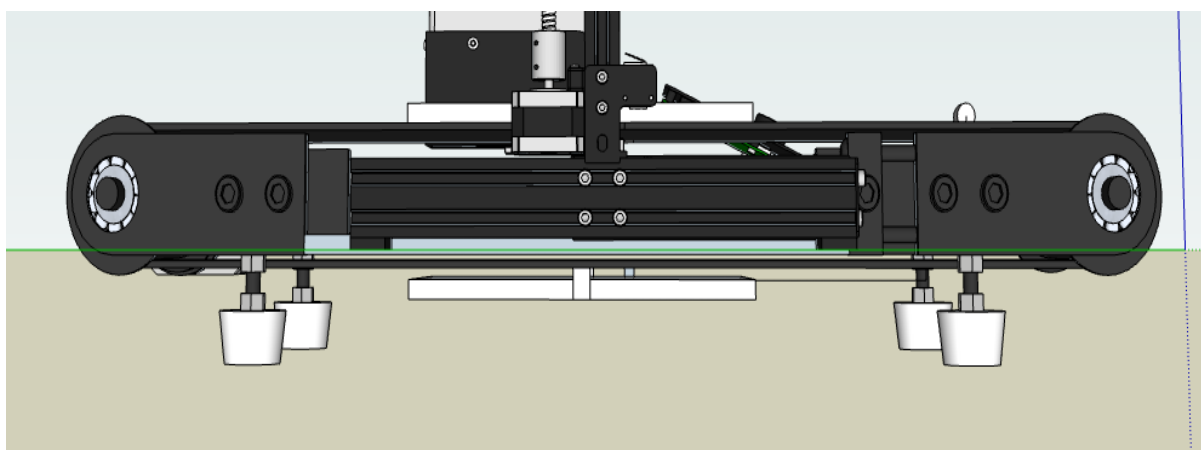


Рисунок 4.10 – дизайн зібраної моделі вид збоку

Кріплення відбувається встановленням принтеру на основу яка була розрахована для кріплення поршневої системи для підігріву друкуючої поверхні, завдяки чому ми можемо ввести легку модифікацію конструкції кріплення з розрахунком на встановлення чотирьох болтів які використовуються при фіксації друкуючої поверхні за дизайном принтера

рис.4.11. Завдяки цьому ми зможемо надійно зафіксувати розроблену систему без необхідності постійного монтажу демонтажу.

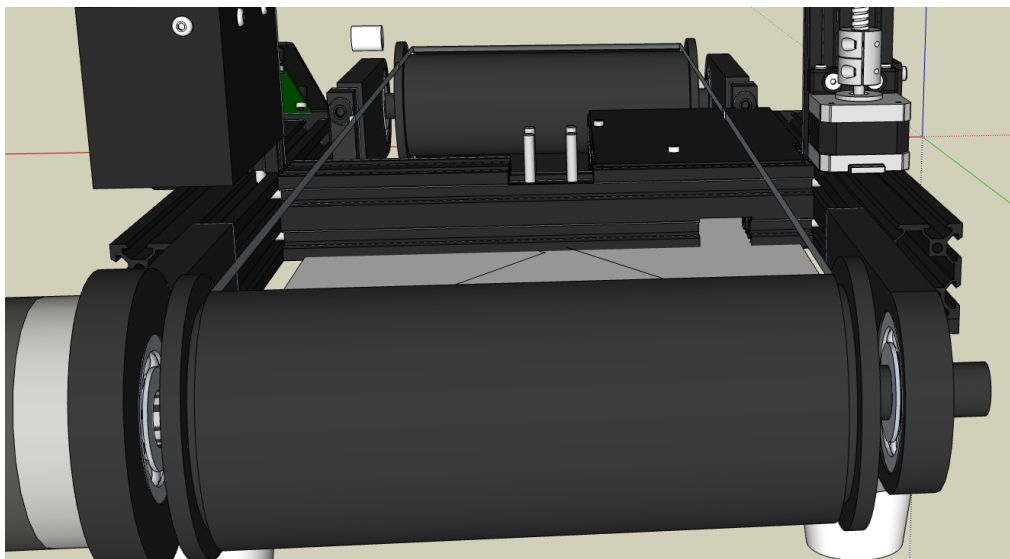


Рисунок 4.11 – зображення кріплення

Таким чином ми отримаємо готову до роботи систему автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи принтеру рис. 4.12. Завдяки подібному встановленню, співпадінню місця для друку системи та місця для друку 3D-принтеру система буде готова до друку одразу після калібрування поверхні, яке в більшості принтерів відбувається автоматично, але всерівно при першому запуску системи автоматизації бажано зробити пробний друк, аби переконатися, що усе відкаліброване вірно, та немає помилок в роботі алгоритму, через помилкове встановлення датчиків.

При використанні принтеру Ender 3 користувач також має можливість прямого підключення до принтеру через консоль керування розташовану на бічній панелі, що в кілька разів спростить систему через відсутність необхідності локального серверу, оскільки встановлене raspberry Pi виступатиме у ролі домашнього комп'ютера до якого в стандартних умовах повинен підключатися принтер, що сильно спростить процес передачі даних.

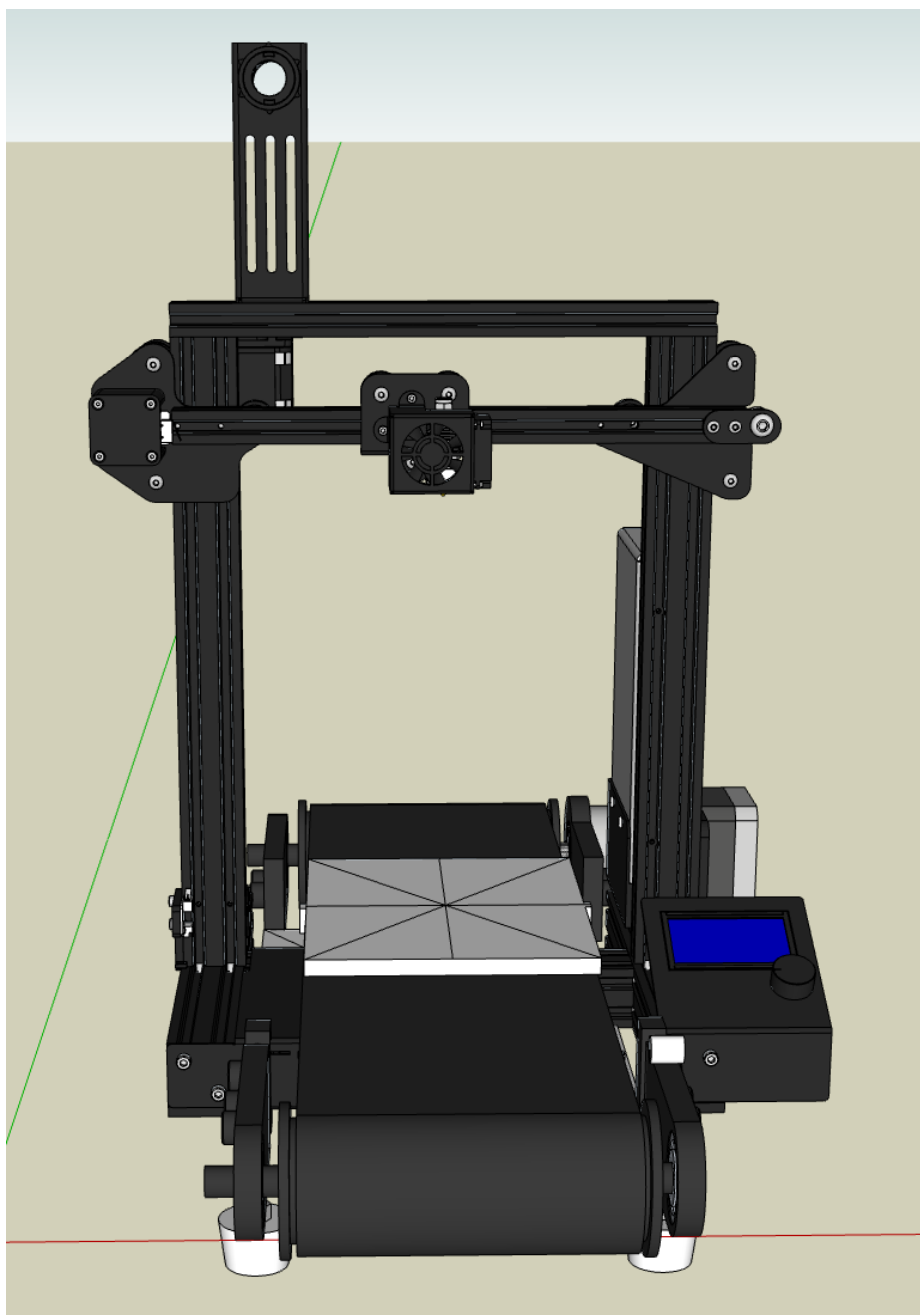


Рисунок 4.12 – дизайн зібраної моделі

#### 4.3 Розробка Web візуалізації системи автоматизації процесу 3D-друку

Для контролю та візуалізації було розроблено Web інтерфейс. Web-візуалізація системи являє собою сучасний підхід до представлення даних, що дозволяє користувачам отримувати інформацію у зручному та зрозумілому форматі через веб-інтерфейс.

Завдяки поєднанню графічного дизайну та веб-технологій, цей інструмент забезпечує ефективний моніторинг і аналіз складних процесів у режимі реального часу.[67-71]

Основні характеристики та складові:

Графічний інтерфейс - візуалізація включає використання діаграм, графіків, індикаторів стану, карт та інших елементів, які дозволяють користувачам швидко оцінювати стан системи або аналізувати тенденції.

Дані в реальному часі - однією з ключових переваг є можливість отримувати та оновлювати інформацію динамічно, що забезпечує оперативне реагування на зміни в системі.

Використання веб-технологій - для створення таких інтерфейсів застосовуються стандартні технології HTML, CSS і JavaScript, а також популярні бібліотеки та фреймворки, як-от D3.js, Chart.js, React, Angular або Vue.js.

Серверна частина - веб-візуалізація передбачає наявність серверної частини, яка обробляє дані та забезпечує їх передачу клієнтській стороні. Це можуть бути сервери, реалізовані на платформах, таких як Python (Flask, Django), Node.js, Ruby або PHP.

На рис.4.13 зображено головну сторінку сайту, на якій дається інформація про додаток, та можливість переходу на сторінки контроль та параметри.

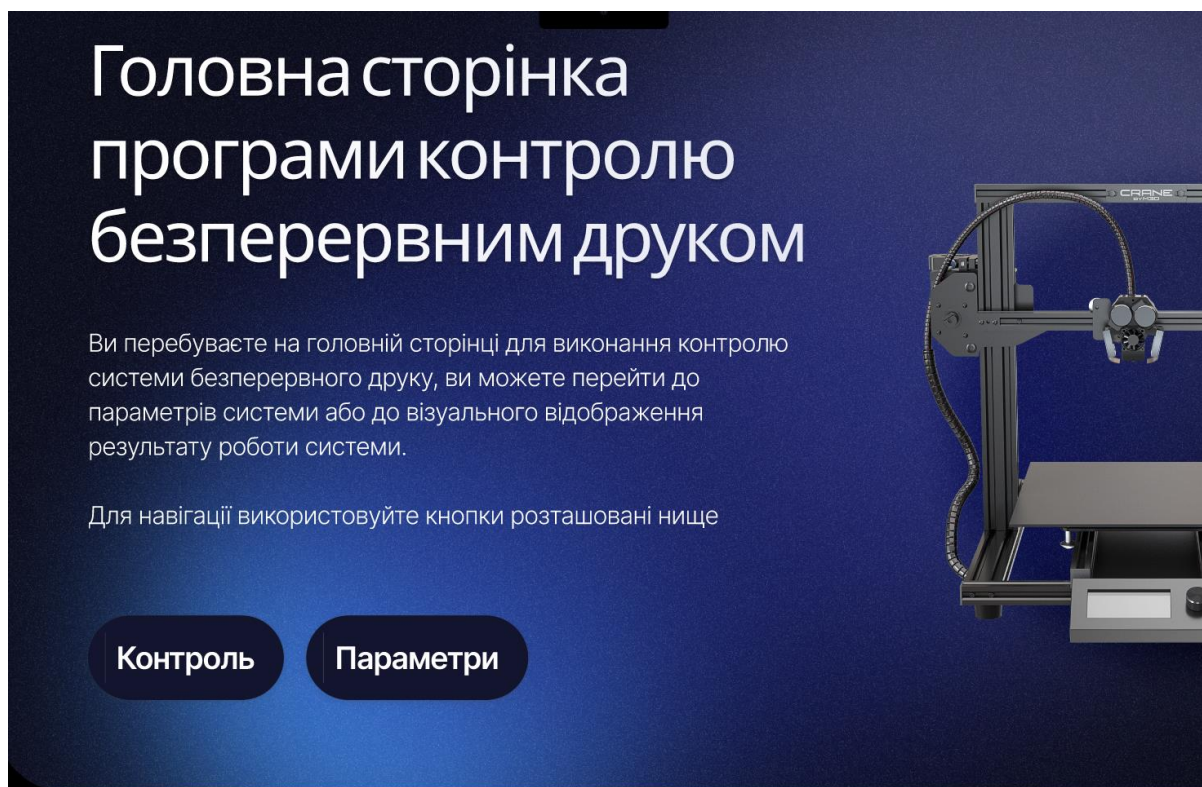


Рисунок 4.13 - головна сторінка Web додатку

На сторінці Контроль рис.4.14 відображається головна інформація статусу друку, статуси помилок, статуси друку та статус з'єднання між принтером на Raspberry pi. Також є можливість зупинки та старту друку, так для прикладу якщо друк закінчиться або буде встановлено паузу на дисплеї принтеру користувач буде здатен з сторінки контролю продовжити його або навпаки зупинити. Також створено три індикатору з відображення параметрів температури нагрівання поверхні якщо така присутня та прогрес обертів - заміни друкуючої поверхні, та точність встановлення друкуючої поверхні.

Додатково відображається параметр прогрес друку який відповідає за прогрес друку та отримують від принтеру у відсотках, додатково виводиться загальна кількість елементів в черзі друку та на якій перебуває принтер, що корисно при виконанні друку великої кількості елементів.



Рисунок 4.14 - сторінка Контроль Web додатку

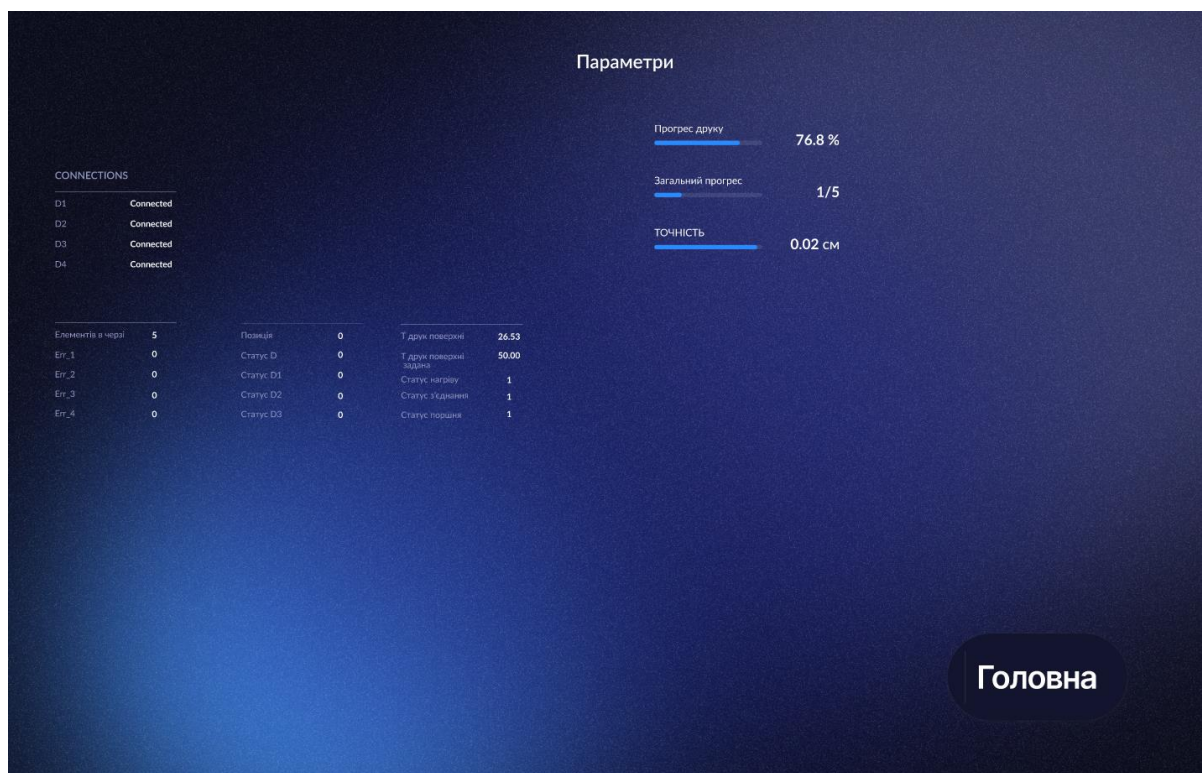


Рисунок 4.15 - сторінка параметри Web додатку

На сторінці Параметри рис.4.15 виводяться всі параметри датчиків та всі параметри отримані від принтеру. Їх можна налаштувати вручну та виводити тільки необхідні користувачеві. Було обрано для візуалізацію статусу підключення датчиків а також їх параметрів, статус роботи поршня та активації нагрівної поверхні, а також стандартні параметри з попередньої сторінки.

#### 4.4 Висновки до четвертого розділу

Було обґрунтовано вибір програмного середовища SketchUp для розробки моделі системи автоматизації процесу 3D-друку, а також реалізовано модель із необхідними конструктивними елементами.

SketchUp було обрано завдяки його доступності, простоті використання, точності, широким можливостям для створення параметризованих моделей та наявності великої бібліотеки готових компонентів. У моделі були успішно реалізовані конвеєрна стрічка для очищення друкуючої поверхні, платформа для 3D-друку та їхні ключові характеристики, що відповідають вимогам автоматизації.

Також було представлено розроблений веб-інтерфейс для моніторингу та управління процесом друку. Інтерфейс дозволяє контролювати основні параметри друку, статуси системи, а також здійснювати інтерактивну взаємодію з принтером через Raspberry Pi. Такий підхід забезпечує не лише автоматизацію, а й зручність роботи з системою для кінцевого користувача.

Таким чином у цьому розділі було створено основу для подальшої інтеграції апаратного забезпечення та забезпечення стабільності функціонування системи.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської роботи було здійснено комплексне дослідження та розробку системи автоматизації процесу 3D-друку, спрямованої на забезпечення безперервної роботи. Розглянуто основні аспекти розробки, впровадження та тестування запропонованих рішень, що дозволяють значно підвищити ефективність і зручність використання 3D-принтерів.

На першому етапі було обґрунтовано вибір програмного середовища SketchUp для створення моделі системи автоматизації. SketchUp було обрано завдяки його доступності, простоті у використанні, точності, широким можливостям для створення параметризованих моделей і великій бібліотеці готових компонентів. У моделі успішно реалізовано ключові елементи системи, включаючи конвеєрну стрічку для очищення друкуючої поверхні та платформу для 3D-друку. Ці елементи відповідають усім необхідним вимогам для впровадження автоматизації.

У результаті аналізу існуючих методів автоматизації процесу друку було визначено, що використання модульної конвеєрної стрічки є найоптимальнішим підходом для забезпечення автоматичного очищення друкуючої поверхні. Цей метод дозволяє інтегрувати систему з більшістю 3D-принтерів, що використовують технологію FDM і не мають захисного корпусу. Зокрема, можливість використання недорогих FDM-принтерів із доповненням їх модульною системою забезпечує економічну доцільність проекту.

Для програмної реалізації методу автоматизації було обрано платформу OctoPrint. Це рішення є оптимальним завдяки відкритій архітектурі платформи, її широким можливостям для інтеграції та простоті використання. OctoPrint підтримує більшість існуючих 3D-принтерів і має безліч плагінів, створених спільнотою користувачів. У ході роботи було налаштовано обмін

даними між Raspberry Pi та OctoPrint, що забезпечило зручний доступ до принтера через Wi-Fi. Інтеграція OctoPrint дозволила уникнути необхідності використання фізичних носіїв для передачі даних на принтер, таких як SD-карти або USB-кабелі.

Особливу увагу було приділено розробці алгоритму автоматизації, що регулює стани роботи 3D-принтера, включаючи друк, паузу, завершення задач і обробку помилок. Алгоритм забезпечує автоматичний перехід між станами системи, наприклад, під час призупинення друку активується очищення друкуючої поверхні за допомогою конвеєрної стрічки, після чого друк продовжується. Такий підхід дозволяє підвищити автономність і стабільність роботи системи.

На основі проведеного аналізу існуючих методів автоматизації було встановлено оптимальні параметри конвеєрної стрічки. Додавання поліімідної плівки або PEI на нейлонову стрічку дозволяє забезпечити її стійкість до високих температур, що запобігає пошкодженням від контакту з гарячим екструдером. Це рішення також сприяє збільшенню тривалості експлуатації друкуючої поверхні. У результаті досліджень визначено, що використання PLA як основного матеріалу для друку є найбільш доцільним завдяки його екологічності, універсальності та високій адгезії до поверхні стрічки. Додатково розглянуто композитні нитки на основі PLA, які забезпечують необхідну механічну міцність для друку складних деталей.

У ході роботи було також проведено детальну інсталяцію OctoPi на Raspberry Pi, що дозволило забезпечити стабільний доступ до керування 3D-принтером через веб-інтерфейс або реалізацію програмного керування. Було приділено увагу налаштуванню конфігураційних файлів для забезпечення коректної роботи мережі та уникнення потенційних проблем із форматуванням.

Крім того, розроблено абстрактну модель автоматизації, яка включає інтеграцію датчиків D1 та D2 для перевірки наявності сторонніх об'єктів і

коректного положення друкуючих поверхонь. Використання датчиків дозволило досягти високої точності та стабільності роботи системи, забезпечивши її адаптивність до змін умов, таких як прилипання об'єктів до стрічки або зміщення платформи. Проведені дослідження також охоплювали аналіз енергоефективності системи. Було визначено оптимальні параметри швидкості руху стрічки, навантаження та енергоспоживання, що дозволило зменшити витрати енергії та підвищити загальну ефективність системи. У результаті реалізації всіх запропонованих рішень вдалося створити систему, яка поєднує сучасні апаратні та програмні засоби, такі як Raspberry Pi, OctoPrint, конвеєрна стрічка та датчики.

Таким чином, розроблена система автоматизації 3D-друку забезпечує безперервність друку, високу продуктивність і зручність використання. Запропоновані технічні та програмні рішення є основою для подальшої модернізації системи, включаючи розширення її функціональності, інтеграцію додаткових компонентів і підвищення її надійності. Робота демонструє значний потенціал для впровадження подібних рішень у сфері виробництва, де автоматизація процесів друку є ключовим фактором підвищення ефективності та конкурентоспроможності.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лабецька М. Т., Гавенко М. М. Застосування 3D-технологій в інклюзивному середовищі. Технологія і техніка друкарства. 2017. № 1(55). С. 47–54.
2. Застосування 3D-друку при підготовці до ревізійного ендопротезування кульшового суглоба. Вісник ортопедії, травматології та протезування. 2017. Т. 4. С. 75–79.
3. Viziteu D.-R., Curteza A. 3D PRINTING TECHNOLOGY IN TEXTILE AND FASHION INDUSTRY. Fashion Industry. 2021. № 3. С. 41–44.
4. П.Ф. Зозуля Застосування технології 3D-друку у взуттєвій промисловості. Наукові нотатки. 2020. № 67. С. 48–52.
5. Зозуля П., Поліщук О., Поліщук А. Перспективи застосування технології 3D-друку в легкій промисловості. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2017. № 4. С. 102–104.
6. Волонтери допомагають нищити ворогів, за допомогою 3D-друку. #ШоТам. URL: <https://shotam.info/volontery-dopomahaiut-nyshchyty-vorohiv-za-dopomohoiu-3d-druku-video/>.
7. ДрукАрміЯ. drukarmy. URL: <https://drukarmy.org.ua/ua/>.
8. Куницький О. Армія друкарів: як Україна застосовує 3D-технології у війні – DW – 23.10.2023. dw.com. URL: <https://www.dw.com/uk/armia-drukariv-ak-ukraina-zastosovue-3dtehnologii-u-vijni/a-67165996>.
9. Війна в Україні: як ми можемо допомогти з 3D-друком?. 3D Tech ADDtive. URL: <https://addtive.com.ua/yak-my-mozhete-dopomohy-z-3d-drukom/>.
10. Які перспективи 3D друку в майбутньому?. pro3d.com.ua. URL: <https://pro3d.com.ua/a359983-yaki-perspektivi-druku.html>.

11. Перспективи технологій 3D друку. Миколаївський обласний центр зайнятості. URL: <https://mik.dcz.gov.ua/publikaciya/perspektyvy-tehnologiy-3d-druku>.
12. Soydas V. B., Hosur M., Gozales J. Comparative Study of Mechanical Properties and Microstructure Between Conventional and Infinite z-Axis Fused Deposition Modeling Printers. SAMPE Journal. 2024. Т. 60, № 5. URL: <https://doi.org/10.33599/sj.v60no5.04> (дата звернення: 16.12.2024).
13. CR-30 3D Printer. creality.com URL: <https://www.creality.com/products/creality-cr-30-3d-printer>.
14. Introducing Prusa CORE One: Our new fully-enclosed CoreXY 3D printer with active chamber temperature control. prusa3d.com URL: [https://blog.prusa3d.com/introducing-prusa-core-one-fully-enclosed-corexy-3d-printer-with-active-temperature-control-105477/?\\_gl=1\\*13kzzi2\\*\\_gcl\\_au\\*NDczNzE2OTE5LjE3MzE0NTI5NDA.\\*\\_ga\\*NDc0ODkzNTY3LjE3MzE0NTI5Mzk.\\*\\_ga\\_3HK7B7RT5V\\*MTczNDMxNDg3My4zLjAuMTczNDMxNDg3My42MC4wLjA](https://blog.prusa3d.com/introducing-prusa-core-one-fully-enclosed-corexy-3d-printer-with-active-temperature-control-105477/?_gl=1*13kzzi2*_gcl_au*NDczNzE2OTE5LjE3MzE0NTI5NDA.*_ga*NDc0ODkzNTY3LjE3MzE0NTI5Mzk.*_ga_3HK7B7RT5V*MTczNDMxNDg3My4zLjAuMTczNDMxNDg3My42MC4wLjA).
15. Shi W., Cao J., Zhang Q., Li Y., and Xu L., Edge computing: vision and challenges, IEEE Internet of Things Journal. (2016) 3, no. 5, 637–646.
16. S. Kwon A Filament Supply System Capable of Remote Monitoring and Automatic Humidity Control for 3D Printer. Journal of Sensors. 2020. Т. 2020. С. 1–10.
17. 3D Printing Guide: Types of 3D Printers, Materials, and Applications. Formlabs. formlabs.com. URL: [https://formlabs.com/3d-printers/?srsltid=AfmBOopD4eIgeu4QCAka-fO4r814Vh\\_TGalkySAVqDc6qTBEuUi9Z7HJ](https://formlabs.com/3d-printers/?srsltid=AfmBOopD4eIgeu4QCAka-fO4r814Vh_TGalkySAVqDc6qTBEuUi9Z7HJ).
18. M. Manoj Prabhakar. A short review on 3D printing methods, process parameters and materials . Materials Today: Proceedings. 2020.

19. Types of 3D Printing Technology Explained. Protolabs. Rapid Prototyping & On-demand Production Services. protolabs.com URL: <https://www.protolabs.com/resources/blog/types-of-3d-printing/>.
20. Automated Part Removal Gets Serious With The Chain Production Add-on. Hackaday.com URL: <https://hackaday.com/blog/?s=Automated+Part+Removal+Gets+Serious+With+The+Chain+Production+Add-o>.
21. What Is the ESP32? Its Brief History and How to Get Started. Elektor. URL: <https://www.elektormagazine.com/articles/what-is-the-esp32>.
22. Getting started with your Raspberry Pi. raspberrypi. URL: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/getting-started.html>.
23. Raspberry Pi OS. raspberrypi. URL: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/os.html>.
24. octoprint.octoprint. URL: <https://octoprint.org>
25. Shivajirao P. S., Shailaja P., Snehal B. Real-Time Defect Detection in 3D Printing Using Deep Learning. 2024 IEEE 9th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), m. Pune, India, 5–7 квіт. 2024 p. 2024. URL: <https://doi.org/10.1109/i2ct61223.2024.10543771>.
26. "Printrun," RepRap, 17 September 2015. URL: <http://reprap.org/wiki/Printrun>.
27. "GETTING STARTED -PART4- BEST SLICERS FOR 3D PRINTING," Tripodmaker, URL: <http://tripodmaker.com/wp-content/uploads/cura-1024x471.png>.
28. Chatham, "Small Business Trends: What is 3D Printing?," Newstex, 12 May 2013. URL: Available: <https://search.proquest.com/docview/1350082361?pq-origsite=summon&ac>
29. A. Locker, "Metal 3D Printer guide 2017 - All About Metal 3D Printing | All3DP," All3DP, URL: <https://all3dp.com/metal-3d-printer-guide/>.

30. C. L. Ventola, "Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses," *Pharmacy and Therapeutics*, vol. 39, no. 10, pp. 704-711, 2014.
31. J. Wilding, "3D Print MRI," *PrintSpace 3D*, 2016. URL: Available:<https://www.printspace3d.com/make-a-3d-print-from-your-mri-or-ct-scan/>.
32. D. J. Thompson, "What are Impressions for Braces?," *AskanOrthodontist.com*, 3 November 2012. URL: <http://askanorthodontist.com/braces/what-are-impressions-for-braces/>.
33. Prusa Research, "Prusa3D Shop," Prusa Research, 2017. URL:<http://shop.prusa3d.com/en/filament/150-steelfill-filament-750g.html>.
34. K. Stevenson, "Is It filament Weight or Length?," *Fabbaloo*, URL: Available:<http://www.fabbaloo.com/blog/2015/9/27/is-it-filament-weight-or-length>.
35. "3D Printing Materials Guide," *Tinkercad Blog*, URL:<https://blog.tinkercad.com/materialsguide/>.
36. O. Herpt, "Functional 3D printed Ceramics - Olivier van Herpt," *Oliviervanherpt.com*, 2012. URL: <http://oliviervanherpt.com/functional-3d-printed-ceramics/>.
37. E. Recrosio, "Units and Size: Understand your 3D Printing Dimensions," *sculpteo*, 6 December 2016. URL: <https://www.sculpteo.com/blog/2016/12/06/units-and-size-understand-your-3dprinting-dimensions/>.
38. Viziteu D.-R., Curteza A. 3D PRINTING TECHNOLOGY IN TEXTILE AND FASHION INDUSTRY. *Fashion Industry*. 2021. № 3. С. 41–44. URL: <https://doi.org/10.30857/2706-5898.2020.3.2> (дата звернення: 25.11.2024).
39. П.Ф. Зозуля Застосування технології 3D-друку у взуттєвій промисловості. *Наукові нотатки*. 2020. № 67. С. 48–52.
40. Boretti A. A perspective on 3D printing in the medical field. *Annals of 3D Printed Medicine*. 2024. Т. 13. С. 10-18.

41. Marciniak M. The 3D Printing in Military Applications: FDM Technology, Materials, and Implications. *Advances in Military Technology*. 2023. Т. 18, № 2. С. 241–257.
42. Гречко О. М. Сучасні адитивні технології та 3D-друк. Огляд останніх досягнень в різних сферах людського життя. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice*. 2019. № 1. С. 63–75.
43. N. Pyshcheniuk, M. Skyba, O. Polishchuk, M. Malec Zozulia P. General classification of 3D printing. *Actual problems of modern science*. UTP University of Sciences and Technology in Bydgoszcz, Poland. 2017. с. 413-421.
44. Зозуля П.Ф., О.С. Поліщук, А.О. Поліщук. Перспективи застосування технології 3D-друку в легкій промисловості // *Вісник Хмельницького національного університету*. –2017. –№4 –С. 102 –104.
45. Print HUGE parts with Conveyor Belt 3D Printing. *Hackaday.io | The world's largest collaborative hardware development community*.
46. Industrial BlackBelt 3D Printer Uses Conveyor Belt as Build Platform to Produce Long Parts - *3DPrint.com | The Voice of 3D Printing*.
47. Типи 3D принтерів. <https://get3d.tech>. URL: <https://get3d.tech/articles/typy-3d-prynteriv>.
48. Li M., Lei W., Yu W. FDM 3D Printing and Properties of WF/PBAT/PLA Composites. *Molecules*. 2024. Т. 29, № 21. С. 5087.
49. 3D Printing of PLA/clay Nanocomposites: Influence of Printing Temperature on Printed Samples Properties / В. Coppola та ін. *Materials*. 2018. Т. 11, № 10. С. 1947.
50. D. Ravoori Experimental and theoretical investigation of heat transfer in platform bed during polymer extrusion based additive manufacturing. *Polymer Testing*. 2019. Т. 73. С. 439–446
51. Costa S. F., Duarte F. M., Covas J. A. Estimation of filament temperature and adhesion development in fused deposition techniques. *Journal of*

Materials Processing Technology. 2017. T. 245. C. 167–179.

52. R. Parimala, K. Srinivasan and K. P. Sreejith Kumaran, "Smart and Safe Conveyor Belt System for Bottling Plants Using IoT," 2024 International Conference on Advances in Computing, Communication and Applied Informatics (ACCAI), Chennai, India, 2024, pp. 1-6.

53. ADITIVA 3D ENDER 3 CONVEYOR 90 KIT ASSEMBLY MANUAL Pdf Download. ManualsLib. manualslib.com. URL: <https://www.manualslib.com/manual/2969440/Aditiva-3d-Ender-3-Conveyor-90-Kit.html#product-ENDER%203%20CONVEYOR%2090%20KIT>

54. Oberloier S., Pearce J. Belt-Driven Open Source Circuit Mill Using Low-Cost 3-D Printer Components. *Inventions*. 2018. T. 3, № 3. C. 64.

55. Brooks J., Rahman M. M. T., Joyee E. B. Design and Construction of a Belt-Assisted Vertical Extrusion Based Fused Deposition Modeling 3D Printer for Automated Part Removal. ASME 2023 18th International Manufacturing Science and Engineering Conference, New Brunswick, New Jersey, USA, 12–16 черв. 2023.

56. McCarthy Shawn., Zachary Palanchian, James Whelan, Conveyor Belt 3D Printe : A Major Qualifying Project Report. WORCESTER, 2019. 144 с.

57. Conveyor belt 3D printer Blackbelt | Buy in Ukraine. 3DDevice. URL: [https://3ddevice.com.ua/en/product/blackbelt-3d-printer/?srsltid=AfmBOoq3ntXOQXvwTxH0PtTig\\_nrGC4LUNR48Xd0p4Ah5tnFkranz-bI](https://3ddevice.com.ua/en/product/blackbelt-3d-printer/?srsltid=AfmBOoq3ntXOQXvwTxH0PtTig_nrGC4LUNR48Xd0p4Ah5tnFkranz-bI)

58. 3D принтер Creality CR-30 (3DPrintMill). tucans.com.ua. URL: <https://tucans.com.ua/3d-printer-creality-cr-30>.

59. Prusa J. Basics of 3D printing with Josef Prusa. Prusa Research, 2019. 13 с.

60. Hazrat A., Kuralbay Y. Design of a 6-DOF robot manipulator for 3D printed construction. *Materials Today: Proceedings*. 2022. T. 49, № 5. C. 1462–1468.

61. Типи 3D принтерів. <https://get3d.tech>. URL: <https://get3d.tech/articles/typy-3d-prynteriv/>.
62. M. A. Rahman A Cloud-Based Cyber-Physical System with Industry 4.0: Remote and Digitized Additive Manufacturing. Automation. 2022. Т. 3, № 3. С. 400–425.
63. A. H. Abdullah "DOES Sketchup Make Improve Students' Visual-Spatial Skills?," in IEEE Access, vol. 10, pp. 13936-13953, 2022.
64. Brightman M. SketchUp Workflow for Architecture: Modeling Buildings, Visualizing Design, and Creating Construction Documents with SketchUp Pro and LayOut. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2018. 512 с.
65. Schreyer A. C. Architectural Design with SketchUp: Component-Based Modeling, Plugins, Rendering, and Scripting. Wiley & Sons, Limited, John, 2012. 320 с.
66. Carmona-Medeiro E., Antequera-Barroso J. A., Cardeñoso Domingo J. M. Future teachers' perception of the usefulness of SketchUp for understanding the space and geometry domain. Heliyon. 2021. Т. 7, № 10. С. 6-26.
67. J. Wood, K. Brodli and H. Wright, "Visualization over the World Wide Web and its application to environmental data," Proceedings of Seventh Annual IEEE Visualization '96, San Francisco, CA, USA, 1996, pp. 81-86.
68. National Aeronautics and Space Administration (NASA) Staff. Knowledge Based System for Scientific Data Visualization. Independently Published, 2018.
69. Interactive Data Visualization for the Web: An Introduction to Designing with D3. O'Reilly Media, 2017. 474 с..
70. Data Visualization: Representing Information on Modern Web. Packt Publishing, 2016. 531 с.
71. Interactive Data Visualization for the Web: An Introduction to Designing with D3. O'Reilly Media, 2017. 474 с.

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Луговий Максим Русланович

Тема: Метод автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 77

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка методу автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи. У роботі розроблено метод автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи, який полягає у використанні модульної системи яка складається з конвеєрної стрічки, датчиків відстані, датчика температури, поверхні для друку, та Raspberry Pi для опрацювання параметрів. Також розроблено та змодельовано візуалізацію системи автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи принтеру, а також розроблено мобільний додаток для перевірки параметрів та контролю системи

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проаналізовано відомі методи автоматизації процесу 3D-друку для безперервної роботи системи. У другому розділі розраховано параметри елементів автоматизації процесу 3D-друку для безперервної роботи системи. У третьому розділі змодельовано метод керування системи автоматизації процесу 3D-друку для безперервної роботи системи. У четвертому розділі реалізовано алгоритм та технології автоматизації процесу 3D-друку для безперервної роботи системи.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється аналізу існуючих технічних рішень та створенню методів автоматизації із використанням системи підігріву друкуючої поверхні.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації


7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: 3,50/0 (задовільно)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Підгачко Сергій Костянтинович, завідувач кафедри ТМІТ, д.т.н., професор

"19" 12 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТгаР  
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

---

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТРМ-23-1

### ЗАЯВА

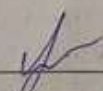
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.12.24

дата

  
підпис

## Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Максим ЛУГОВИЙ

Співавтор:

Назва: МКР Луговий

Науковий керівник: Микола ФЕДУЛА

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1:0.1%

Коефіцієнт подібності 2:0%

Мікропробіли: 20

Заміна букв: 1

Інтервали: 0

Білі знаки: 1

Дата створення звіту: 2024-12-19 10:14:00.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

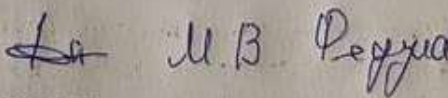
Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2024-12-19

Дата

  
експерт

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
РОБОТОТЕХНІКИ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод автоматизації процесу 3D друку для безперервної роботи системи

Автор: Луговий Максим Русланович

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Науковий керівник: Федула Микола Васильович, доктор технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

| № | Висновок   | Позначка про відповідність |
|---|--|----------------------------|
| 1 | Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.   | <b>відповідає</b>          |
| 2 | Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи |                            |
| 3 | Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.      |                            |
| 4 | Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.   |                            |
| 5 | Інше:  |                            |

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 0,1% і адресується до 6 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Микола ФЕДУЛА