

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

EM  
(підпис)

Б. А. Кельт  
(ініціали, прізвище)

“20” 06 2019 р.

**Дипломна робота**

на здобуття ступеня бакалавра

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

на тему: Станція Гравітаційного друксу

Виконав (-ла): студент (-ка) III курсу, групи PI-г 61-2  
(шифр групи)

Горобан Дмитро Петрович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Бса  
(підпис)

Керівник С. Вакл каф. КіВРА Новосад АА  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

А. С. Кельт  
(підпис)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.  
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

С. Ф. Каштанов  
(підпис)

Рецензент к.т.н., доц., доц. каф. РОС Мовчанок АВ  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

А. В. Мовчанок  
(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авто-  
рів без відповідних посилань.

Студент Бса  
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут) радіотехнічний  
(повна назва)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

За спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

[підпис] Є.А. Нелін  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«16» травня 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

Барабану Дмитру Петровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Станція тривимірної грунту

керівник проекту (роботи) Новосад Андрій Анатолійович ст. вик.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «27» травня 2019р. № 1399-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 18.06.2019р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Габаритні розміри не більше 500x500x500мм напруження живлення ~220В робота об'єм грунту не менше 300x300x300 мм.

4. Зміст (дипломної роботи) розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Вступ, Огляд та аналіз аналогів  
аналіз Технічного завдання Розробка мех. вузлів стислі  
Апаратів та програмне забезпечення стислі  
Розрахунки, що підтверджують працездатність. Охорона Праці

5. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, плакатів тощо) Станція тривірного  
двуху схеми електричних принципів, Станція тривірного  
двуху блок електричних складальний креслення, Станція  
тривірного двуху схеми електричних структура.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
З охорони праці	к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.		

7. Дата видачі завдання 16 травня 2019 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Розробка аналіз ТЗ.	16.05.19 - 17.05.19	
2	Огляд аналогів та рішення.	20.05.19 - 22.05.19	
3	Розробка мех. вузлів.	23.05.19 - 27.05.19	
4	Апаратне та програмне заб.	03.06.19 - 10.06.19	
5	Розрахунки що підтверджують	05.06.19 - 15.06.19	
6	Охорона праці.	15.06.19 - 16.06.19	
7	Графічний матеріал.	16.06.19 - 18.06.19	

Студент

(підпис)

Барабаш Д. П  
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

А.А. Новосад  
(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

## АНОТАЦІЯ

В дипломному проекті було спроектовано, виготовлено та налагоджено станцію тривимірного друку. Розроблено основну конструкторську документацію. Станція вже працює впродовж 3-х років з моменту виготовлення і не поступається параметрами та якістю друку сучасним станціям. А саме, швидкість друку понад 110 мм/с, габаритні розміри друку 300X300X300мм. В процесі виконання дипломного проекту було розроблено та проаналізовано технічне завдання, обрано матеріал носійної конструкції, розглянуто основні типи кінематики та вузли передачі механічного моменту, описані конструкції осей Y, Z та X, було розроблено станину станції, вибрані електронні модулі керування станції, розроблено структурну та електричну принципову схему апаратного забезпечення, розглянуто два зразки програмного забезпечення та спосіб його налаштування. Розглянуто особливості налаштування станції для використання основних матеріалів для друку. Змодельовано тепловий режим роботи крокових двигунів та виконаний розрахунок надійності блоку електроніки. В розділі «Охорона праці» були розглянуті такі питання як: визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів, та технічні рішення та організаційні заходи з безпеки та гігієни праці та виробничої санітарії.

Пояснювальна записка формату А4 містить 51 сторінку, 3 таблиці, 31 рисунок, 7 бібліографічних посилань за переліком найменувань, 2 додатки, та необхідні креслення: станція тривимірного друку схема електрична принципова А2, станція тривимірного друку схема електрична структурна А2, станція тривимірного друку блок електроніки складальний кресленник А1.

Ключові слова: 3Д принтер, екструдер, станція тривимірного друку, кроковий двигун, розрахунок надійності.

## ABSTRACT

In the diploma project a three-dimensional printing station was designed, manufactured and set up. Design documentation was developed. The station has been in operation for 3 years since its inception, and is not inferior to the parameters and print quality of modern stations. The process of implementation of the diploma project was the development and analysis of a technical task, the material was selected, the main types of kinematics were considered, the nodes of the mechanical moment were considered, the structures of the Y, Z and X axes were described, the floor of the station was developed, the electronic control modules of the station were selected, the structural and an electric circuit diagram, two software and a way to configure it. The peculiarities of setting up the station for use of the main materials for printing are considered. The thermal mode of step-by-step engines was modeled and the reliability of the electronics unit was calculated. Issues such as: identifying key potentially hazardous and harmful production factors, as well as technical solutions and organizational measures for occupational safety and health and industrial sanitation were considered.

The explanatory note for A4 format contains 51 pages, 3 tables, 31 figures, 7 bibliographic references in the list of titles, 2 annexes, and necessary drawings: three-dimensional printing station, electric circuit A2, three-dimensional printing station, electric structured A2 diagram, three-dimensional printing station, electronic assembly assembly drawings A1.

Keywords: 3D printer, extruder, station of three-dimensional printing, stepper motor, reliability calculation.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ. РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ .....	10
1.1 Огляд існуючих рішень .....	10
1.2 Огляд існуючих аналогів на ринку.....	11
1.3 Аналіз технічного завдання .....	13
2 Розробка механічних вузлів станції .....	15
2.1 Попередній вибір матеріалу.....	15
2.2 Розробка основних механічних вузлів.....	15
2.2.1 Огляд існуючих рішень кінематики.....	15
2.3 Розробка станини станції .....	21
3 Апаратне та програмне забезпечення станції .....	23
3.1 Розробка апаратного забезпечення .....	23
3.2 Налаштування програмного забезпечення станції тривимірного друку. .....	28
3.3 Особливості налаштування станції для використання основних матеріалів для друку .....	34
4 Розрахунки що підтверджують працездатність .....	37
4.1 Теплове моделювання режиму роботи драйверів.....	37
4.2 Розрахунки показників надійності приладу .....	38

					<b>PI61.442281.001 ПЗ</b>
		№ докум.	Підпис		
		<i>Барабаш Д.П</i>			Тривимірна станція друку
					Літ.    Арк.    Аркуші
					6         8
Реценз					
Н.					
Затвер					

5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	41
5.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	41
5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки та гігієни праці та виробничої санітарії.....	43
Висновки .....	50
Додаток А. Технічне завдання	
Додаток Б. Специфікація на блок електроніки	

Барабаш Д.П. РІ-Г 61-2, 2019

		№ докум.	Підпис			РІ61.442281.001 ПЗ	7





деталей з матеріалів, підтримуваних 3-D принтерами. Це відмінне рішення для малосерійного виробництва. Але бувають випадки (ціна, якість, максимальні розміри моделі) коли готова модель 3-D принтера не може повністю задовольнити потреби споживача.

В 2017 році на кафедрі Радіоконструювання та виробництва радіоапаратури була спроектована та побудована станція тривимірного друку автором даного дипломного проекту. В даному дипломному проекті буде розглянуто основні задачі проблеми та способи їх вирішення, а також оригінальні конструкторські рішення при проектуванні та побудові станції тривимірного друку.

Барабаш Д.П. РІ-Г 61-2, 2019

					РІ61.442281.001 ПЗ	9
		№ докум.	Підпис			

# 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ. РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

## 1.1 Огляд існуючих рішень

Технологія тривимірного друку полягає в пошаровому нанесення розплавленого матеріалу за допомогою точної механічної системи позиціонування робочого органу принтера (екструдера). Більшість сучасних принтерів працюють за цією схемою, зокрема принтери котрі друкують пластмасами та гумоподібними матеріалами рис.1.



Рисунок 1—Сучасний 3Д принтер[4]

Лазерні порошкові принтери працюють за іншою схемою. Їх технологія полягає в спіканні тонкого шару спеціального порошку (металокерамічного, полімерного) за допомогою лазерного променя, котрий позиціонується за допомогою точної механічної системи та системи дзеркал.

Лазерні фото-полімерні принтери використовують технологію пошарового полімерезування рідкого полімеру за допомогою ультрафіолетового променя, котрий позиціонується за допомогою систем дзеркал.

		№ докum.	Підпис			
					PI61.442281.001 ПЗ	10

У зв'язку з досить високою вартістю систем дзеркал для позиціонування лазерного та ультрафіолетового променя, та складною електронною системою керування було прийнято рішення проектувати та будувати 3-D принтер за першою технологією котра була описана вище.

## 1.2 Огляд існуючих аналогів на ринку

В цьому підрозділі будуть розглянуті станції тривимірного друку в ціновому діапазоні 300 доларів США, на момент виготовлення станції.

Станція тривимірного друку Anet A8 рис.2 є однією з найбільш популярних моделей на ринку. Це перша модель станції тривимірного друку, яка використовується в широкому ужитку і має назву PrusaI3.

Популярність моделі легко пояснюється двома факторами: вигідна ціна та висока якість продукту.

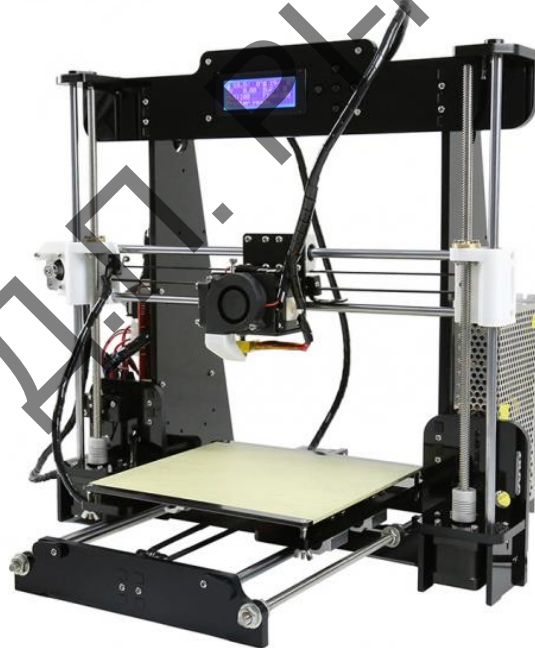


Рисунок 2 — Станція тривимірного друку Anet A8 [4]

Переваги моделі ANET A8: низька вартість, завдяки чому друкувати на 3д принтері може дозволити собі кожен бажаючий, принтер поставляється в розібраному вигляді. У комплектацію принтера входить набір інструментів і відео інструкція по збірці, підтримує шар друку товщиною до 0.1 мм, легкість налаштування друку за допомогою 2004 LCD дисплея і 5 кнопок.

Програма для друку — cura; формат введення даних для друку — STL, OBJ, JPG; формат файлу для друку — Gcode; операційна система — Windows 7-10, MAC; вага принтера нетто — 10,5 кг, розмір принтера — 500x400x450 мм; точність позиціонування — 0.5мм.

Станція тривимірного друку Prusha i3S рис.3 призначений як для домашнього, так і для професійного використання. Завдяки напівзакритому корпусу температура в робочій зоні принтера зберігається під час друку, що забезпечує високу якість друку.

Програма для друку — cura; формат введення даних для друку — STL, OBJ, JPG; формат файлу для друку — Gcode; операційна система — Windows—7-10, MAC; вага принтера нетто — 11,5 кг, розмір принтера — 500x400x450 мм; точність позиціонування — 0.4мм.



Рисунок 3— Станція тривимірного друку Prusha i3[4]

Станція тривимірного друку KLEMA 250 рис.4, призначена як для домашнього, так і для професійного використання.

Завдяки напівзакритому корпусу температура в робочій зоні принтера зберігається під час друку, що забезпечує високу якість друку.



Рисунок 4— Станція тривимірного друку KLEMA 250[4]

Програма для друку — cura; формат введення даних для друку — STL, OBJ, JPG; формат файлу для друку — Gcode; операційна система — Windows 7-10, MAC; вага принтера нетто — 8,5 кг, розмір принтера — 450x420x450 мм, точність позиціонування— 0.5мм.

В ході розглянутих існуючих рішень був зроблений висновок, що жодна з вище перелічених станцій тривимірного друку не відповідає поставленому технічному завданню, а саме робоча область друку швидко рухається, а каретки не відповідає поставленому технічному завданню.

### 1.3 Аналіз технічного завдання

Станція тривимірного друку для виготовлення прототипів радіоелектронних засобів призначений для виготовлення пластмасових деталей, виготовлення повномасштабних робочих моделей складних механізмів.

Прилад живиться від мережевої напруги 220 вольт, тому для живлення низьковольтних компонентів приладу передбачене встановлення імпульсного джерела живлення потужністю не більше 700 Вт.

На лицьовій панелі станції необхідно передбачити отвори для роз'єму живлення, кнопки включення, USB-A-інтерфейсу та графічного інтерфейсу користувача.

Станину станції необхідно виконати з рівностороннього кутника товщиною не менше 5 мм, для зменшення вібрацій конструкція буде у вигляді прямокутного паралелепіпеда. Для зменшення ваги конструкції необхідно використати алюмінієвий профіль марки АМГ.

Профіль необхідно з'єднати між собою за допомогою гвинтів діаметром не менше 5мм.

В конструкції станції необхідно забезпечити вільний доступ для всіх вузлів що труться між собою для своєчасного обслуговування та змазування.

Апаратне забезпечення станції слід вибирати згідно кліматичних умов УХЛ4.2.

Робоча температура від  $-1^{\circ}\text{C}$  до  $+35^{\circ}\text{C}$  тому для забезпечення точності позиціонування 0.4мм слід вибрати напів-рідке мастило для змазування лінійних валів. Відносна вологість 60% при  $20^{\circ}\text{C}$ .

Для транспортування станції слід забезпечити дерев'яний контейнер наповнений спіненим поліетиленом.

Для забезпечення точності позиціонування не менше 0.4мм та строку експлуатації не менше 4-х років слід провести наступні розрахунки—точності позиціонування та теплові розрахунки апаратного забезпечення станції.

Маркування обов'язково нанести логотип з назвою фірми виробника на передній панелі.

					PI61.442281.001 ПЗ	14
		№ докум.	Підпис			

## 2 РОЗРОБКА МЕХАНІЧНИХ ВУЗЛІВ СТАНЦІЇ

### 2.1 Попередній вибір матеріалу

При виборі матеріалу слід керуватися наступними параметрами такими як: максимальним прискоренням кареток та максимальної області друку.

В технічному завданні прописано, що максимальні прискорення по кареткам X,Y —  $120\text{мм/с}^2$ , а по осі Z —  $60\text{мм/с}^2$  це максимальні прискорення котре може забезпечити керуюча програма-слайсер, в порівнянні з недорогими принтерами максимальне прискорення по кареткам X,Y—  $60\text{мм/с}^2$ , а по осі Z— $20\text{мм/с}^2$ .

Тому для уникнення різного роду вібрацій та механічних резонансів слід вибирати наступні матеріали: для вузлів каретки Y буде використаний вініпласт — це міцний конструкційний пластик, легко обробляється різанням та має товщину порядку 25мм( більшість листових пластмас мають товщину менше 20мм); всі кріплення крокових двигунів буде виконуватись за допомогою алюмінієвих кронштейнів. Таке рішення обумовлене забезпеченням теплового режиму крокового двигуна. Матеріал станини повинен бути легкий міцний та легкий у обробці, таким вимогам відповідає алюмінієвий сплав АД31Т5 з котрого і виконана конструкція станини станції.

### 2.2 Розробка основних механічних вузлів

#### 2.2.1 Огляд існуючих рішень кінематики

При виборі кінематики слід опиратися на головну задачу станції. Якщо станція буде друкувати невеликі моделі з максимальними розмірами 150мм на 150мм і на 250мм у висоту тоді слід використовувати класичну декартову систему переміщень кареток рис.5.

Основними недоліками такої системи є висока інерція каретки Y так як модель переміщується разом з платформою і тому високих швидкостей друку на такій кінематиці досягти не можна.

Перевагою такої системи є простота виконання і можливість встановлення двох екструдерів з прямою подачею. Саме така система використана в проєктованій станції.

Наступний тип кінематики котрий можна реалізувати в станині форми куба є Q-X-Y, рис.6. Механіка такого типу відрізняється високою точністю позиціонування та повторюваністю в порівнянні з декартовою системою. Це

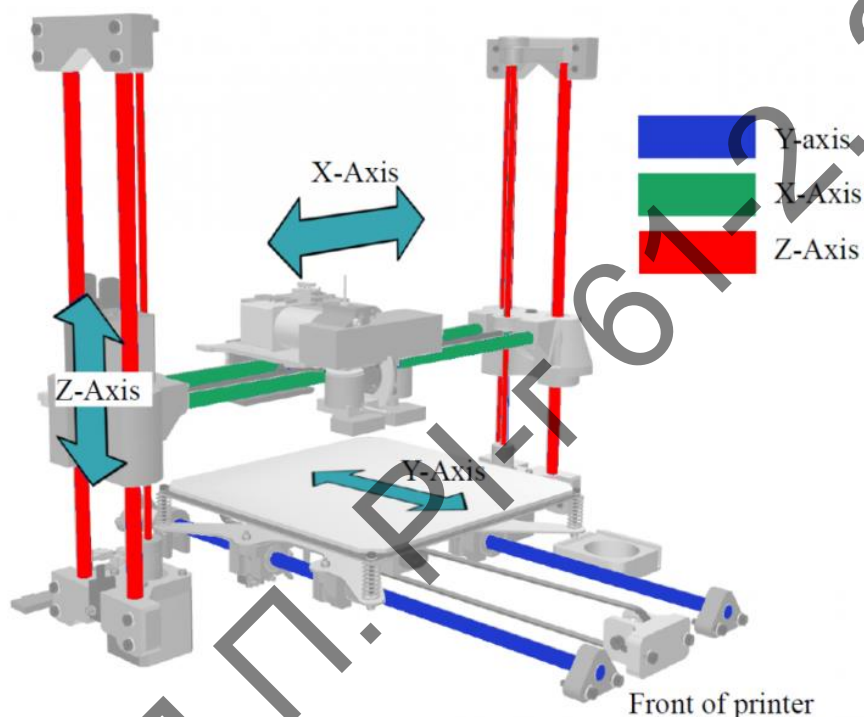


Рисунок 5—Класична декартова система переміщень кареток[3]

досягається завдяки тому, що модель яка друкується переміщується лише по осі Z, а головка екструдера переміщуються по осям X,Y.

Також існує так звана дельта-кінематика рис.7. Особливості цієї кінематики є використання всього 3-х крокових двигунів та при правильному налаштуванні механіки досить точне позиціонування головки.

Недоліки такої кінематики є використання тяг з шаровими опорами. Ці тяги відмінно працюють якщо принтер невеликих розмірів: розміри робочої платформи 300мм в діаметрі.



При використанні більш довгих тяг проявляється такий ефект як «лінза» тобто в центрі екструдер позиціонується вище по осі Z ніж по краям платформи. Також із недоліків цієї кінематики є рівномірний натяг всіх ременів.

Якщо ремені будуть натягнуті не рівномірно один відносно одного, тоді точне позиціонування робочого органу стає неможливим.

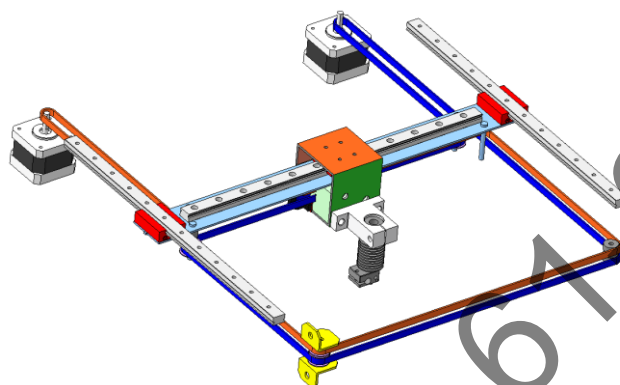


Рисунок 6—Кінематика Q-X-Y[3]

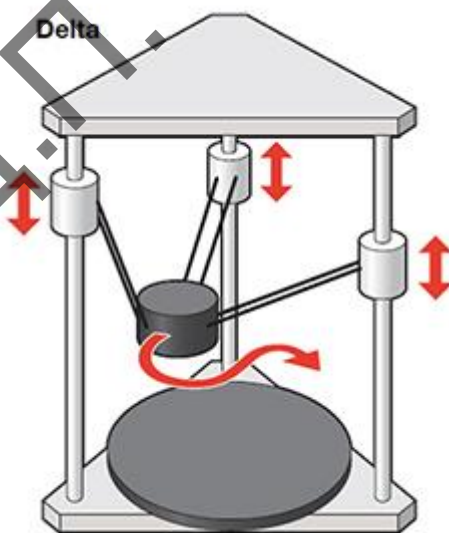


Рисунок 7—Дельта-кінематика[3]

### 2.2.2 Огляд та вибір систем переміщення кареток.

При виборі системи переміщення кареток принтера слід врахувати його кінематику та величину друкованої моделі. Загалом існує два способи

переміщення каретки. Перший спосіб за допомогою зубчатого ременя в парі зі спеціальними шківом рис.8.

Основними перевагами такої системи є висока точність позиціонування каретки, малий шум при переміщеннях та дешевизна.

Вагомими недоліками є великий знос ременя, при високих швидкостях друку ремінь поступово розтягується, що призводить до інерції каретки та стирання зубів ременя.

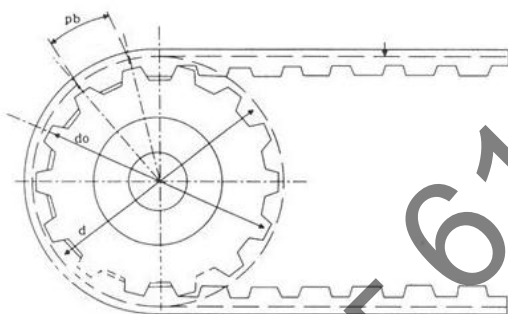


Рисунок 8—Зубчатого ремень в парі зі спеціальним шківом[5]

Другий спосіб переміщення каретки є пара гвинт-гайка рис.9. Переваги цього способу є досить висока точність позиціонування (0.01мм), та дешевизна виконання. Вагомим недоліком є високий рівень шуму та низькі швидкості друку та каретки прискорення.



Рисунок 9—Пара гвинт-гайка[5]

Третій спосіб переміщення каретки є так звана кульково-гвинтова передача рис.10. Переваги такої системи є висока точність позиціонування, плавність ходу, високі швидкості, відсутність інерції.

Недоліком такої системи є висока вартість та складність встановлення, так як необхідно фіксувати другий кінець гвинта в опорному підшипнику.



Рисунок 10—Кульково-гвинтова передача[5]

Головними задачами при проектуванні є: вибір несучої конструкції та кінематики; вибір засобів та механізмів переміщення кареток, вибір подачі філамента.

Для лінійного переміщення всіх кареток буде використано лінійні вали з лінійними підшипниками на 8мм рис.11.



Рисунок 11—Лінійний вал з лінійними підшипниками[5]

Це обумовлено дешевизною такої системи, простотою встановлення, високою точністю позиціонування.

					РІ61.442281.001 ПЗ	19
		№ докум.	Підпис			

### 2.2.3 Розробка головних механічних вузлів

Вісь Y,Z зображена на рис.12. Конструктивно виконана наступним чином: бокова пластина 1 слугує для фіксації лінійних валів 2,3; в ній виконані 3 отвори в котрі запресовані лінійні підшипники осі Z 4,5 та прикручена гайка трапеційдального гвинта осі Z; встановлений механізм натягу зубчатого ременя 7. Бокова пластина 6 виконана так само як і бокова пластина 1, але в ній виконане кріплення крокового двигуна осі Y та встановлений кроковий двигун. На ремінь 7 встановлена каретка осі Y

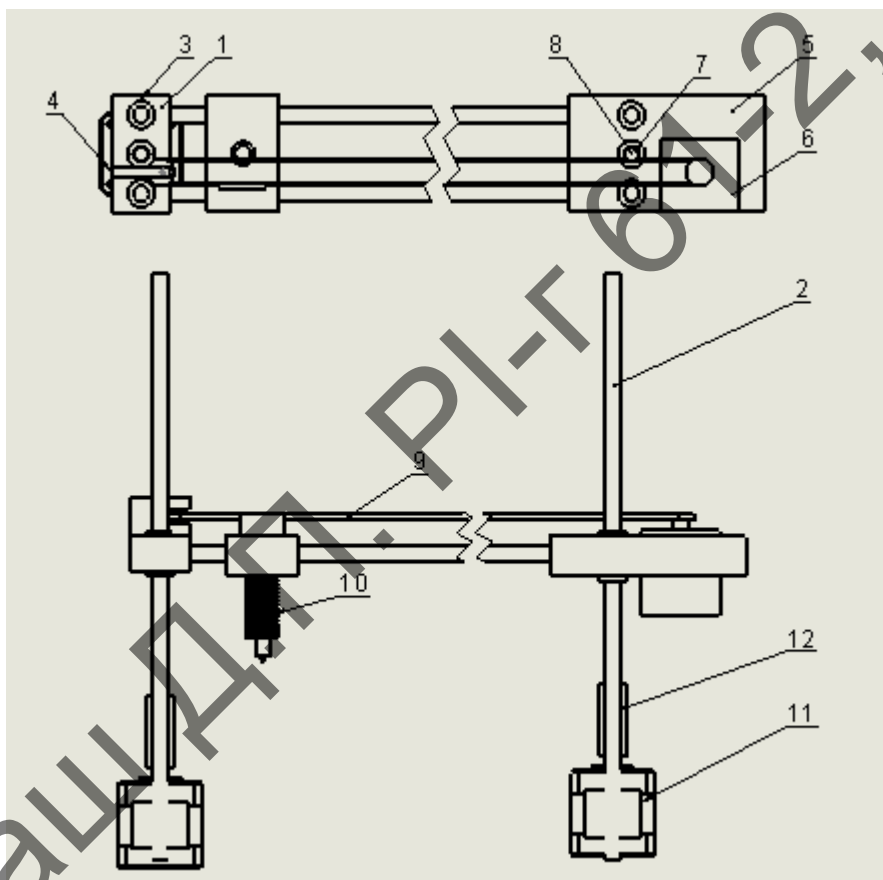


Рисунок 12—Конструкція осі Y,Z

В бокові пластини запресовані латунні безлювтові гайки трапеційдального ходового гвинта 7, трапеційдальний ходовий гвинт через жорстку муфту 12 кріпиться до крокового двигуна осі Z 11.

Вісь Х зображена на рис.13. Конструктивно виконана наступним чином: на станині станції кріпляться стойки лінійного вала 1,2,3,4, в котрих зафіксовано лінійні вали 5,6, на лінійних валах встановлено лінійні підшипники в корпусі 7,8,9,10.

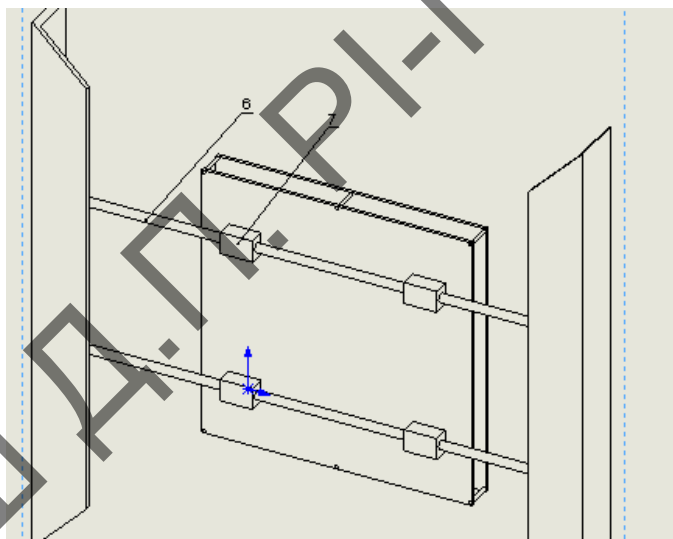
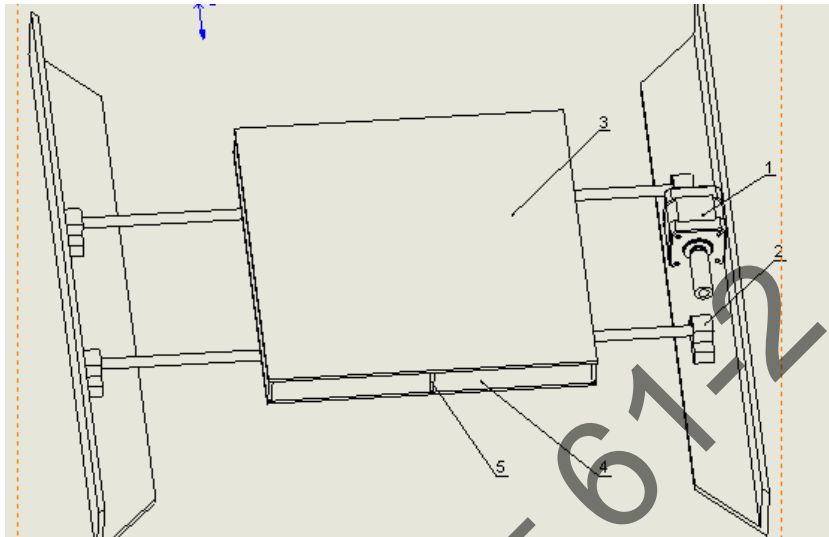


Рисунок 13—Конструкція осі Х

На станину встановлюється кронштейн з кроковим двигуном 12, а на протилежному кінці механізм натягу ремня 13. До ремня 14 приєднаний стіл.

### **2.3 Розробка станини станції**

Несуча конструкція станції повинна бути максимально міцною, без люфтів. Вибір несучої конструкції та її виконання впливають в подальшому на вибір кінематики та якість друку. Якщо несуча конструкція буде нестійкою в неї

можуть виникати механічний резонанс при циклічному переміщенні кареток, що в свою чергу негативно впливає на якість друку.

В ряді досліджень було виявлено, що найкраще себе показала форма станини у вигляді куба, рис.14, форма такої станини дозволяє досягти максимальної міцності конструкції та звести до мінімуму люфти в каретках.

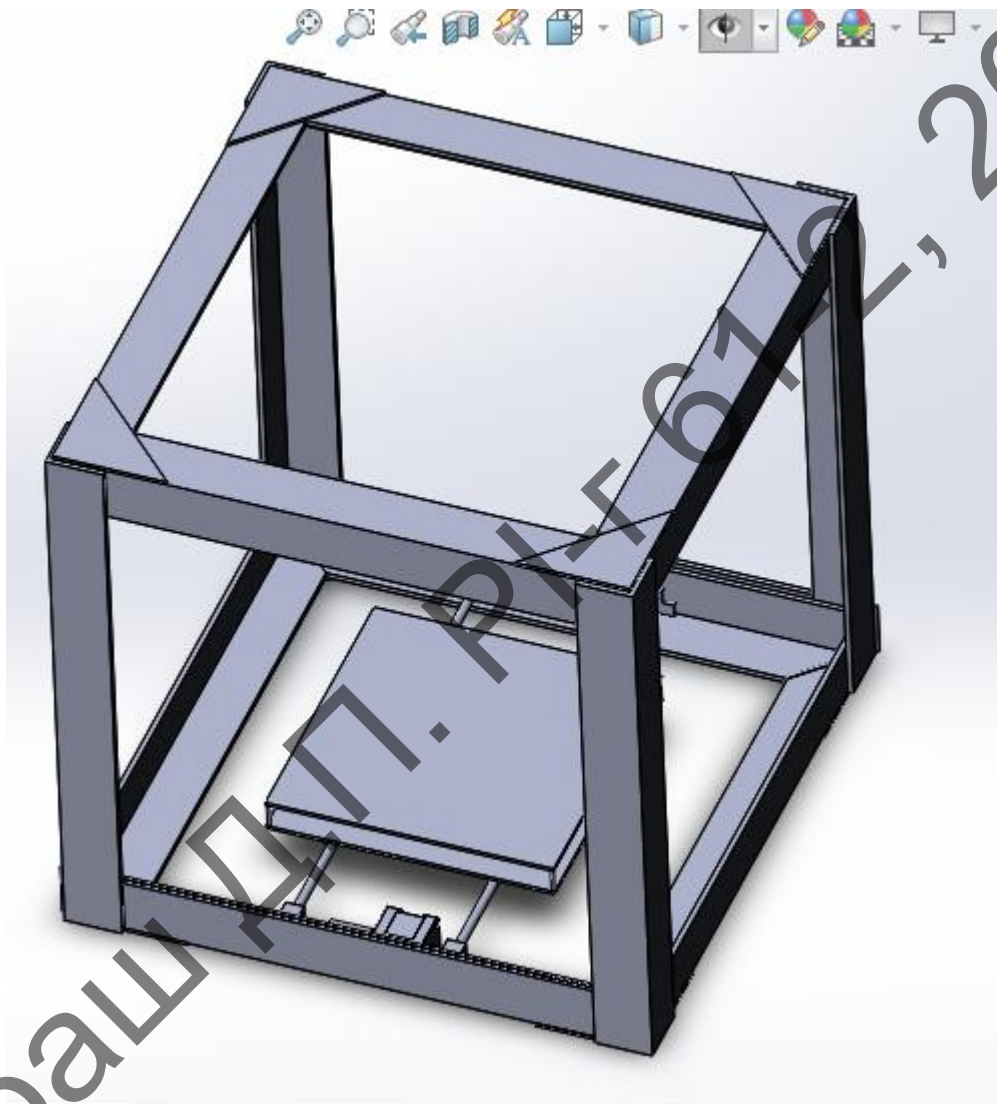


Рисунок14—Станина принтера

Також велике значення має матеріал деталей і конструкцій, матеріал повинен бути легкий міцний та легкий у обробці, таким вимогам відповідає алюмінієвий сплав АД31Т5 з котрого і виконана конструкція станції.



## 3 АПАРАТНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАНЦІЇ

### 3.1 Розробка апаратного забезпечення

#### 3.1.1 Вибір електронних модулів компонентів та їх налаштування.

Для обчислювальної потужності станції тривимірного друку достатньо звичайного мікроконтролера на 32 біти. Наприклад Atmega 2560, майже всі сучасні материнські плати та плати розширення для станцій тривимірного друку побудовані з використанням цього контролера. Даний мікроконтролер має наступні характеристики: робоча напруга 5В, максимальне число входів/виходів 54, тактова частота 16 МГц, кількість флешпам'яті 256КБ. На базі цього мікроконтролера є готовий модуль з необхідною об'язкою arduino-mega рис.15. тому раціонально використовувати даний модуль.

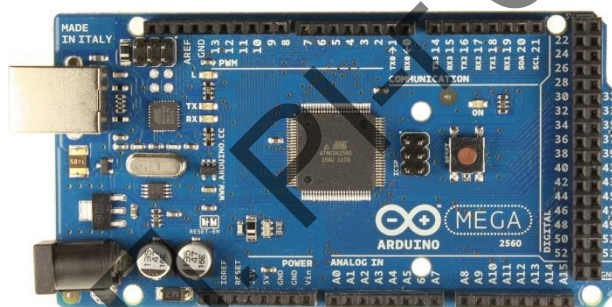


Рисунок 15—Електронний модуль на базі мікроконтролера Atmega 2560[6]

Драйвер крокового двигуна, цей модуль призначений для керуванням крокового двигуна. Існує безліч типів драйверів від різних виробників. Так як в станції тривимірного друку будуть використовуватися крокові двигуни середньої потужності то для їх контролю раціонально використовувати відповідні драйвери. Відповідних драйверів існує 3 типи, характеристики представлені в табл.1.

Таблиця 1— Характеристики драйверів крокових двигунів.

Назва драйверу	Максимальне дроблення шагу	Максимальний струм	Максимальна напруга
A4988	1/16	2A	32В
DRV8825	1/32	2.2A	32В
TMC2100	1/255	1.5A	32В

Виходячи с характеристик приведених в таблиці 1, та відповідно до технічного завдання в якому йдеться що точність позиціонування повинен бути не менше 0.2мм та шум від роботи станції не більше 30дБ, вибираємо драйвер DRV8825.

Кроковий двигун це найбільш відповідний електричний компонент від якості, та характеристик котрого залежить якість друку, точність позиціонуванню, прискорення по осям. В станції буде використано крокові двигуни NEMA 17 17HS4401 рис.16.



Рисунок 16—Кроковий двигун NEMA 17 17HS4401[6]

Ця модель була вибрана через дешевизну, високу точність позиціонування , та досить високий момент утримання .

Характеристики даного двигуна наступні:

- кут повороту на один крок  $1.8^\circ$ ;
- максимальний струм 1.5A;
- діапазон напруги живлення  $5 \div 24\text{В}$ ;
- максимальний крутячий момент 5.5 кг/см;
- індуктивність обмоток 2.8 мГн;
- опір обмотки 1.6Ом.



Хотенд (екструдер) —це основний інструмент станції тривимірного друку. Саме в хотенді відбувається плавлення пластикового філаменту контроль та температури плавлення. Існує два типи хотенду: bowden i direct.

При виборі хотенда слід звернути увагу на філамент котрим буде виконуватися друк. Якщо друк буде виконуватися ABS, PLA, CoPET пластиками тоді слід використовувати екструдер з віддаленою подачею (bowden), конструкція такого екструдера представлена на рис.17.



Рисунок 17—Екструдер з віддаленою подачею (bowden)[6]

Переваги такого екструдера є зниження ваги каретки екструдера що в свою чергу знижує інерцію і підвищує якість друку, недоліки такої системи використання двигуна с підвищеним моментом .

Якщо друк буде виконуватися нейлоном та гумоподібними матеріалами , тоді слід використовувати екструдер с прямою подачею(direct)рис.18.

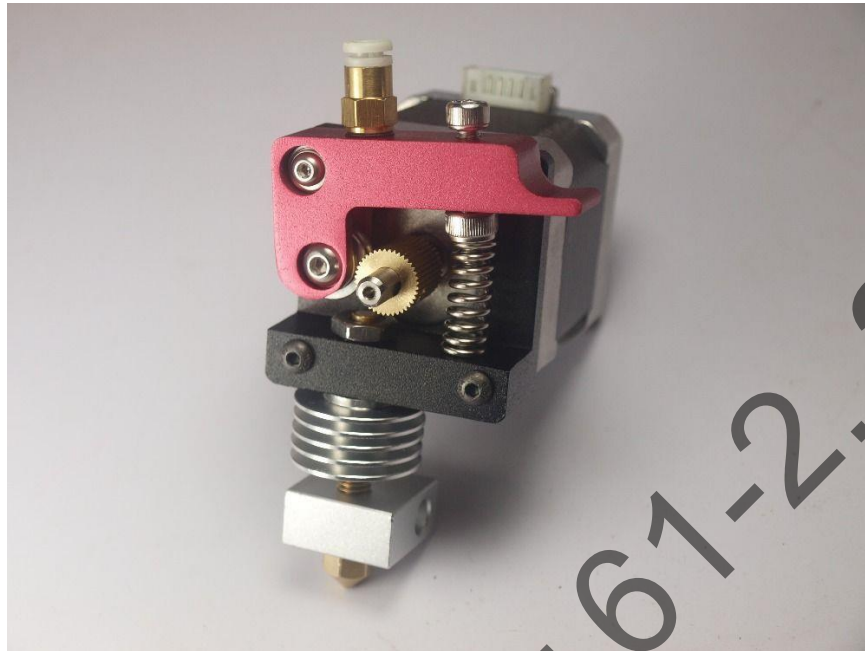


Рисунок 18—Екструдер с прямою подачею(direct)[6]

Переваги такого екструдера це простота виконання та точне дозування матеріалу; недоліки мотор екструдера переміщується разом з кареткою що в свою чергу підвищує момент інерції.

### ***3.1.2 Схема з'єднання електронних модулів та компонентів.***

В основі пристрою є електроний модуль на базі мікроконтролера Atmega 2560. Схема електрична структурна представлена на рис.19. До цього модуля підключені наступні модулі такі як: драйвери крокових двигунів для забезпечення роботи тих самих двигунів, кінцеві вимикачі для забезпечення нульвої точки положенні всіх осей, хотенд в котрому вмонтований нарівальный капсуль, термістор хотенда для забезпечення конторю плавлення пластмасового філаменту, гриюча панель стола та термістор панелі. Всі модулі зеднуються між собою за допомогою шлейфів та екранованих сигнальних проводів. Схема електрична принципова представлена на кресленнику PI61.466443.001 E3.

					PI61.442281.001 ПЗ	26
		№ докум.	Підпис			

В основі схеми є електронний модуль на базі мікроконтролера Atmega 2560. До цифрових виводів з D2 до D13 підключені драйвери крокових двигунів. Схема електрична принципова котрих зображена на рис.20.

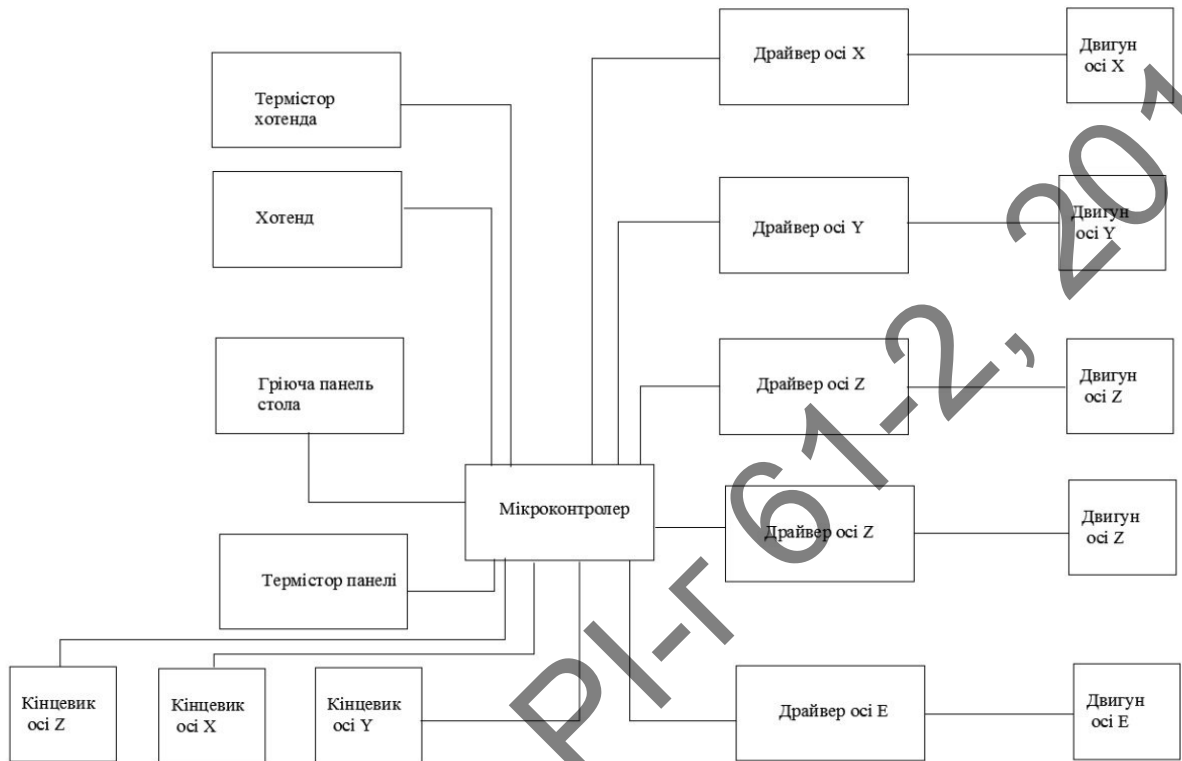


Рисунок 19—Схема електрична структурна станції тривимірного друку.

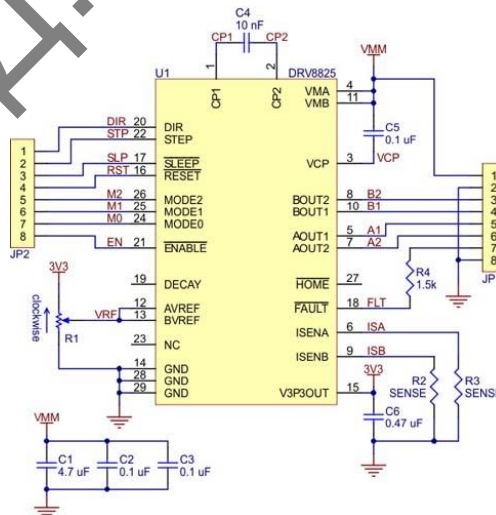


Рисунок 20—Схема електрична принципова драйверів крокового двигуна. [6]

В основі драйвера є мікросхема DRV8825 для забезпечення коректної роботи та задання необхідних параметрів до мікросхеми підключена відповідна обв'язка.

Для з'єднання модулю мікроконтролера та драйверів буде застосовуватися спеціальний шилд RAMPS 1.4 Схема електрична принципова котрого зображена на рис.21

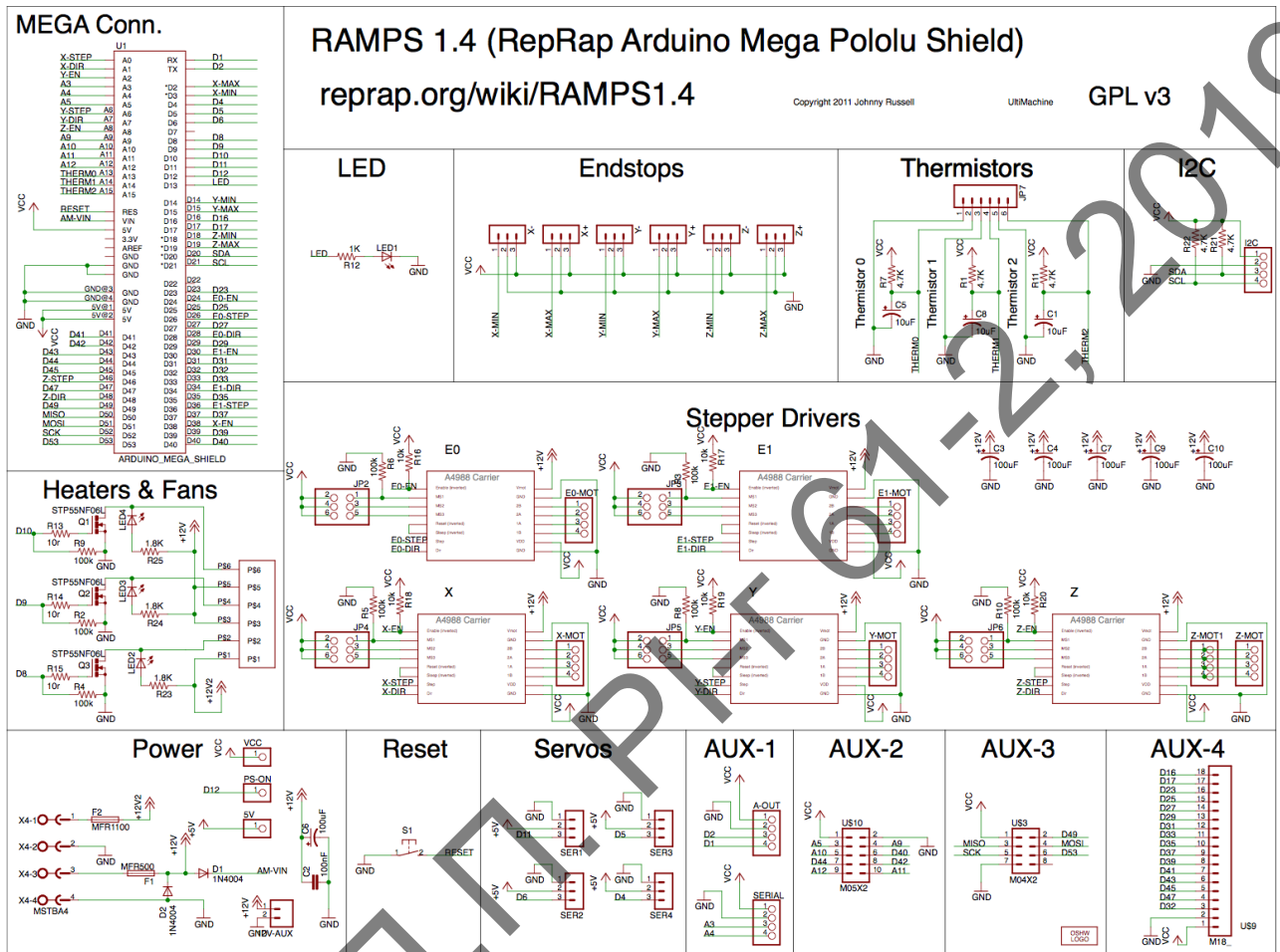


Рисунок 21—Схема електрична принципова плати розширення RAMPS 1.4[6]

Для коректної роботи датчі температури слід використати послідовний R-C фільтр сигналу, так як для забезпечення точної температури програмно використовується PID-регулятор.

### 3.2 Налаштування програмного забезпечення станції тривимірного друку.

Для сатнцій тривимірного друку існує безліч прошивок, але є дві основні котрі встановлюються на більшу частину принтерів перша прошивка це—Marlin 3D Printer Firmware, друга—Repetier-Firmware configuration .Основні налаштування будуть розглянути далі

### 3.2.1 Прошивка Marlin 3D Printer Firmware

Прошивка Marlin 3D Printer Firmware це відкритим проектом і її можна безкоштовно скачати з інтернет мережі. Для налаштування прошивки на знадобиться програма ARDUINO IDE.

Після завантаження прошивки на комп'ютер відкриваємо її в вище названій програмі і переходимо на вкладку Configuration.h. В цій вкладці і виконуються всі основні налаштування. Спочатку присвоюємо номер послідовного порту нашого принтера. Для цього в строці 103 ставимо відповідну цифру рис.22.

```
97 * Select which serial port on the board will be used for communicat
98 * This allows the connection of wireless adapters (for instance) to
99 * Serial port 0 is always used by the Arduino bootloader regardless
100 *
101 * :[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]
102 */
103 #define SERIAL_PORT 0
104 |
105 /**
106 * This setting determines the communication speed of the printer.
107 *
```

Рисунок 22—Присвоєння номеру порту принтера.

Наступним кроком є установка швидкості передачі даних в бодах рис.23. Висока швидкість встановлюється в тому випадку якщо принтер буде друкувати за допомогою модуля з графічним інтерфейсом та картою-накопичувачем.

```
108 * 250000 works in most cases, but you might try a lower speed if
109 * you commonly experience drop-outs during host printing.
110 *
111 * :[1200, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 250000]
112 */
113 #define BAUDRATE 250000
114 |
115 // Enable the Bluetooth serial interface on AT90USB devices
116 // #define BLUETOOTH
117 |
```

Рисунок 23—Установка швидкості передачі даних.

Якщо принтер буде друкувати за допомогою комп'ютера по USB інтерфейсу то слід поставити найнижчу швидкість передачі даних щоб запобігти збоєм при друці.

Наступним кроком є вибір плати керування прирентера для цього слід перейти на вкладку BOARDS\_H із випадального списку плат відзначити свою , скопіювати строку з назвою та номером плати і вставити в строку 212 вкладенці Configuration.h.рис.24.

```
117 |
118 | // The following define selects which electronics board you have.
119 | // Please choose the name from boards.h that matches your setup
120 | #ifndef MOTHERBOARD
121 |     #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
122 | #endif
123 |
124 | // Optional custom name for your RepStrap or other custom machine
125 | // Displayed in the LCD "Ready" message
```

Рисунок 24—Вибір плати керування.

Наступним кроком є налаштування підключення датчиків температури до відповідних пінів на платі керування рис.25. Та вибір типу терморезистора.

Для налаштування температури та корекції даних про температуру від 248 до 406 строки можна внести безліч корекцій та налаштувати відповідно до типу принтера.

```
248 | #define TEMP_SENSOR_0 1
249 | #define TEMP_SENSOR_1 0
250 | #define TEMP_SENSOR_2 0
251 | #define TEMP_SENSOR_3 0
252 | #define TEMP_SENSOR_4 0
253 | #define TEMP_SENSOR_BED 1
254 |
255 | // Dummy thermistor constant temperature readings, for use with 998 and 999
256 | #define DUMMY_THERMISTOR_998_VALUE 25
257 | #define DUMMY_THERMISTOR_999_VALUE 100
258 |
```

Рисунок 24—Налаштування терморезисторів.

Якщо кінематика принтера COREXY то слід роз коментувати строку відповідно до кінематики рис.25.

Наступним кроком є налаштування переміщення по осям для цього слід використати спеціальний калькулятор котрий є доповненням безкоштовної програми Repiter-Host.



Якщо розраховується ремінна передача тоді слід задати наступні параметри: кут повороту двигуна на 1 крок, дільник кроку котрий встановлено на драйвері крокового двигуна спеціальними джамперами, і крок ременю.

```

409 //=====-
410
411 // @section machine
412
413 // Uncomment one of these options to enable CoreXY, CoreXZ, or CoreYZ kinematics
414 // either in the usual order or reversed
415 //#define COREXY
416 //#define COREXZ
417 //#define COREYZ
418 //#define COREYX
419 //#define COREZX
420 //#define COREZY
421

```

Рисунок 25—Налаштування кінематики.

Якщо розраховуємо гвинтову передачу тоді слід задати крок гвинта ці два калькулятори зображені на рис.26.

Рисунок 26—Розрахунок переміщення кареток за допомогою калькуляторів.

Дані отримані за допомогою калькулятора вносяться до строки 497. Наступним кроком є налаштування максимальних прискорень кареток строка 505 рис.27. Цей параметр напрямую впливає на швидкість та якість друку. залежить цей параметри від жорсткості станини станції якості виконання кареток.

В рядках з 515 по 517 заедаються максимальне переміщення кареток та розміри поля друку. На цьому основні налаштування прошивки даного типу завершується. Далі необхідно підключити плату до принтера, вибрати необхідний порт. скопіювати та завантажити прошивку в плату. Якщо при компіляції

виникла проблема в першу чергу слід звернути увагу на тип плати який встановлено, або спочатку натиснути кнопку завантаження і в тий же момент підключити плату до комп'ютера . заздалегідь вибравши необхідний порт в програмі компілятора, такі пробле досить часто виникають при прошивці.

```
497 #define DEFAULT_MAX_FEEDRATE          { 200, 200, 200, 50 }
498
499 /**
500  * Default Max Acceleration (change/s) change = mm/s
501  * (Maximum start speed for accelerated moves)
502  * Override with M201
503  *
504  *                               X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3[, E4]]]]
505 #define DEFAULT_MAX_ACCELERATION      { 500, 500, 300, 500 }
506
507 /**
```

Рисунок 27—Налаштування переміщення та прискорення кареток

### 3.2.2 Пошивка Repetier-Firmware configuration

Цей тип прошивки є у вигляді онлайн-кофігуратора,рис.28. тому для користувача налаштування прошивки не повинно викликати складнощі.

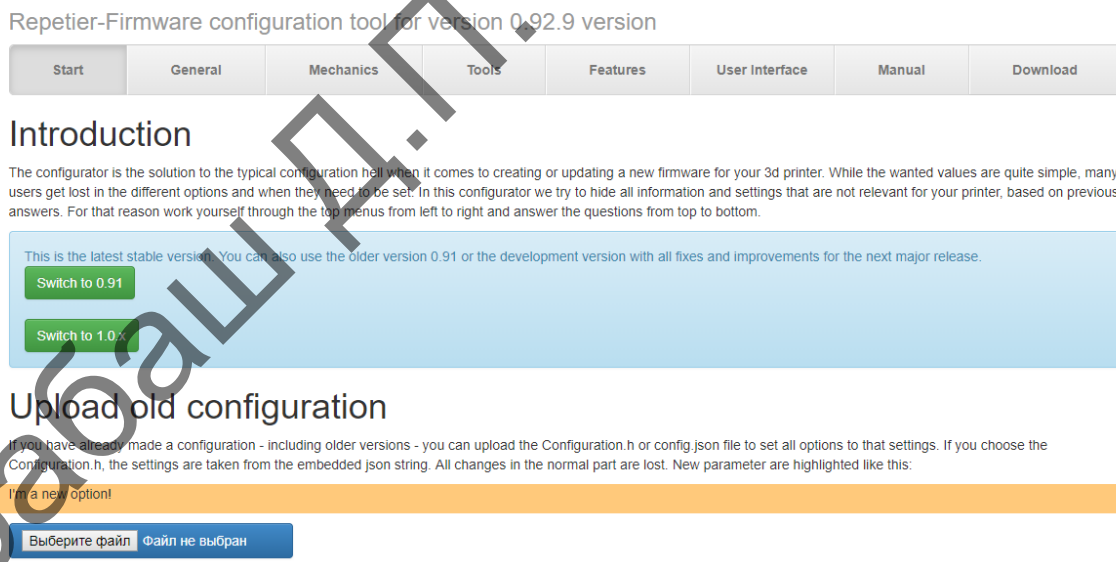


Рисунок 28—Онлайн-конфігуратор Repetier-Firmware

Переходячі по вкладкам котрі знаходяться зверху користувач може за лічені хвилини налаштувати та завантажити цю прошивку в свій принтер. Всі кроки налаштування майже нічим не відрізняються від налаштування прошивки розглянутої раніше.



Єдина особливість цієї прошивки в тому, що якщо принтер має стіл з підігрівом у то у вкладці TOOLS слід поставити марке напроти Enable heated bed support (HAVE\_HEATED\_BED) рис29.

HEATER\_PWM\_SPEED 15HZ, 256 values

**Extruder XY Switch Speed** 100 [°C]  
EXTRUDER\_SWITCH\_XY\_SPEED  
This speed is used when you switch between extruders to set new position.

- Scale PID values to max. PID. Can give better temp. results if max. PID is low. (SCALE\_PID\_TO\_MAX)
- Disable extruder stepper when unsued (DISABLE\_E)
- Enable heated bed support (HAVE\_HEATED\_BED)
- Enable PDM for heaters (instead of PWM) (PDM\_FOR\_EXTRUDER)
- Enable PDM for fans (instead of PWM) (PDM\_FOR\_COOLER)
- Mixing Extruder (1 Nozzle/heater + 2 or more filament feeder) (MIXING\_EXTRUDER)
- Kill/reset firmware on defect sensor. (KILL\_IF\_SENSOR\_DEFECT)
- Extruders share same heater from extruder 0 definition (SHARED\_EXTRUDER\_HEATER)

**Heated bed**

**Max. bed temperature** 120 [°C]

**Skip temp. wait if within** 3 [°C]

**Temperature sensor** 100k Epcos B57560G0107F000

**Temperature sensor pin** Temp 1 normally used for heated bed

Рисунок29—Налаштування стола з підігрівом

Головною особливістю даної прошивки є те, що її можна налаштувати вже після завантаження в плату принтера. Справа в тому що всі важливі параметри записуються в EEPROM і є відкритими для змінення. Для того щоб змінити налаштування такі як прискорення, переміщення по осям або тип термістора необхідно підключити принтер до комп'ютера попередньо встановити програму-слайсер Repiter-Host виконати комутацію принтера і відкрити вкладку Конфігурація. У випадяючому вікні вибрати вкладку EEPROM. Далі можна міняти параметри принтера будь-як. Ця функція є дуже корисна наприклад коли потрідно налаштувати подачу філаменту. Так як ций параметри можна лише експериментальним шляхом.

### 3.3 Особливості налаштування станції для використання основних матеріалів для друку

Основні проблеми при друці та використанні цих матеріалів будуть описані далі.

В таблиці 2 представлені характеристики нище описаних матеріалів

Таблиця 2—Основні матеріали для друку

Матеріал	Температура плавлення	Температура платформи	Вартість	Область використання
PLA	195÷210 С°	не потребує	30÷40 USD	Прототипне моделювання високої якості
ABS,(ABS+)	210÷240 С°	90÷125 С°	10÷20 USD	Конструкційне моделювання низької якості
CoPET	230÷ 260 С°	70 ÷ 100 С°	30÷40 USD	Конструкційне моделювання високої якості
NYLON (PA)	210÷ 240 С°	90÷125 С°	50÷70 USD	Конструкційне моделювання зносостійких деталей

PLA-пластик—є біорозкладаним, біосумісним, термопластичним аліфатичним поліефіром. Цей пластик виробляють з кукурудзи або цукрового очерету[1].

При дослідженнях цей пластик показав високі результати, а саме температура плавлення лежить в межах від 195 до 210 С°. В усьому температурному діапазоні шари добре склеювалися між собою. При друці середньо габаритних моделей розміри котрих не перевищують 250 × 250 × 300мм, пластик не веде, а також не відбувається розшаровування моделі, має високу адгезію з робочою платформою на якій відбувається друк. Робоча платформа не потребує додаткового підігріву. Із недоліків можна відмітити, що при друці тонкостінних моделей необхідний обдув робочої зони. Моделі надруковані цим пластиком не стійкі до ультрафіолету, а також мають низьку зносостійкість. При друці крупно габаритних моделей пластик дає велику усадку.

ABS,(ABS+) пластик- цей полімер знайшов більш широке застосування в багатьох сферах науки, виробництва та побуту. З нього виготовляють величезну кількість виробів, починаючи з деталей дитячих конструкторів і закінчуючи

різними елементами корпусу мотоциклів і автомобілів. В основі пластика лежать сполуки, одержувані з нафти. Завдяки цьому, матеріал не схильний до розкладання і має високу міцність[1].

При дослідженні цей пластик показав не дуже високі результати, а саме температура плавлення лежить в межах від 210 до 240 С°. В залежності від типу та точності підтримання температури екструдера досить важко підбирати температурний режим роботи  $\pm 5$  С°.

Пластик потребує умов повної ізоляції від зовнішнього середовища, а саме станцію тривимірного друку котра встановлена в спеціальній камері. В камері необхідно забезпечувати підтримання постійної температури, та конвекцію повітря. Робоча платформа повинна підігріватися в межах від 90 до 125 С° в залежності від розмірів моделі. При дотриманні всіх цих умов можна надрукувати досить якісну модель розміри котрої не перевищують 100 × 100 × 200мм. Головним недоліком цього матеріалу є висока усадка, та розшарування крупно габаритних моделей, із-за внутрішнього напруження самого матеріалу, а також токсичні речовини котрі виділяються при нагріві. Перевагами є низька вартість, стійкість до ультрафіолетового випромінювання, не потребує обдув зони друку, середня зносостійкість, що дає можливість використання цього пластику в якості конструкційного.

СоРЕТ пластик - поліетилентерефталат. Цей пластик являє собою міцний, вогнестійкий аморфний матеріал з гладкою поверхнею. Цей пластик відрізняється високою прозорістю, рівномірним світлорозсіюванням і стійкістю до хімічних речовин[1]. Крім того, в його склад не входять шкідливі компоненти. Примітно, що цей матеріал, який може піддаватися деформації в холодному стані без утворення тріщин.

При дослідженні цей пластик показав дуже високі результати, а саме температура плавлення лежить в межах від 230 до 260 С°. Слід підбирати температурний діапазон в залежності від особливостей екструдера для кращого склеювання шарів  $\pm 10$  С° між собою. Головною перевагою цього матеріалу є можливість друкувати великогабаритні моделі розміри котрих не перевищують

		№ докум.	Підпис	РІ61.442281.001 ПЗ	35

400 × 400 × 500мм, пластик не веде, не відбувається розшарування моделі та усадка, має високу адгезію з робочою платформою на якій відбувається друк. Робоча платформа потребує додаткового підігріву в діапазоні від 70 до 100 С°, в залежності від розмірів моделі. CoPET пластик має високу зносостійкість, що дає можливість використовувати його в якості конструкційного матеріалу, та друкувати з нього різного роду шестерні та деталі для механізмів.

NYLON (PA) - за властивостями поліамід злегка нагадує ABS пластик, і методика друку багато в чому схожа останнім.

При цьому поліамід володіє високою зносостійкістю, еластичністю і здатний витримувати високі температури [1]. Нерідко матеріал застосовується для виготовлення підшипників і інших схожих компонентів зважаючи на високий коефіцієнта ковзання. Недоліком цього матеріалу є висока еластичність. Слід використовувати екструдер с прямою подачею,що в свою чергу призводить до збільшення ваги каретки і підвищую інерціальність усього вузла.

## 4 РОЗРАХУНКИ ЩО ПІТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ

### 4.1 Теплове моделювання режиму роботи драйверів

При роботі 3д принтера в основному гріються драйвери крокових двигунів та самі двигуни так як вони працюють в постійному максимальному навантаженні. Якщо драйвер або крокових двигун почне перегріватись це призведе до збою друку. А так як деякі моделі можуть займати час друку до 72 годин слід звернути особливу увагу на тепловий режим роботи цих компонентів. Моделювання теплового поля буде проводитися в програмі SoliWorks потужностей цієї програми більше ніж достатньо для подібного роду розрахунка. Результати моделювання покажуть нам чи достатній радіатор котрий поставляється в комплекті з драйвером для коректного теплового забезпечення роботи драйвера крокового двигуна. Результати моделювання теплового поля представлені на рисунку 30.

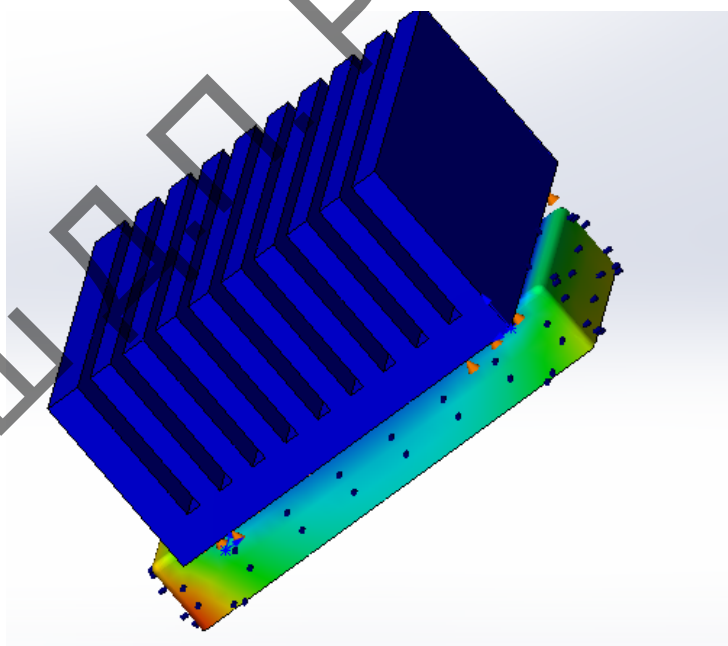


Рисунок 30— Результат моделювання теплового поля радіатора.

Під час моделювання температурного поля радіатора котрий встановлено на мікросхему драйвера крокового двигуна було отримано наступні результати.

		№ докум.	Підпис	

Мінімальна температура радіатора +60°C температура була зафіксована на верхній точці радіатора, температура в безпосередньому місці контакту +80°C.

З отриманих результатів потрібно спроектувати кріплення в блоці електроніці для вентиляторів охолодження.

#### 4.2 Розрахунки показників надійності драйверу крокового двигуна

Так як при налаштуванні та випробувальних роботах найнадійнішим вузлом показав себе драйвер крокового двигуна розрахунок надійності будемо проводити для нього.

Імовірність безвідмовної роботи необхідно розрахувати за формулою 4.1:

$$P(x) = 0,5 \left\{ \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{1-x}{v\sqrt{2x}} \right) \right] + e^{\frac{2}{v^2}} \left[ \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( -\frac{1-x}{v\sqrt{2x}} \right) \right] \right] \right\} \quad (4.1)$$

де  $P(x)$  – ймовірність безвідмовної роботи;

$\operatorname{erf}(x)$  – функція інтеграла помилок;

$v$  – коефіцієнт варіації ( $v=1$ );

$\lambda_p$  – інтенсивність відмов ЕРЕ;

$\lambda_0$  – середньостатистична інтенсивність відмов ЕРЕ;

$K_1$  – функція температури та коефіцієнта навантаження  $K_1=f(\theta, K_n)$ , де  $\theta$  – температура ЕРЕ, °C,  $K_n$  – коефіцієнт навантаження;

$K_2$  – рівень механічних експлуатаційних впливів (вібрацій та ударів);

Розрахунки починаємо з визначення розрахункової інтенсивності ЕРЕ  $\lambda_p$ , далі визначаємо середній наробіток до відмови, розв'язуючи рівняння 4.2:

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{T_0}{2\pi t_b^3}} \exp \left[ -\frac{(t_b - T_0)^2}{2t_b T_0} \right] \quad (4.2)$$

де  $T_0$  – середній наробіток до відмови;

$t_b$  – тривалість випробувань ( $t_b=3 \cdot 10^4$ )

Визначивши  $T_0$  приймають  $\mu=T_0$  задають необхідний час роботи  $t$ , а показники надійності ЕРЕ визначають в залежності від параметра  $x=t/\mu$  та коефіцієнта варіації  $v$ .



$K_{с,т}$  – Коефіцієнт режиму, що враховує складність інтегральних мікросхем та температуру навколишнього середовища [табл. П1.5, 9];

$K_U$  – коефіцієнт, що враховує вплив максимальних значень напруг живлення [табл. П1.6, 9];  $K_U=1$ ;

$K_{корп}$  – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу корпусу інтегральних мікросхем ( $K_{корп}= 3$  для пластмасових корпусів).

Результати розрахунків занесемо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1—Результати розрахунків надійності приладу.

Назва і тип елемента	$\lambda_0$	$K_{ф}$	$K_{р}$	$K_{с}$	$K_{с1}$	$K_{г}$	$K_{коп}$	$K_{т}$	$\lambda_{р}$	$N$	$T_0$
Кон-ри											
електроліт	0,19			1				3,63	0,69	1	1,44
керам	0,19		0,18	0,53					0,018	4	222
Резистори	0,04					0,6			0,024	3	125
Мікросхеми	0,019						3	0,89	0,05	1	20
Сума									0,78		368,4

Сумарна ймовірність безвідмовної роботи при 100000 год дорівнює 0,78.

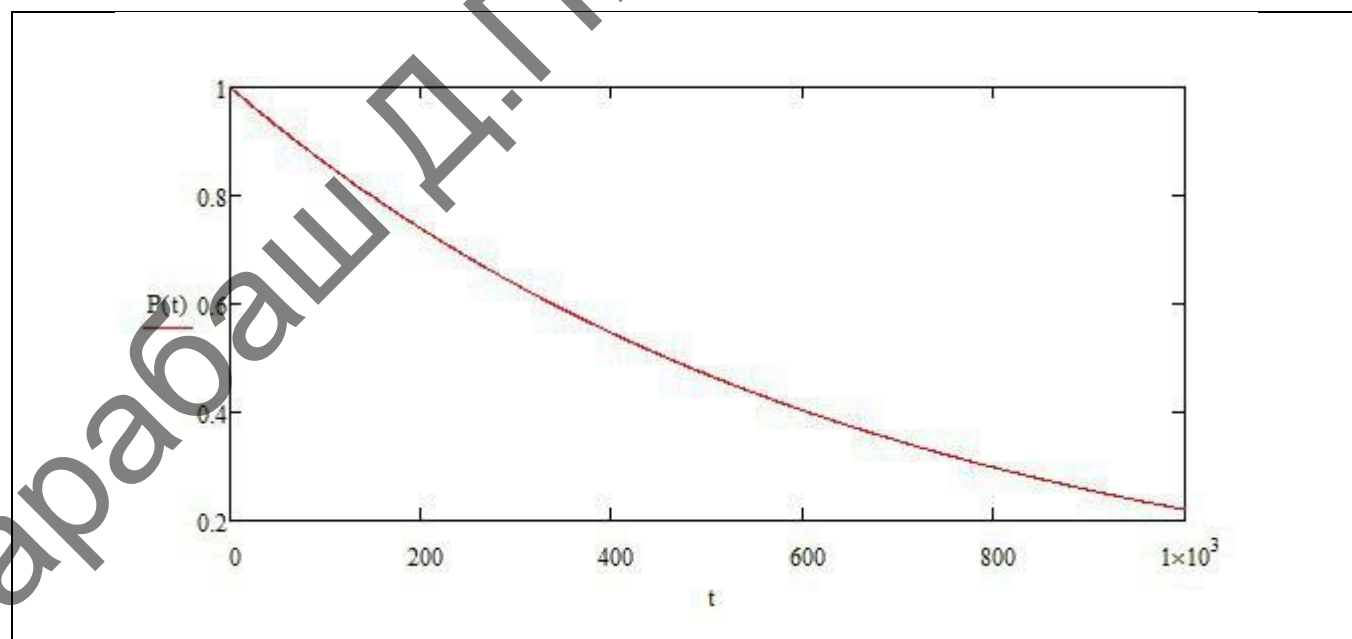


Рисунок 31— Графік безвідмовної роботи драйвера крокового двигуна



## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

В даному розділі диплоної роботи розглядаються питання безпеки та охорони праці при розробці та дослідженні алгоритмів системи передачі зашифрованих повідомлень по відкритим каналам зв'язку та криптографічних методів захисту інформації.

Робота виконувалась із застосуванням ВДТ ПЕОМ (персональні ЕОМ: ПК, ноутбук, смартфон) в комп'ютерній лабораторії НТУУ «КПІ ім. І.І. Сікорського» 17-го корпусу Радіотехнічного факультету.

Основна увага в цьому розділі приділена питанням електробезпеки та гігієни праці при використанні засобів обчислювальної техніки відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98 та згідно до «Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

В цьому розділі визначені основні потенційно шкідливі та небезпечні виробничі фактори та запропоновані відповідні технічні та організаційні заходи з безпеки та гігієни праці, та виробничої санітарії, і визначені основні заходи з пожежної безпеки.

### 5.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів

При роботі з ВДТ ПЕОМ можна виділити наступні потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

- можливість ураження електричним струмом;
- м'яке рентгенівське випромінювання;
- електро-магнітне випромінювання;
- ультрафіолетове і інфрачервоне випромінювання;
- електростатичне поле між екраном і оператором;
- наявність пилу, озону, оксидів азоту та аероіонізації;
- недостатнє освітлення приміщення та наявність відблисків від екрану монітора;

						PI61.442281.001 ПЗ	41
		№ докум.	Підпис				

- неоптимальні параметри мікроклімату (температура, відносна вологість, швидкість руху, рівень іонізації повітря тощо).

Найбільша увага приділена питанням електробезпеки та безпеки праці при проведенні технологічного процесу пайки ЕРЕ при виготовленні спроектованого виробу. Також розглянуті питання відповідності умов праці на робочих місцях існуючим санітарно-гігієнічним вимогам та питанням пожежної безпеки.

Що стосується небезпечних та шкідливих факторів, які мають місце при використанні ПЕОМ в процесі розробки даного виробу, то в даному розділі вони не розглядаються, оскільки в робочому приміщенні лабораторії виконуються усі вимоги ДСанПіН 3.3.2.007-98 та ДНАОП 0.00-1.31-99 щодо безпечних умов праці при використанні ПЕОМ приведені в табл.1.

В першу чергу, розглянемо, чи виконуються основні санітарно-гігієнічні вимоги щодо площі та об'єму приміщення лабораторії, в якому виконувалась дана робота.

Приміщення лабораторії, де проектувався даний апарат має наступні параметри: висота - 3,5 м, ширина - 8 м, довжина - 6 м і розділена шафою-перегородкою на дві частини: конструкторську і технологічну.

У лабораторії може працювати одночасно 5 чоловік. Меблі в лабораторії розставлені таким чином, щоб ширина проходів між робочими місцями була не менш 1 метра, і ці проходи були постійно вільні.

Загальна площа лабораторії, займана шафами:

$$S_1 = 5 \text{ м}^2, \text{ а відповідний об'єм: } V_1 = 10 \text{ м}^3.$$

Сумарна площа, займана столами, включаючи стелажі з полками і стільців складає:

$$S_2 = 6,38 \text{ м}^2, \tag{5.1}$$

Займаний ними об'єм складає формула 5.1:

$$V_2 = 4,544 \text{ м}^3 \tag{5.2}$$

Тоді загальний об'єм і площа меблів, що знаходяться в лабораторії, буде:

$$S_{\text{заг.}} = S_1 + S_2; \tag{5.3}$$

$$V_{\text{заг.}} = V_1 + V_2. \tag{5.4}$$

Об'єм і площа вільного простору, що приходить на одного робітника в лабораторії:

$$S_{\text{нал.}} = 7,324 \text{ м}^2; \quad 5.5$$

$$V_{\text{нал.}} = 30,691 \text{ м}^3 \quad 5.6$$

По основних параметрах досліджуване приміщення відповідає санітарним нормам як СН245-82, так і СНИП 2.09.04-87.

## 5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки та гігієни праці та виробничої санітарії

### 5.2.1 Електробезпека

За способом захисту людини від ураження електричним струмом згідно ДСТУ ІЕС 61140:2015 ВДТ ПЕОМ та периферійні пристрої відносяться до I та II ВДТ ПОЕМ класів щодо електробезпеки. Пристрої живляться від побутової електричної мережі напругою 220 В та частотою 50 Гц, тобто відносяться до електроустановок напругою до 1000 В (системи заземлення TN-'S').

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом дане приміщення відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, тому що в ньому відсутні умови, які створюють підвищену або особливу небезпеку: підвищена вологість, струмопровідний пил, хімічно активне середовище, струмопровідна підлога, підвищена температура.

В приміщенні розташовується більше 4 персональних ЕОМ, тому для прокладення три провідникового захищеного проводу використано гнучкі металеві рукава та на помітному, доступному місці встановлено аварійний резервний вимикач. Таким способом реалізована електромережа штепсельних розеток для живлення персональних ЕОМ, периферійних пристроїв, тощо. Самі розетки монтуються на негорючих пластинах з урахуванням вимог ПВУЕ та Правил пожежної безпеки в Україні та виконані за магістральною схемою.

Заземлення відповідає вимогам ПУЕ-2017.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом для даного приміщення є забезпечення недоступності струмоведучих частин, що

					PI61.442281.001 ПЗ	43
		№ док.ум.	Підпис			

знаходяться під напругою, від випадкового дотику, організація безпечної експлуатації електронагрівальних приладів а також занулення устаткування з використанням автоматів струмового захисту. При наявності занулення замикання фази на корпус перетворюється в одноразове коротке замикання струму, від я кого спрацьовує пристрій максимального струмового захисту і вимикає пошкоджений електроприлад.

Розрахунок електромережі на вимикаючу здатність включає в себе знаходження величини струму КЗ і розрахунок номінального струму спрацювання пристрою максимального струмового захисту.

Необхідні дані для розрахунку:

- $U_{\phi} = 220$  В – фазова напруга;
- $r_{\phi} = 2$  Ом – опір фазового проводу;
- $r_n = 1,6$  Ом – опір нульового проводу;
- $r_u = 0,16$  Ом – еквівалентний опір трансформатора.

Струм однофазового КЗ знаходиться по формулі 5.7:

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{r_{\phi} + r_n + r_u} = \frac{220}{3,3 + 3,3 + 0,16} = 32,54 \text{ А} \quad 5.7$$

Номінальний струм спрацювання автомату струмового захисту розраховується за формулою ( $K$  – необхідна кратність струму КЗ до струму спрацювання автомату струмового захисту):

$$I_{ном} \leq \frac{I_{кз}}{K} = \frac{32,5}{1,4} = 23,4 \text{ А} \quad 5.8$$

З розрахунків видно, що при однофазному КЗ номінальний струм спрацювання автомату захисту повинен бути менш ніж 23 А.

Автомати струмозахисту, які експлуатуються в робочому приміщенні мають  $I_{кз} 10$  А та  $t_{сnp} < 0,2$  с. При однофазному КЗ нульовий провід і з'єднаний з ним корпус електроустаткування за час спрацювання максимального струмового захисту знаходяться під напругою ( $U_{пр}$ ) відносно землі:

$$U_{дот} = I_{кз} \cdot r_n = 32,5 \cdot 3,3 = 107,25 \text{ В} \quad 5.9$$

Розрахована напруга  $U_{дот} < U_{дот, доп}$ . у відповідності з ПУЕ-2017 при  $t < 0,2$ с ( $U_{дот, доп} = 400$  В).

### 5.2.2 Мікроклімат робочої зони

Під час праці людині треба забезпечити комфортні мікрокліматичні умови, адже такі фактори, як температура, відносна вологість, швидкість повітря значно впливають на здоров'я та самопочуття людини.

На робочих місцях мають забезпечуватись оптимальні значення параметрів мікроклімату згідно вимог ДСН 3.3.6.042-99 та ДНАОП 0.03-3.06-80.

У таблиці 3. наведені оптимальні й припустимі значення параметрів мікроклімату для категорій тяжкості робіт «Ia» (роботи, виконувані сидячи й не потребуючі фізичної напруги при витраті енергії не більше 120 ккал/година).

Таблиця 3— Оптимальні й припустимі значення параметрів мікроклімату для категорій тяжкості робіт «Ia»

Параметри	Холодний період		Теплий період	
	оптимальні	допустимі	оптимальні	допустимі
Температура, °С	22-24	21-25	23-25	22- 28
Відносна вологість, %	40-60	80	40-60	75
Швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,1	0,1	0,1-0,2

Для опалення в холодну пору року в приміщенні використовується 8-ми секційна чавунна батарея центрального опалення, а також підручний електричний нагрівач.

Для підтримки необхідних параметрів повітря в приміщенні використовується природна вентиляція. Шкідливі речовини в приміщенні не зберігаються й не використовуються.

### **5.2.3 Технічні та організаційні рішення щодо організації робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ**

Працюючи з ВДТ ПЕОМ можна піддатися впливу наступних небезпечних та шкідливих факторів:

- електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону та промислової частоти;
- невідповідність параметрів мікроклімату робочої зони санітарним нормам;
- електростатичне поле між екраном і оператором;
- монотонність праці, тощо.

На робочих місцях користувачів ВДТ формується дуже складна електромагнітна обстановка, що зумовлено наявністю одночасно багатьох джерел електромагнітного випромінювання. Для профілактики несприятливого впливу електромагнітних випромінювань на користувачів ВДТ необхідно:

- використовувати на робочих місцях тільки такі ВДТ, які відповідають сучасним вимогам щодо захисту людини від електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону;
- не використовувати одночасно на одному робочому місці великої кількості радіоелектронних пристроїв;
- вимикати на робочих місцях зайві радіоелектронні пристрої, на яких ніхто не працює.

Під час роботи з ВДТ на поверхні дисплея накопичується електростатичний заряд, який створює електростатичне поле, напруженість якого може досягати десятки кВ/м. Користувач ВДТ не тільки підпадає під дію цього поля, а й отримує додатковий наведений електростатичний потенціал, величина якого може бути від -3 до +5 кВ.

Для запобігання появи великої напруженості електростатичного поля на робочих місцях користувачів ВДТ та їх захисту від статичної електрики рекомендовано такі заходи:

- вимикати на робочих місцях зайві радіоелектронні пристрої, на яких ніхто не працює.
- встановлення у виробничих приміщеннях і на робочих місцях нейтралізаторів статичної електрики, наприклад, іонізаторів і зволожувачів повітря;
- використання заземлення металевих та електропровідних частин і елементів обладнання;
- широке застосування в робочих приміщеннях діелектричних матеріалів з підвищеною поверхневою та об'ємною електропровідністю;
- вологе прибирання в робочих приміщеннях з ВДТ тільки із застосуванням антистатичних домішок;
- використання для протирання екрану дисплея ВДТ спеціальних антистатичних серветок.

Відповідно до наведеної класифікації ДСанПіН 3.3.2-007–98 встановлюють такі внутрішньо змінні режими праці та відпочинку під час роботи з ЕОМ за 8-годинної денної робочої зміни залежно від характеру праці:

- використання для протирання екрану дисплея ВДТ спеціальних антистатичних серветок.
- для розробників програм із застосуванням ЕОМ потрібно призначати регламентовану перерву для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи за ВДТ;
- для операторів із застосуванням ЕОМ потрібно призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години роботи;
- для операторів комп'ютерного набору потрібно призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 10 хвилин після кожної години роботи за ВДТ.

		№ докум.	Підпис				
						РІ61.442281.001 ПЗ	47

Відповідно до наведеної класифікації ДСанПіН 3.3.2-007–98 встановлюють такі внутрішньо змінні режими праці та відпочинку під час роботи з ЕОМ за 8-годинної денної робочої зміни залежно від характеру праці.

На робочих місцях з ВДТ необхідно також забезпечувати належні умови освітлення приміщення і робочого місця, відсутність відблисків від екрану монітору, оптимальні параметри мікроклімату, належні ергономічні характеристики основних елементів робочого місця.

Екран РК-дисплеями мають розміщуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не ближче 1700 мм з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків і символів. Відстань від екрана до ока працівника має бути залежно від діагоналі екрана. Розміщення екрана має забезпечувати зручність зорового спостереження у вертикальній площині під кутом  $\pm 30^\circ$  від лінії зору глядача.

### **5.3 Пожежна безпека**

Приміщення, в якому розроблялися алгоритми та структура ПЗ, за небезпекою виникнення пожежі відповідно до ДСТУ Б.В.1.1–36.2016 належить до категорії В (пожежонебезпечні – в ньому наявні легкозаймисті речовини, зокрема папір, дерево). За ступенем вогнестійкості дане приміщення можна віднести до важко спалимих, що можуть продовжувати горіти тільки при постійному впливі джерела запалення.

Основними причинами пожежі в приміщенні можуть бути недотримання правил пожежної безпеки, їх порушення, неправильне використання електроприладів, несправність електричної проводки або електроприладів, а також куріння в не відведених місцях.

Протипожежний режим на об'єкті дотримується. Щороку всі працівники проходять протипожежний інструктаж. Кожен працівник ознайомлюється з правилами техніки безпеки при виникненні пожежі, з правилами евакуації, з використанням вогнегасників та інших засобів вогнегасіння. Усе це фіксується в журналі інструктажу підписами службовців.



Наявні шляхи евакуації забезпечують безпечну евакуацію людей і відповідає вимогам розділу „Евакуація людей з приміщень і будівель”. Для евакуації людей з будівлі є „План евакуації людей та матеріальних цінностей при виникненні пожежі”. Плани евакуації вивішені на кожному поверсі (рис. 5.3.1). Мінімальний час евакуації з приміщення не перевищує допустиме значення (1,25 хв.) згідно ДБН В.1.1-7-2016.

На поверсі, де розташоване виробниче приміщення, біля обох сходів є по одному вуглекислотному вогнегаснику (тип вогнегасників обрано згідно з ДСТУ 3675-98 та ISO 3941-77) та сповіщувачу пожежному ручному. Всі електронагрівальні прилади експлуатуються на підставі письмового дозволу на їх застосування.

Приміщення обладнано автоматичною системою пожежної сигналізації, яка відповідає вимогам ДНБВ 2-5-56-2014.

Виконано всі вказівки з пожежної безпеки згідно з НАПБА.01-001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні».

					PI61.442281.001 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			49

## ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломного проекту було спроектовано, виготовлено та налагоджено станцію тривимірного друку. Була розроблена конструкторська документація. Станція вже працює на протязі 3-х років з моменту виготовлення і не поступається параметрами та якістю друку сучасним станціям. За період експлуатації стації суттєвих недоліків виявлено не було, окрім явища механічного резонансу при певному положенні кареток та при деякій швидкості друку. Це явище виникає коли друкується висока модель і центр тяжості принтера зміщується вгору відносно нульової точки позиціонування. Вирішується ця проблема зміною швидкості друку безпосередньо при друці.

В розділі «Огляд існуючих рішень. розробка та аналіз технічного завдання» були розглянуті станції тривимірного друку в ціновому діапазоні 300 американських доларів, на момент виготовлення станції. В ході розглянутих існуючих рішень був зроблений висновок, що жодна з вище перелічених станцій тривимірного друку не відповідає поставленому технічному завданню.

В розділі «Розробка механічних вузлів станції» був вибраний матеріал, розглянуті основні типи кінематики, розглянуті вузли передачі механічного моменту, описані конструкції осі Y,Z та X. Була розроблена станина станції.

В розділі «Апаратне та програмне забезпечення станції» були вибрані електронні модулі керування станції, розроблено структурну та електричну принципову схему, розглянуто два програмного забезпечення та спосіб його налаштування крок за кроком. Розглянуто особливості налаштування станції для використання основних матеріалів для друку.

В розділі «Розрахунки що підтверджують працездатність» було змодельовано тепловий режим роботи крокових двигунів та зроблений розрахунок надійності блоку електроніки. Результати підтвердили працездатність апарату та термін служби не менше 3-х років. В розділі «Охорона праці» було розглянуто такі питання як: визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів, та технічні рішення та організаційні заходи з безпеки та гігієни праці та виробничої санітарії.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАНЬ

1. Основні задачі та способи вирішення основних проблем при проектування та побудові станцій тривимірного друку Барабаш Д.П. Новосад А.А. ХІ Міжнародній Конференції Студентів, Аспірантів Та Молодих Вчених «Перспективні Технології На Основі Новітніх Фізико-Матеріалознавчих Досліджень Та Комп'ютерного Конструювання Матеріалів» м. Київ 2018. С34-35.
2. V5 J-head Extruder Hotend Remote Direct Short Hot End 0.4mm 12V40W Aluminum Kit Part For 1.75mm 3.0mm Filament 3D Printers Parts <https://www.dhgate.com/product/v5-j-head-extruder-hotend-remote-direct-short/428052619.html>
3. Кинематика 3D принтера. На чем определиться при выборе 3D принтера? <https://3dprinter.ua/kinematics-3d-printer/>
4. 3D-принтеры [https://rozetka.com.ua/3d\\_printers/c1593467/tip-93185=3d-printer/?gclid=Cj0KCQjw6IfoBRCiARIsAF6q06sXakFBKIBV5qfHEUxhBilr\\_K-5IYf\\_RphwSskTGIV138O\\_nj6xyOkaAiaEALw\\_wcB](https://rozetka.com.ua/3d_printers/c1593467/tip-93185=3d-printer/?gclid=Cj0KCQjw6IfoBRCiARIsAF6q06sXakFBKIBV5qfHEUxhBilr_K-5IYf_RphwSskTGIV138O_nj6xyOkaAiaEALw_wcB)
5. Валы направляющие, линейные подшипники <https://unitech.com.ua/valy-napravlyayushchie-lineynye-podshipniki/>
6. 3D принтеры и ЧПУ <https://arduino.ua/cat63-3d-printeri>.
7. Мазур Ю.Л. учеб. пос. «Практическое пособие по ученому конструированию» Киев 1992.