

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра електронних  
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра  
**АПАРАТНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ  
3D-ПРОТОТИПУВАННЯ В ЕЛЕКТРОНІЦІ**

студентки гр. ЕІ-71

Д. І. Горбовцової

Науковий керівник,  
ст. викладач, к.ф.-м.н.

І.П. Бурик

Конотоп 2021

## РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є 3D-прототипування та особливості його застосування в електроніці.

Мета роботи полягає у вивченні апаратно-програмного забезпечення для тривимірного проектування окремих складових електронних пристроїв та їх 3D-друку.

У результаті було розроблено модель частини корпусу сенсорної системи детектування диму та проведено її друк на 3D принтері, розглянуто методику створення тривимірної моделі друкованої плати для вузла сповіщення.

Робота складається із вступу, трьох розділів основної частини та висновків. У першому розділі було розглянуто особливості конструкції та принципу дії 3D принтерів та сенсорних систем детектування диму. У другому розділі наведено методику моделювання, особливості програмного забезпечення для 3D-друку. У третьому розділі приведено аналіз результатів 3D-прототипування конструктивних елементів детектору диму.

Робота викладена на 31 сторінці, у тому числі включає 15 рисунків, список цитованої літератури із 26 джерел.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** АПАРАТНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, 3D-ПРОТОТИПУВАННЯ, 3D ДРУК, СЕНСОРНА СИСТЕМА ДЕТЕКТУВАННЯ ДИМУ

## ЗМІСТ

|  | с. |
|--|----|
| <b>ВСТУП</b> .....   | 4  |
| <b>РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ХАРАКТЕРИСТИК ТА СУЧАСНИХ<br/>ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ПРОТОТИПУВАННЯ</b> ..... | 5  |
| 1.1 Сенсорні системи детектування диму .....   | 5  |
| 1.2 Програмне забезпечення для 3D моделювання .....                                    | 8  |
| 1.3 Характеристики 3D-принтера Creality Ender 3 V2.....                                | 9  |
| <b>РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТА</b> .....                                  | 15 |
| 2.1 Конвертування тривимірної моделі.....  | 15 |
| 2.2 Налаштування програмного забезпечення.....   | 16 |
| <b>РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ</b> .....                                     | 21 |
| 3.1 Створення базового об'єкту тривимірної моделі .....                                | 21 |
| 3.2 Проектування друкованої плати .....  | 25 |
| <b>ВИСНОВКИ</b> .....  | 28 |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....  | 29 |
| <b>ДОДАТОК А. СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ ДО РОБОТИ</b> .....                                   | 32 |

## ВСТУП

Прискорити інновації завжди легше за допомогою відповідних інструментів та технологій. Адитивне виробництво вже революціонує різні галузі від автомобільного сектора до медичної галузі, а зокрема і електронну промисловість. 3D-друк надає гнучкість та швидкість, необхідну для створення нових апаратних та електронних продуктів.

Комп'ютери дозволяють створювати чисельні моделі різних об'єктів. З їх допомогою можна побачити ще не існуючий об'єкт, отримати його геометричні характеристики, виконати дослідження його фізичних властивостей шляхом постановки експериментів, внести необхідні зміни, підготувати виробництво і, нарешті, виготовити об'єкт. Інструментом для всього цього служать CAD/CAM/CAE системи. Елементом таких систем є математична модель геометрії проєктованого об'єкту [1].

У роботі з системами 3D моделювання використовують різні області знання. Теоретичною основою геометричного моделювання є диференціальна і аналітична геометрія, топологія і розділи обчислювальної математики.

Геометричне моделювання вивчає методи побудови кривих ліній, поверхонь і твердих тіл, методи виконання над ними різних операцій і методи управління чисельними моделями. 3D-друк створює тривимірні компоненти з моделей комп'ютерного дизайну. Він додає матеріал шар за шаром для створення фізичної частини. За допомогою 3D-друку можна створювати функціональні форми, використовуючи при цьому менше матеріалу, ніж традиційні методи виготовлення [1].

Робота присвячена моделюванню, розробці та виготовленню деталей корпусу з метою їх використання в сенсорних пристроях.

# РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯД ХАРАКТЕРИСТИК ТА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗД-ПРОТОТИПУВАННЯ

### 1.1. Сенсорні системи детектування диму

Детектор диму - це пристрій, який сприймає дим як індикатор пожежі. Комерційні детектори диму подають сигнал на панель управління пожежною сигналізацією як частину системи пожежної сигналізації, в той час як побутові детектори диму, також відомі як димові сигналізації, зазвичай подають звуковий або візуальний сигнал тривоги від самого детектора або декількох детекторів, якщо є кілька пов'язаних детекторів диму [2].

Детектори диму розміщуються в пластикових корпусах, зазвичай мають форму диска діаметром близько 150 мм (6 дюймів) і товщиною 25 мм (1 дюйм), але форма і розмір різняться. Дим може бути виявлений або оптично (фотоелектрично), або за допомогою фізичного процесу (іонізації). Детектори можуть використовувати один з двох або обидва методи зондування. Чутливі сигнали тривоги можуть використовуватися для виявлення і стримування людей, що палять в місцях, де куріння заборонено. Детектори диму у великих комерційних і промислових будівлях зазвичай підключаються до центральної системи пожежної сигналізації. Побутові детектори диму варіюються від окремих блоків живлення від батарей до декількох взаємопов'язаних блоків з резервним живленням від батарей. З взаємопов'язаними блоками, якщо який-небудь з них виявить дим, всі сигнали тривоги спрацюють, навіть якщо в будинку відключилася електрика.

За видами детектори диму поділяються на іонізаційні, фотоелектричні (оптичні), аспіраційні та лінійні [2].

Іонізаційні детектори диму використовують америцій як джерело альфа-частинок. Альфа-частинки з джерела америція іонізують молекули повітря. Це робить деякі частинки позитивно зарядженими, а деякі негативно

зарядженими. Дві заряджені пластини всередині іонізаційного детектора диму створюють потік позитивно і негативно заряджених іонів. Димова сигналізація спрацьовує, коли дим порушує постійний потік іонів (рис. 1.1.).

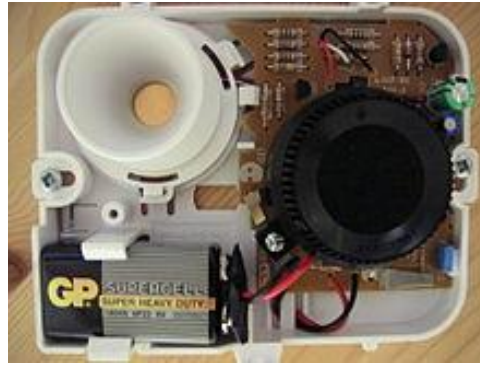


Рис. 1.1. Іонізаційний детектор диму [2]

Оптична димова сигналізація (також звана фотоелектричною) працює за принципом розсіювання світла (рис. 1.2.). Сигналізація містить імпульсний інфрачервоний світлодіод, який кожні 10 секунд посилає промінь світла в камеру датчика для перевірки наявності частинок диму [4].

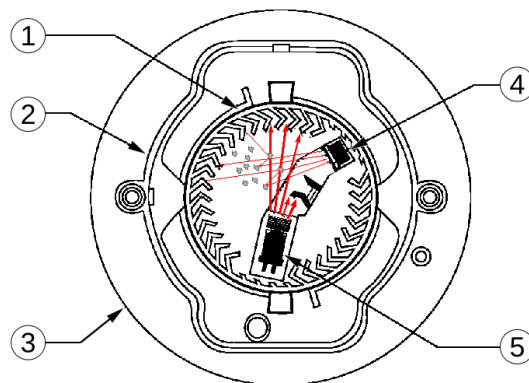


Рис. 1.2. Оптичний детектор диму [2]: 1 - оптична камера; 2 – кришка; 3 - лиття корпусу; 4 - фотодіод (перетворювач); 5- інфрачервоний світло діод

Система виявлення аспірації – це високочутлива форма виявлення пожежі, яка може виявити пожежу на ранній стадії. Система бере проби повітря і перевіряє їх на наявність диму. Повітря всмоктується насосом з різних випробувальних точок. У блоці виявлення зразок повітря проходить через синтетичний двофазний фільтр для видалення частинок пилу та інших забруднень, перш ніж потрапити в камеру виявлення, де лазерне джерело світла перевіряє його на наявність частинок диму [5].

Детектори диму, як правило, доступні за розумною ціною і в більшості господарських і відомчих магазинів майже в кожному місті і населеному пункті. Дослідження показали, що наявність пожежної сигналізації, встановленої в кожній кімнаті будинку, знижує ризик для життя від небезпеки пожежі на цілих 50%. Коли такі заходи безпеки доступні за такими доступними цінами, на них не слід скупитися. Встановлення більше одного детектора диму гарантує, що будь-який небезпечний вогонь буде виявлений, як тільки він почнеться, і негайно попередить найближчу пожежну службу про його виникнення, і може допомогти врятувати життя, особливо якщо пожежа відбувається у великій будівлі або житловому комплексі, де пожежі можуть легко поширюватися і ризик загибелі людей високий [6].

Належне технічне обслуговування детекторів диму є обов'язковим. Детектор диму, який не працює, становить більшу небезпеку, ніж його відсутність взагалі, оскільки він дає відчуття помилкової безпеки. Пожежі найчастіше виникають через куріння сигарет або сигар і залишення їх без нагляду або неналежного гасіння. Тліючий матеріал або меблі можуть бути основним каталізатором полум'я. Деякі електричні пожежі можуть виникати під час стрибків напруги, і з ними необхідно негайно боротися, так як вони можуть бути дуже небезпечними. Якою б не була причина, при пожежі завжди утворюється велика кількість диму, тому виявлення диму є найкращим методом і допомагає в стримуванні небезпеки [6].

Предметом друку став прототип зовнішньої частини корпусу детектора диму.

## 1.2. Програмне забезпечення для 3D моделювання

Використання 3D моделювання надає наступні переваги:

- розглядати моделі з будь-якої точки;
- використовувати автоматичну генерацію основних і додаткових 2D видів;
- домагатися реалістичного тонування;
- перевіряти взаємодії і виконувати інженерні розрахунки;
- додавати джерела освітлення і створювати реалістичну візуалізацію;
- переміщатися навколо моделі;
- отримувати характеристики, необхідні для виготовлення.

У сучасних системах автоматизованого проектування і розрахунку (САПР) використовуються різні методи тривимірного моделювання, у кожного з яких є як свої переваги, так і недоліки.

В САПР AutoCAD реалізована підтримка декількох методів тривимірного моделювання:

### 1. Каркасне моделювання.

Каркасні моделі (wireframe model) складаються з прямолінійних відрізків і сегментів кривих, що утворюють ребра тривимірних об'єктів.

Створити каркасну модель можна, викреслюючи в тривимірному просторі лінії, дуги, полілінії та інші двомірні об'єкти.

### 2. Твердотільне моделювання.

Тверді тіла (solid) AutoCAD складаються з поверхонь і замкнутого в них об'єму. Твердотільні моделі (solid model) створюються або за допомогою спеціалізованих команд твердого моделювання (наприклад, команд створення паралелепіпеда, конуса, циліндра), або за допомогою переміщення уздовж напрямку двомірних об'єктів, а також їх обертання. У сучасній версії AutoCAD метод твердотільного моделювання є основним, тому саме він розуміється під моделюванням (modeling).

### 3. Поверхневе моделювання.



Поверхневі моделі (surface model) складаються з ребер (edge) і укладених між ними поверхонь.

Твердотільна модель являє собою 3D тіло, що володіє такими властивостями, як маса, об'єм, центр ваги і моменти інерції.

При роботі з 3D об'єктом використовуються наступні можливості:

- робота з 3D робочою площиною (ПСК).
- поворот виду для відображення моделі з різних точок огляду.
- вивід декількох видових екранів.

### **1.3. Характеристики 3D-принтера Creality Ender 3 V2**

3D принтер оснащений кольоровим HD екраном з діагоналлю 4,3 дюйма. Точність: 0,1 мм, висота шару: 0,1 мм, одиночний тип екструдера, діаметр сопла: 0,4 мм, максимальний робочий об'єм: 220 × 220 × 250 мм, максимальна температура екструдера: +255 °С, платформа друку з підігрівом, максимальна температура підігрітої платформи: +100 °С, максимальна швидкість друку: 180 мм / с, відкрита камера друку, ручне вимірювання платформи [7].

Переріз філаменту: 1,75 мм, підтримуються сторонні філаменти, сумісні матеріали: PLA, ABS, PETG, TPU:

#### **1. Полілактид (ПЛА, PLA)**

ПЛА – біорозкладний, біосумісний, термопластичний, аліфатичний поліефір, мономером якого є молочна кислота. Сировиною для виробництва служать щорічно поновлювані ресурси, такі як кукурудза і цукровий очерет. Використовується для виробництва виробів з коротким терміном служби (харчова упаковка, одноразовий посуд, пакети, різна тара), а також в медицині, для виробництва хірургічних ниток і штифтів (зазвичай даний матеріал проходить спеціальну медичну сертифікацію) [8].

І молочна кислота, і лактид виявляють оптичну активність, тобто існують у вигляді двох L- і D- стерео-ізомерів, є дзеркальним відображенням

один одного. Варіюючи відносний вміст цих форм в полілактиді, можна задавати властивості одержуваного полімеру, а також отримувати різні класи полілактидних матеріалів. Полілактид з 100% L-лактид (L-ПЛА) має високу ступінь стереорегулярності, що надає йому кристалність. Температура склування L-ПЛА: 54-58 ° С, температура плавлення 170-180 ° С, стрибок теплоємності 100% аморфного ПЛА 0,54 Дж / (г · К). Використовуючи при полімеризації суміш D- і L- форм лактид, отримують аморфний полілактид (L, D-ПЛА), температура склування якого становить 50-53 ° С, плавлення відсутня, так як немає кристалічної фази. [8]

Найвища температура плавлення у стереокомплексів, що складається з чистого L-ПЛА і чистого D-ПЛА. Два ланцюжка сплітаються, і утворюються додаткові взаємодії між ними, що ведуть до підвищення температури плавлення (до 220 ° С).

## 2. Сополімер акрилонітрил-бутадієн-стирил (АБС, ABS)

АБС – пластик що отримують шляхом кополімеризації стиролу з акрилонітрилом в присутності бутадієнового каучуку. АБС-пластик це інженерний пластик, що володіє багатьма важливими характеристиками, головною з яких можна назвати високу ударостійкість, механічну міцність і жорсткість. За цими показниками пластикові листи АБС значно перевершують навіть ударостійкий полістирол, не кажучи вже про інші види пластмас (той же лист ПП або поліетилен, ПВХ).

Головною характеристикою цього пластика є його висока механічна міцність і ударостійкість. Навіть при високому механічному навантаженні (наприклад: удар кувалдою) виріб з АБС-пластика деформується, але не тріскається і не руйнується. І, загалом-то, деформована ділянка легко і швидко відновлюється. З будь-яким іншим пластиком зробити те ж саме не вийде - він просто зруйнується. [9]

Разом з тим, цей пластик володіє достатньою еластичністю і невеликою вагою. Висока зносостійкість, стійкість до високих і низьких температур - все

це теж про нього. ABS витримує навіть короткочасний нагрів до + 100С, а тривале його використання можливо при температурі до + 80С [9].

ABS-пластики стійкі до впливу кислот, лугів, неорганічних солей, до жирів, вуглеводнів і мастил. Але варто пам'ятати, що цей вид пластмаси має невисоку стійкість до ультрафіолету, атмосферних впливів, добре розчиняється в ацетоні, бензолі, ефірі, деяких інших розчинниках. Втім, багато з цих недоліків усуваються шляхом модифікації вихідного матеріалу. [9]

### 3. Термопластичний поліуретан (ТПУ, TPU)

TPU (термопластичний поліуретан) - це гнучкий, стійкий до стирання термопластик. Є вельми поширеною формою пружного полімеру, або термопластичного еластомеру (TPE). Являє собою суміш твердого пластика і гуми. Використовується в ряді виробничих процесів як для побутового, так і для промислового використання. У певних сумішах він може стати дуже м'яким. Як один з матеріалів 3д друку TPU (ТПУ) має багато переваг за характеристиками. Коли справа доходить до 3D-друку, деталі TPU довговічні. Здатні витримувати температуру навколишнього середовища до 80 градусів Цельсія. [10]

Нитка з TPU стійка до стирання, витримує удари і стійка до багатьох хімічних речовин. Він універсальний і використовується в багатьох галузях промисловості. Існують різні версії матеріалу TPU. [10]

Але в основному його можна класифікувати до двох типів відомих як поліефірний поліуретан і поліестерний поліуретан. Причому обидва мають різні характеристики, які можуть бути пристосовані до конкретної потреби.

### 4. Гліколізований поліестер (PETG)

PETG, або гліколізований поліестер - це термопластик, широко використовуваний на ринку адитивного виробництва, що поєднує в собі простоту 3D-друку PLA і міцність ABS. Це аморфний пластик, який може бути на 100% придатний для вторинної переробки, з тим же хімічним

складом, що і поліетилентерефталат, більш відомий під аббревіатурою PET. Гліколь був доданий, щоб зменшити його крихкість [11].

Нитка PETG - це відмінний матеріал для 3D-друку. Це надзвичайно високоміцна нитка і може забезпечити дуже міцний друк. Він має дуже низьку усадку, що робить його ідеальним для великих плоских поверхонь. PETG є ідеальною альтернативою ABS і PLA, пропонуючи більш високу міцність, меншу усадку і більш гладку обробку [12].

PETG безпечний для харчових продуктів і шкіри, тому його можна використовувати в медичних і харчових цілях. У медичних цілях він витримує методи радіаційної та хімічної стерилізації без зміни кольору. Він є хімічно стійким і не гігроскопічним [13].

Низька швидкість усадки PETG робить його ідеальним для великих друків або там, де допуск може бути проблемою.



Рис.1.3. 3D-принтер Creality Ender 3 V2 [7]

Переваги моделі [7]:

- досить великий об'єм друку;
- високонадійний в роботі;
- відмінна деталізація друку;
- сучасне програмне забезпечення;

- ефективно охолодження (пасивне);
- високоміцний корпусу;
- сумісність з операційними системами Windows і MacOS;
- легкість і мобільність;
- доступна вартість;
- працює з різними видами пластику.

Зручність користування забезпечує інформативний РК дисплей. Роз'єм для SD карти дозволяє зберігати віртуальні моделі на знімному носії та друкувати їх без підключення пристрою до комп'ютера. Параметри 3D-принтера Creality Ender 3 V2 [7] приведені у табл.1.1

*Таблиця 1.1.*

### **Параметри 3D принтера Creality Ender 3 V2**

|   |                       |
|---|-----------------------|
| Область друку, мм<br>(Ширина x Глибина x Висота)        | 220 × 220 × 250       |
| Габарити 3D принтера, мм<br>(Ширина x Глибина x Висота) | 475x470x3620          |
| Діаметр використовуваної нитки, мм                      | 1,75                  |
| Технологія друку  | FDM                   |
| Кількість друкуючих головок, шт.                        | 1                     |
| Інтерфейси  | USB, SD               |
| Вага 3D принтера, кг                                    | 7,8                   |
| Матеріал для друку                                      | PLA, ABS, PETG, TPU   |
| Мінімальна висота шару, мм                              | 0,02                  |
| Швидкість друку, мм / с                                 | 180                   |
| Операційні системи                                      | Windows, Linux, MacOS |
| Наявність дисплея                                       | Є                     |
| Обсяг друку, л  | 10                    |
| Формат файлу  | gcode                 |

З метою вибору матеріалу був проведений огляд існуючих пластиків для друку на 3D принтері. Як приклад розглянемо (інженерний) полімерний матеріал – Nylon (РА6, ПА6). Технічні характеристики наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

### Технічні характеристики Nylon

| Характеристика                  | Значення                |
|---------------------------------|-------------------------|
| Щільність                       | 1,134 г/см <sup>3</sup> |
| Гігроскопічність                | 3,09%                   |
| Міцність на розрив              | 65,99 МПа               |
| Відносне подовження при розриві | 300%                    |
| Температура плавлення           | 218°C                   |
| Температура екструзії           | 235-260°C               |
| Температура піролізу            | 350-360°C               |

Nylon – жорсткий пластик з високою міцністю на розрив і стійкістю до зносу. Nylon відрізняється високою температурою розм'якшення і еластичністю при низьких температурах, витримує стерилізацію паром з температурою до 140 °С.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТА

#### 2.1. Конвертування тривимірної моделі

Для друку 3D моделі з комп'ютера ми попередньо, створили файл на мові .gcode. Gcode-файл містить всі інструкції, необхідні принтеру для правильного друку нашого об'єкта (необхідні переміщення, температура, кількість екструдованого пластика).

G-код – загальна назва мови програмування, регламентованого стандартом ISO 6983-1: 1982, стандартом ГОСТ 20999-83.

В цілому програма, написана з використанням G-коду, складається з кадрів, кожен кадр містить набір команд управління.

Команди управління можуть слідувати в кадрі в будь-якому порядку, але зазвичай в цілях зручності спочатку йдуть підготовчі команди, потім команди управління переміщенням, слідом команди вибору режимів обробки матеріалу і завершують кадр – технологічні команди.

Починається і закінчується текст керуючої програми символом «%».

Далі може слідувати назва програми після символу «O».

Коментарі в тексті керуючої програми розміщуються або в круглих дужках, або передують символом «;».

Кожна керуюча команда може мати один або кілька параметрів, які позначаються буквами латинського алфавіту.

G-код дозволяє використовувати наступні основні параметри для керуючих команд:

X – координата точки траєкторії по осі X (наприклад, G00 X25.4 Y2.3);

Y – координата точки траєкторії по осі Y (наприклад, G01 X25.4 Y2.3 Z0.2);

Z – координата точки траєкторії по осі Z (наприклад, G01 X25.4 Y2.3 Z0.2);

P – параметр команди G04 (наприклад, P120);

F – швидкість робочої подачі (наприклад, G01 X10.5 F75);

S – швидкість обертання шпинделя (наприклад, S1500 M3);

R – параметр стандартного циклу або радіус дуги;

H – параметр корекції обраного інструменту;

I,J,K – параметри дуги при круговій інтерполяції (наприклад, G03 X5 Y5 I0 J0).

Існують різні програми, що дозволяють конвертувати в Gcode-файли з розширенням .stl (стандартний формат, який використовується для зберігання тривимірних моделей). В нашій роботі ми використовували Cura 3D. Cura 3D - це програма-слайсер для 3D-принтерів, яка бере 3D-модель і нарізає її на шари, щоб отримати файл, відомий як G-Code, в якому містяться коди, які розуміє 3D-принтер [15].

Після імпорту 3D моделі і перевірки її проекції на віртуальному столі, при необхідності змінюємо її положення, розмір. Зміни вносили за допомогою кнопок, розташованих на панелі керування програми.

Після надання об'єкту необхідного положення, користуючись кнопкою Export G-code, об'єкт був збережений на SD-карті принтера.

Після завершення генерації G-code файлу, SD-карту бала поміщена в Witbox. Користуючись меню принтера був обраний Gcode-файлу, збережений для друку.

Вся 3D-модель була створена з нуля у програмному середовищі Компас 3D. Це сімейство систем автоматизованого проектування з можливостями оформлення проектної та конструкторської документації відповідно до стандартів серії ЕСКД і СПДС. Розробляється російською компанією «Аскон». Назва лінійки є акронімом від фрази «комплекс автоматизованих систем» [16].

## **2.2. Налаштування програмного забезпечення**

Розглянемо особливості налаштування програмного коду на прикладі принтерів серії Ender та популярної програми Cura [18].



Найпопулярніше сімейство 3D-принтерів усіх часів, Creality's Ender 3, Ender 3 Pro та Ender 3 V2 – це доступна точка входу у світ тривимірного друку. Порівнявшись із найдорожчими принтерами за швидкістю, якістю та обсягом.

Природно, що принтер за цією ціною вимагає вирівнювання стола, ручного калібрування та, можливо, декількох модифікацій.

В програмі Cura можна отримати налаштування за замовчуванням, з яких можна створити свій ідеальний профіль.

Ultimaker Cura - це програмний засіб з відкритим кодом, який пропонує безперебійну інтеграцію з 3D-принтером. Це один з найкращих варіантів для початківців, які не хочуть витратити великі гроші на платне програмне забезпечення. Окрім цього, режим налаштування також пропонує дуже велику кількість гнучких функцій для задоволення різних вимог та для поглибленого контролю[19].

В основі Ultimaker Cura лежить його потужний механізм нарізки з відкритим кодом, створений завдяки багаторічній власній розробці та внеску користувачів. Профілі намірів друкують конкретні програми одним натисканням кнопки. Рекомендовані профілі, протестовані протягом тисяч годин, забезпечують надійні результати. Спеціальний режим надає понад 400 налаштувань для детального контролю. Регулярні оновлення постійно покращують функції та досвід друку [20].

Важливо враховувати адаптацію до окремих ниток розжарювання та роздільної здатності. За замовчуванням все створюється для формату PLA, але також є налаштування для ABS та PETG.

Одне з найважливіших налаштувань – це температура. Неправильне встановлення температури може спричинити надмірну або недостатню екструзію, згортання, а також краплі або пошкодження. Більшість ниток PLA потребують щонайменше 180 ° C для плавної екструзії, але вони можуть розтягнутися до 220 ° C, перш ніж надмірне екструдкування стане проблемою. Ідеальні температури варіюються залежно від матеріалів (ABS: 220-250 ° C,

PETG: 220-245 °C), але марка нитки також може змінити ситуацію. Випробовуючи нову нитку розжарювання, чудовою ідеєю буде надрукувати температурну башту [18].

Загалом, температура 200 ° C рекомендована для PLA. Температура стола також сильно залежить від матеріалу. PLA насправді не вимагає нагрівання, особливо якщо використовується щось для зчеплення зі столом, наприклад, лак для волосся або клей. В ідеалі, температура у стола завжди повинна бути вищою, ніж температура в приміщенні. Температура шару для ABS повинна бути значно вищою, ніж для PLA, близько 110 ° C [17].

Пошук ідеальної швидкості друку – це збалансування загального часу на завдання із якістю друку. Зі збільшенням швидкості друку, на жаль, якість друку падає. Це пов'язано з тим, що повільніший гарячий кінець на тонших деталях набагато рідше щось зіпсує. З іншого боку, ніхто не хоче чекати два тижні на один принт.

У середньому більшість друкують PLA від 45 до 65 мм/с. Цю швидкість можна збільшити, використовуючи OctoPrint та альтернативні прошивки, такі як Klipper або Marlin. Рекомендована стартова швидкість 60 мм/с і зменшити налаштування для відбитків, що вимагають більшого рівня деталізації. ABS вимагає приблизно тієї ж швидкості друку, що і PLA (ідеально від 45 до 65 мм / с). Гнучкі матеріали повинні друкуватися значно повільніше. Швидкість друку від 20 мм / с до 40 мм / с повинна значно збільшити шанси на успіх. Оскільки PETG трохи витриваліший, ніж PLA, для боротьби з цим, можливо, захочеться зменшити швидкість друку приблизно на 20 мм / с. Від 30 до 55 мм / с добре працює. Найкраще починати з нижнього кінця шкали і допрацьовувати [18].

Висоту шару можна було б зазначати детально, і результат був би однаковим. Половлення висоти шару вдвічі збільшує роздільну здатність друку вдвічі. Іншими словами, зменшення вдвічі висоти шару вміщує вдвічі більше шарів в один принт [18]. Зворотне до більшої роздільної здатності

значно менший час друку. Пошук ідеального поєднання швидкості друку та висоти шару є важливим для якісних результатів у менші часові рамки.

Висоту шару можна розбити на “магічні цифри”. Ці магічні числа по суті є висотами шарів, які найкраще працюють на певному принтері. Втягування – це інструмент, який реверсує двигун екструдера, щоб послабити тиск на сопло під час руху. Без тиску на сопло не слід видавлювати надлишки матеріалу [18].

Деякий час ідеальне налаштування було важко знайти, і Ender 3 став відомим завдяки своєму друку небажаних «павутинок» в місцях переміщення сопла від одної частини деталі до іншої. Зараз це давно в минулому, і користувачі працювали над тим, щоб знайти ідеальне налаштування втягування для PLA, відстань 6 мм зі швидкістю 25 мм/с. PETG потребує меншу відстань втягування, в ідеалі близько 4 мм. ABS виграє відстань втягування 6 мм, але швидше втягування зі швидкістю 40 мм в секунду [18].

Заповнення впливає як на міцність, так і на вагу друку. Не існує ідеального налаштування для заповнення, оскільки це повністю залежить від мети друку. Для легких декоративних результатів можна зменшити заповнення до 5% або 10%. Це зменшить час друку та зробить друк значно легшим. Забезпечення ефективного приклеювання першого шару до друкарського стола має першочергове значення для гарної якості друку. Погана адгезія на столі призведе до того, що результат майже щоразу буде зіпсованим. Таким чином, слід змінити початкові налаштування шару, щоб виріб не розшаровувався під час друку, що витрачає значну кількість часу та ниток [18].

Початкову висоту шару можна збільшити до 0,20 або 0,24 мм, щоб отримати товстіший перший шар і поліпшити зчеплення з шаром. Ці початкові шари також повинні бути трохи повільнішими, ніж звичайна швидкість друку. Менша швидкість дає першим шарам більше часу для склеювання та приклеювання до друкарського столу [18].

На рис 2.1 наведено послідовність типових операцій для 3D-друку.

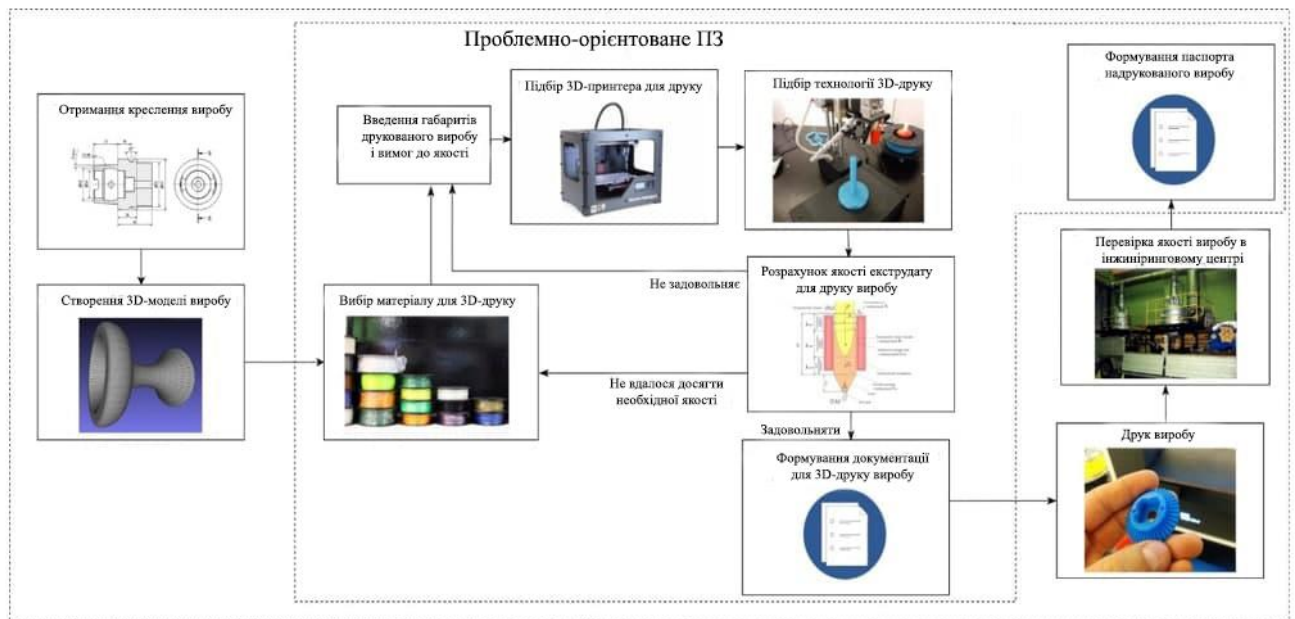


Рис.2.1. Схема життєвого циклу 3D-друку [17]

Розглянемо типові програми, які використовувалися для 3D-моделювання.

TinkerCAD-це онлайн сервіс, який зараз належить найвідомішій компанії світу CAD – систем-Autodesk. TinkerCAD вже давно відомий багатьом як просте і безкоштовне середовище для навчання 3D-моделювання. З її допомогою можна досить легко створювати свої моделі і відправляти їх на 3D-друк [21].

OrCAD-пакет комп'ютерних програм, призначений для автоматизації проектування електроніки. Використовується в основному для створення електронних версій друкованих плат для виробництва друкованих плат, а також для виробництва електронних схем та їх моделювання. [22]

Altium Designer - комплексна система автоматизованого проектування електронних модулів на базі друкованих плат, яка дозволяє виконувати повний спектр проектних завдань: від створення концепції функціонування до випуску повного комплексу конструкторських і виробничих даних.

Широкий набір додаткових програмних модулів (Extensions) дозволяє розширити базові можливості рішень Altium в безлічі аспектів [23].

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

#### 3.1 Створення базового об'єкту тривимірної моделі

##### 1. Виготовлення 3D-моделі в програмі Компас-3D (рис. 3.1.).

Система «Компас-3D» призначена для створення тривимірних асоціативних моделей окремих деталей (в тому числі, деталей, що формуються шляхом листового матеріалу завдяки його гнучкості) і складальних одиниць, що містять як оригінальні, так і стандартизовані конструктивні елементи. Параметрична технологія дозволяє швидко одержувати моделі типових виробів на основі проєктованого раніше прототипу. Численні сервісні функції полегшують рішення допоміжних завдань проєктування і обслуговування виробництва [24].

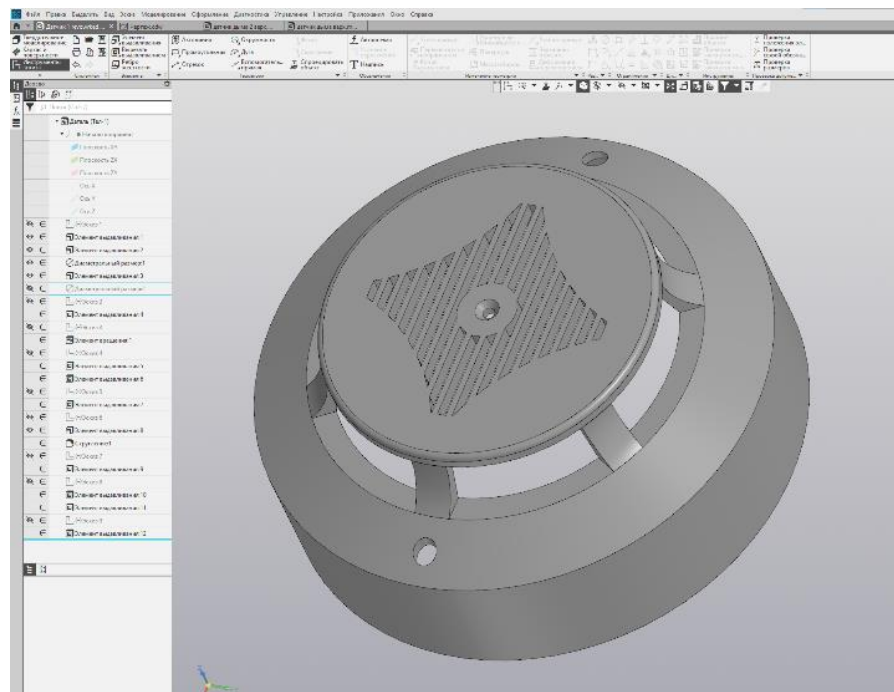
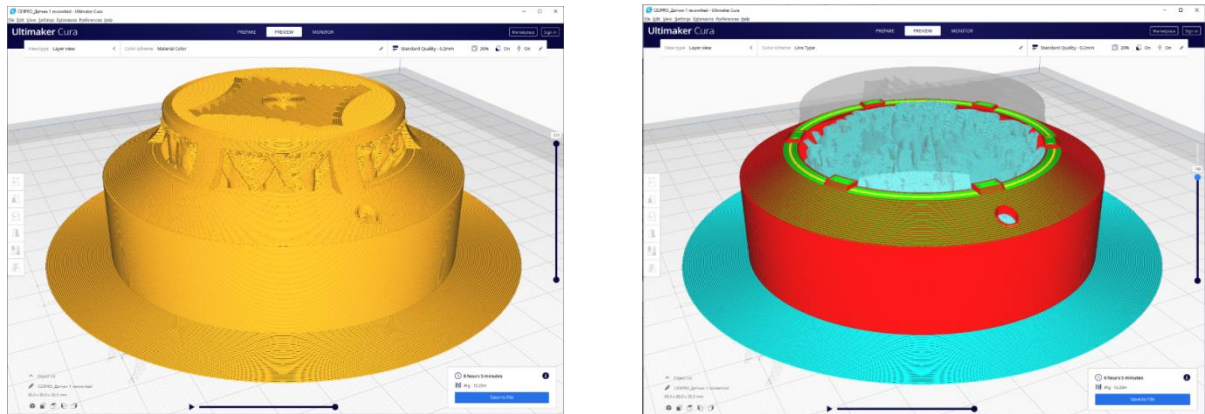


Рис.3.1. 3D-модель прототипу корпусу детектора диму

2. Попередній перегляд та налаштування печаті (температура, допоміжні конструкції для підтримки, масштаб, розмір і тд.) за допомогою програми Ultimaker Cura (рис. 3.2.).



а

б

Рис.3.2. Зображення налаштування допоміжні конструкції для друку в UI (а) та перегляд внутрішньої допоміжної конструкції для друку в Ultimaker Cura (б)

3. Завантаження .stl файлу на microSD, та монтування до 3D-принтеру.
4. Очищення поверхні.
5. Розігрів 3D-принтеру (поверхні для друку та сопла) до 220°C.
6. Калібрування поверхні 3D-принтеру. Для цього було використано окремо придбаний датчик автокалібрування (який не входить до комплектації принтеру). BLTouch - це тип напівпровідникового датчиком і є електронним компонентом для 3D-принтерів [24].

BLTouch - це датчик автоматичного вирівнювання для 3D-принтерів, який може точно вимірювати нахил поверхні печатного столу. Він може працювати з будь-якими видами постільних матеріалів, такими як дерево, метали тощо [25].

Основні функції та елементи керування BLTouch такі ж, як і звичайний датчик автоматичного вирівнювання стола, складається з RC сервоприводу та

мікроперемикача. Таким чином, BLTouch можна застосовувати майже на кожній дошці [25].

BLTouch виконаний з простою структурою та високою точністю завдяки використанню поступово розробленого соленоїда та датчика Холла. Він націлений на зручність користувача та приємний друк, додавши безліч розумних функцій, таких як самотестування, сигналізація, спрацювання сигналу тривоги та режим сенсорного перемикача, синій світлодіод для індикації сервосигналу та тестування Z-зонда (Zmin) [25].

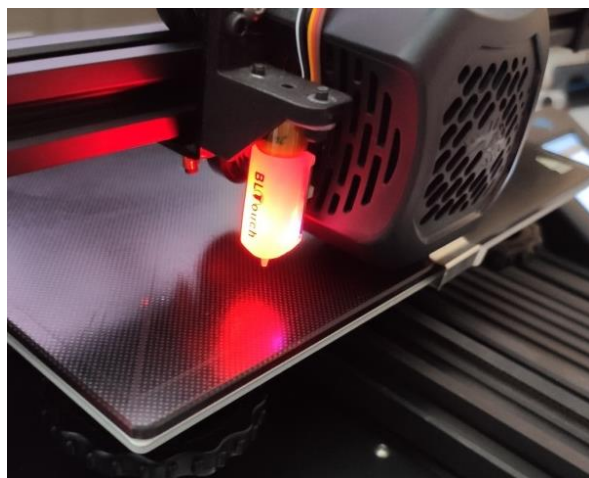


Рис.3.4. Зображення датчику автокалібрування BLTouch

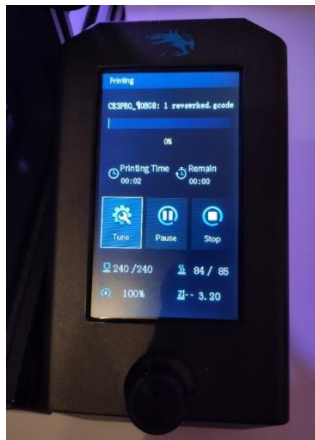
7. Тестова печать – потрібна для уникнення проблем з основним друком.



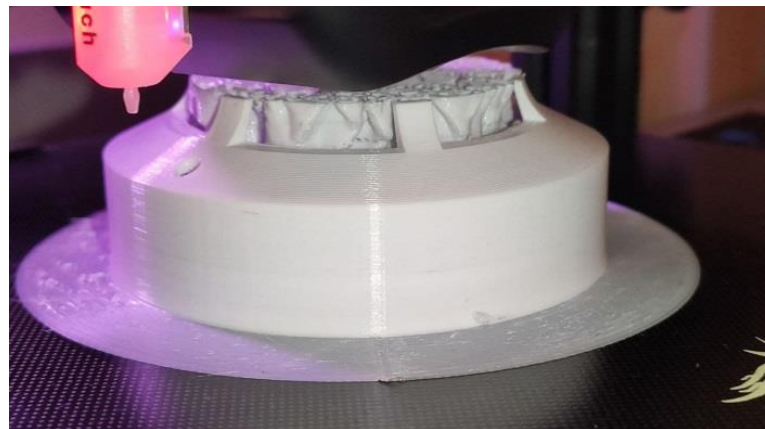
Рис.3.5. Зображення друку тестової фігури

8. Друк прототипу зовнішньої частини корпусу детектора диму. Цей процес тривав близько шести годин при близькій до максимальної температурі аби досягти кращого зчеплення між шарами. Наприкінці друку через те, що пластик прилипає до робочого столу, довелося зачекати повного охолодження прототипу, а потім обережно зняти його друк. Особливістю даного друку є:

- міцність матеріалу;
- унікалізація деталі;
- довговічність матеріалу;
- стійкий до лугів, кислот, води;
- можна використати як заміну зламаного корпусу;
- придатний для конструювання детектора диму в домашніх умовах (яким потім можна користуватися в системі розумного будинку).



а



б

Рис.3.6. Зображення налаштування з екрану (а) та процесу друку прототипу зовнішньої частини корпусу детектора диму (б)



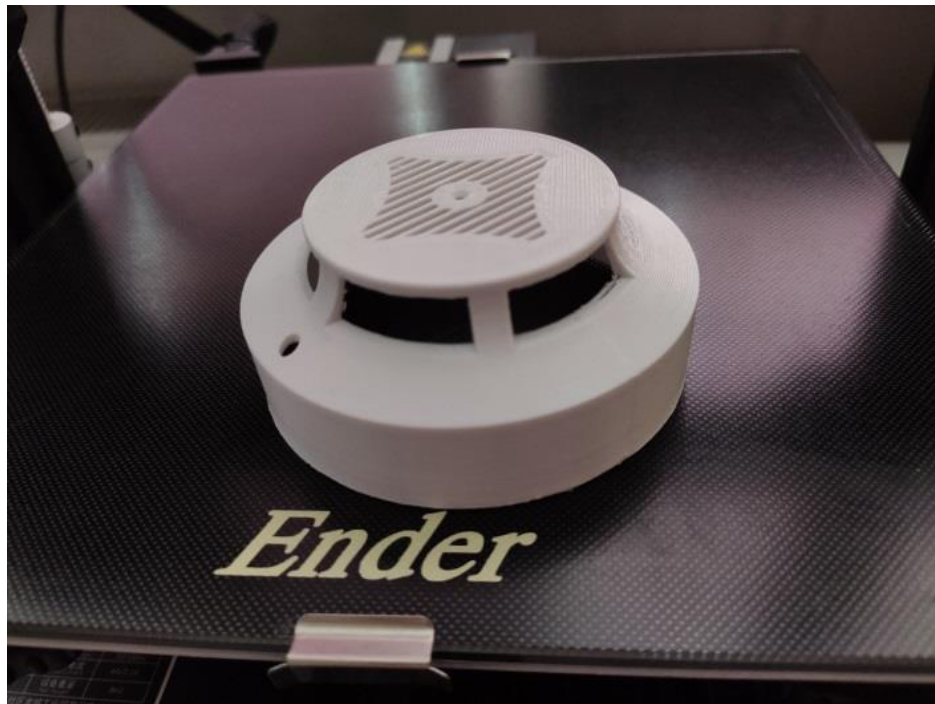


Рис.3.7. Зовнішній вигляд прототипу зовнішньої частини корпусу детектора диму

### 3.2. Проектування друкованої плати

Одним із завдань, що часто виникають при розробці виробів електронної техніки, проектування комутаційних виробів, що з'єднують безліч компонентів між собою. Зручним і основним способом, що дозволяє їх з'єднати в мінімальному обсязі є так звана друкована плата [26].

Існує безліч комерційних програмних пакетів різного ступеня складності та вартості, включаючи OrCAD, AltiumDesigner. Однак, в останнім часом у зв'язку з розвитком WEB-технологій, з'явилися можливості проектувати друковані плати Online. Одним з інноваційних проектів, в цьому напрямку є Upverter. WEB додаток підтримує спільну роботу над проектом, використовує хмарне зберігання даних, надає доступ до багатой бібліотеки електронних компонентів [26].

Для роботи програми достатньо мати лише браузер підключений до мережі Інтернет. У 2017 році проект був придбаний AltiumDesigner. На думку творців, Upverter дозволяє істотно прискорити процес проектування ПЗ порівнянні зі стаціонарними програмами, які, найчастіше "прив'язані" до єдиного комп'ютера і займають до 20 Гбайт дискового простору [26].

Проектування простого дзвінка на мультівібраторі. Орієнтовна електрична схема рис 3.8. Напруга 220 В змінно го струму подається на клеми друкованої плати, коли кнопка дзвінка натиснута [26].

На елементах R1, C1, VD1 реалізований однонапівперіодний випрямляч. ККД такого рішення дуже низький (менше 10%), однак, якщо врахувати, що кнопка дзвінка працює не більше 10 хвилин на рік, то рішення не економити електроенергію виглядає виправданим. На елементах R2, VD2, C2 реалізований простий стабілізатор. Решта елементів – мультівібратор на біполярних транзисторах і власне Buzzer – п'єзокерамічний динамік, що видає доста точно гучний звук [26].

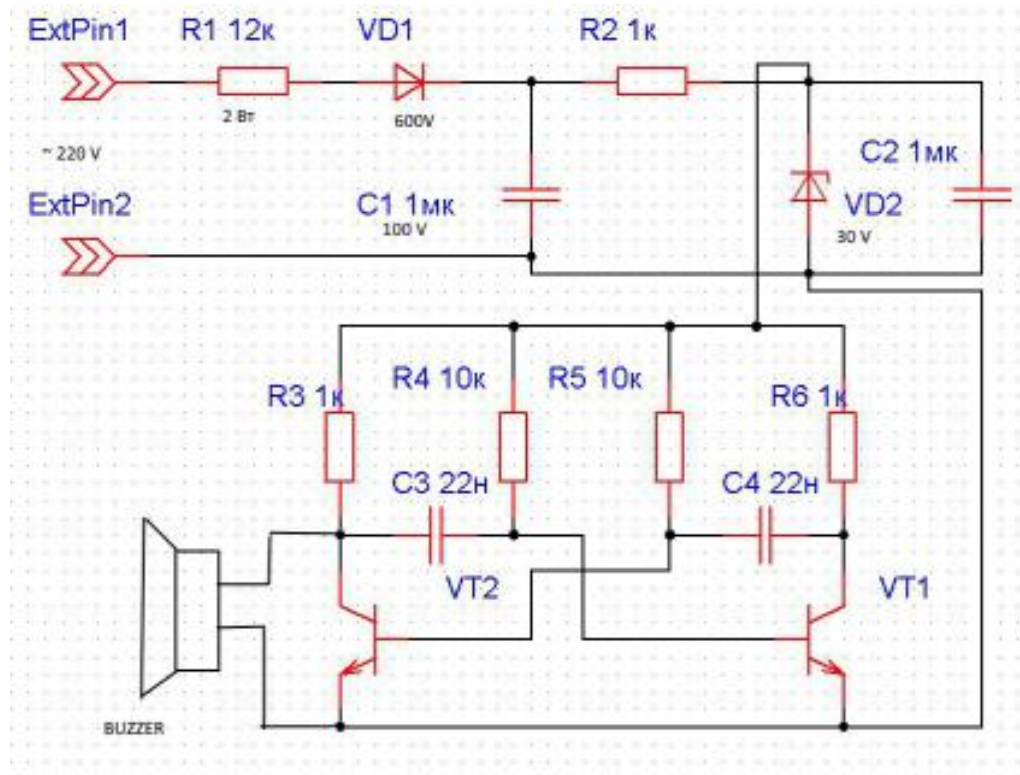


Рис.3.8. Принципова електрична схема пристрою сигналізації [26]

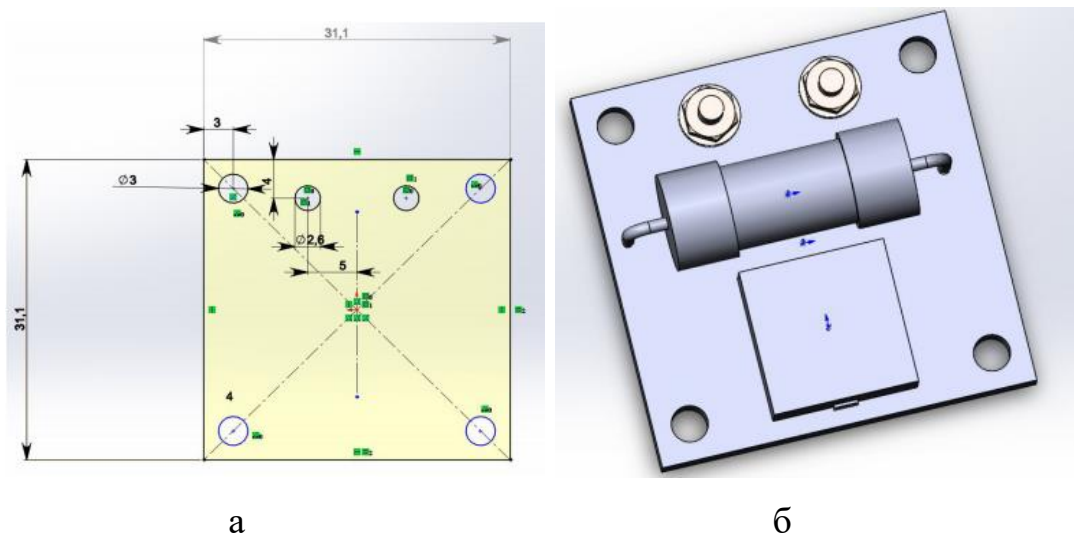


Рис.3.9. Геометрія друкованої плати (а) та її 3D модель з елементами (б)

Порядок моделювання друкованої плати наступний [26]:

1. Створення принципової електричної схеми в редакторі схем SCHEMATIC.
2. Реєстрація, для цього достатньо вказати дійсну адресу електронної пошти. Використання Upverter у вільному доступі.
3. Створення проекту.
4. Запуск середовища проектування Upverter.
5. Створення контуру друкованої плати в редакторі плати PCB LAYOUT. Використовуються геометричні розміри плати, які приведені на рис.3.9а.
6. Компоненти, які використані для створення схем присутні у бібліотеці і мають не тільки схемний символ, але і Footprint-спеціальну друковану область компонента на поверхні.
8. Розташовуємо великі компоненти так як показано на рис.3.9б і решта в зручному порядку.
7. Створення доріжок які з'єднують провідниками виводи компонентів.
8. Генерування отриманої схеми в форматі \*.svg і набираємо документи для виробництва друкованої плати у форматі gerber.

## ВИСНОВКИ

1. 3D-друк дозволяє створити тривимірні компоненти з моделей комп'ютерного дизайну; адитивні технології полягають у додаванні матеріалу шар за шаром для створення фізичного об'єкта; існує низка різного прикладного програмного забезпечення для 3D-принтерів, зокрема з відкритим програмним кодом; для отримання якісних деталей при використанні потрібно провести налаштування та калібрувати відповідно технічної інструкції пристрою.

2. В роботі було вивчено особливості процесу 3D-друку на принтері Creality Ender 3 V2; за розробленими технічними кресленнями створено прототип корпусу детектору диму; останній сприймає дим як індикатор пожежі; дим може бути виявлений або оптично (фотоелектрично), або за допомогою фізичного процесу (іонізації).

3. Розглянуто порядок 3D-проективання друкованих плат в середовищі проектування Upverter та розробки принципових електричних схем в редакторі схем SCHEMATIC плати сигналізатора; вивчені засоби 3D-протипування дозволили провести модифікацію окремих вузлів сенсорної системи детектування диму та були реалізовані на практиці.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пальчевський Б.О. Системи 3D моделювання/ Пальчевський Б.О., Валецький Б.П., Вараніцький Т. Л.- Луцьк: Вид-во Луцького національного технічного університету, 2016.- 176с.
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Smoke\\_detector](https://en.wikipedia.org/wiki/Smoke_detector) - Smoke detector, дата доступу: 06.04.2021р.
3. <https://www.epa.gov/radtown/americium-ionization-smoke-detectors> - About Americium in Ionization Smoke Detectors, дата доступу: 06.04.2021р.
4. <https://www.safelincs.co.uk/smoke-alarm-types-optical-alarms-overview/> - How Optical Smoke Alarms Work, дата доступу: 06.04.2021р.
5. <https://www.saval.nl/en/products/aspiration-detection/> - Aspiration detection, дата доступу: 20.04.2021р.
6. <https://safetouch.com/the-importance-of-a-working-smoke-detector/> - The Importance of a Working Smoke Detector, дата доступу: 20.04.2021р.
7. <https://3dtrade.com.ua/> - Creality Ender 3 V2, дата доступу: 20.04.2021р.
8. <https://ru.wikipedia.org/wiki/> - Полилактид, дата доступу: 06.04.2021р.
9. <https://pplist.ru/infopolimer/abs-plastik/chto-takoe-abs-plastik.html> - Что такое АБС-пластик, дата доступу: 06.05.2021р.
10. <https://ad-ma.ru/tpu/> - TPU (термопластичный полиуретан) — материал для 3D-печати, дата доступу: 06.05.2021р.
11. <https://www.3dnatives.com/en/petg-3d-printing-guide> - PETG plastic for 3D printer, дата доступу: 18.04.2021р.
12. <https://airwolf3d.com/2015/12/05/3d-printing-with-petg-tips-and-tricks/> - 3D Printing with PETG: Tips and Tricks, дата доступу: 18.04.2021р.
13. <https://www.3dnatives.com/en/petg-3d-printing-guide> - PETG plastic for 3D printer, дата доступу: 18.04.2021р.
14. <http://htr.in.ua/polivinilkhloryd> - Полівінілхлорид, дата доступу: 06.05.2021р.

15. <https://ru.wikipedia.org/wiki/> - Компас (САПР), дата доступа: 20.05.2021р.
16. <https://3dpt.ru/blogs/support/cura> - Учебник по Cura 3D — как пользоваться программой-слайсером Cura, дата доступа: 22.05.2021р.
17. Учебно-исследовательский комплекс для автоматизированного проектирования на базе аддитивных полимерных технологий/ Зренин А. С.// Работа выполнена в рамках инициативной прикладной НИР кафедры САПРиУ на тему «Автоматизированное проектирование на базе аддитивных технологий различных типов».- Санкт-Петербург:2017.-с.6.
18. <https://all3dp.com/2/ender-3-cura-settings-best-ender-3-cura-profile/> - Ender 3 (Pro/V2) Cura Settings: Best Ender 3 Cura Profile, дата доступа: 10.05.2021р.
19. <https://www.adamenfroy.com/3d-printing-software> - Ultimaker Cura, дата доступа: 10.05.2021р.
20. <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura> Ultimaker Cura, дата доступа: 10.05.2021р.
21. <https://miem.hse.ru/mirror/pubs/share/> - TinkerCAD, дата доступа: 10.05.2021р.
22. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/> - OrCAD, дата доступа: 10.05.2021р.
23. <https://ascon.ru/products/1130/review/> - Altium Designer, дата доступа: 10.05.2021р.
24. <https://ru.wikipedia.org/wiki/> - Компас-3D, дата доступа: 20.05.2021 р.
25. <https://www.antclabs.com/bltouch> - BLTouch: Auto Bed Leveling Sensor for 3D Printers, дата доступа: 20.05.2021р.
26. Тановицкий Ю.Н. Проектирование электронной компонентной базы/ Ю.Н. Тановицкий. – Томск: ТУСУР, 2018. – 12с.

**СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ ДО РОБОТИ**