

УДК 681.6 : 004.9

Сальніков О.В.<sup>1</sup>, Мартинюк О.С.<sup>2</sup>, Шолом П.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Комунальний заклад «Луцький навчально-виховний комплекс «Загальноосвітня школа І-ІІІ ступенів № 22 – ліцей» Луцької міської ради»

<sup>2</sup>Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки

<sup>3</sup>Луцький національний технічний університет

## ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ 3D-ПРИНТЕРА

**Сальніков О.В., Мартинюк О.С., Шолом П.С. Технології виготовлення та використання 3D-принтера.**

Обґрунтовано перспективи впровадження засобів 3D-моделювання та проведено апробацію технології, доступної для самостійного виготовлення та використання базового зразка 3D-принтера. Експериментально підтверджено можливості технології 3D-моделювання, доцільності та можливості самостійного проектування та виготовлення 3D-конструкцій.

**Ключові слова:** 3D-принтер, калібрування, сопло екструдера, Prusa Mendel i2, Arduino IDE, OpenScad, Repetier Host, Slic3r

**Сальников А.В., Мартынюк А.С., Шолом П.С. Технологии изготовления и использования 3D-принтера.**

Обосновано перспективи внедрения средств 3D-моделирования и проведена апробация технологии, доступной для самостоятельного изготовления и использования базового образца 3D-принтера. Экспериментально подтверждено возможности технологии 3D-моделирования, целесообразности и возможности самостоятельного проектирования и изготовления 3D-конструкций.

**Ключевые слова:** 3D-принтер, кали бровка, сопло экструдера, Prusa Mendel i2, Arduino IDE, OpenScad, Repetier Host, Slic3r

**Salnikov O., Martyniuk O., Sholom P. Technology of manufacturing and use of 3D-printers.**

The prospects of 3D-modeling tools introduction are justified and the technology approbation, available for self-manufacture and use of the base sample of 3D-printers, is conducted. The possibility of 3D-modeling technology, the feasibility and possibility of independent design and manufacture of 3D-structures is experimentally confirmed.

**Keywords:** 3D-printer, calibration, an extruder nozzle, Prusa Mendel i2, Arduino IDE, OpenScad, Repetier Host, Slic3r

**Постановка проблеми.** Історія розвитку засобів для друку об'ємних зразків налічує вже майже три десятиліття. В останні роки інтерес до них став особливо зростати. Багато промислових компаній почали активно використовувати 3D-принтери, що забезпечує скорочення витрат на виробництво складної технічної продукції. Продукти 3D-друку користуються великим попитом серед дизайнерів, архітекторів, конструкторів. Ця технологія дає можливість їм у найкоротші терміни отримувати високоякісні прототипи виробів, макети та заготовки. У недалекому майбутньому виникне потреба у фахівцях цієї галузі. Тому **актуальною** є проблема вивчення технологій 3D-моделювання та можливостей самостійного проектування та виготовлення 3D-принтерів.

**Аналіз** можливостей технологій 3D-моделювання у різноманітних сферах людської діяльності засвідчив їх тотальне застосування, зокрема, за даними експертів DHL, кожна сім'я, що проживає в країні розвиненого світу, вже до 2050 р. використовуватиме тривимірний друк в домашніх умовах. Це означає, що надрукувати велосипед, меблі, посуд і аксесуар не буде проблемою для непрофесійних користувачів.

**Мета досліджень** полягає у теоретичному обґрунтуванні можливостей технологій 3D-моделювання, проектуванні, виготовленні та апробації 3D-принтера. Задля досягнення мети наукової роботи було поставлено і реалізовано низку технологічних завдань: аналіз можливостей технологій 3D-моделювання у різноманітних сферах людської діяльності; проектування та виготовлення 3D-принтера; проведення апробації конструкції в умовах практичного застосування.

Серед **методів дослідження**, використаних в рамках даної роботи, варто виокремити наступні: методи узагальнення і порівняння – на етапі виявлення основних технологій 3D-друку, метод опису – на етапі представлення наявних типів принтерів, і експериментальної моделі на основі конструкції 3D-принтера Prusa Mendel i2; а також програмне середовище Arduino IDE, програма для створення 3D моделей OpenScad, програма Repetier Host для створення G-кодів моделей, необхідних для друку та завантаження цих кодів на комп'ютер, програма Slic3r для задання шляхів руху сопла екструдера – на етапі налаштування 3D-принтера.

З урахуванням **прикладного** характеру роботи **наукова новизна дослідження** обґрунтована перспективами впровадження засобів 3D-моделювання та апробації технології, доступної для самостійного виготовлення та використання базового зразка 3D-принтера.

**Практична значимість** полягає у експериментальному підтвердженні можливостей технологій 3D-моделювання, доцільності проектування та виготовлення 3D-принтера. Перевагою роботи є представлення усіх етапів створення принтера, використаного програмного забезпечення щодо його налаштування, також узагальнена послідовність налаштування принтера. Роботу виконано в лабораторії основ автоматики та електронно-обчислювальної техніки Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки, м. Луцьк.

#### **Виклад основного матеріалу роботи.**

На вітчизняному ринку формується попит на 3D-технології. І хоча такі принтери вже є наявності в українських Інтернет-магазинах, та брак офіційних дилерів для більшості виробників 3D-принтерів та фахівців, які можуть їх обслуговувати [5] ще тривалий час відчуватиметься. Звідси – актуальність самостійного проектування та виготовлення 3D-принтера.

#### **Особливості технології виготовлення 3D-принтера.**

Для експериментальної моделі обрано конструкцію 3D-принтера Prusa Mendel i2. Оскільки основна її частина досить легка у конструюванні, адже складається з декількох шпильок різної довжини, декількох лінійних валів, набору друкованих деталей, гайок, шайб, декількох підшипників тощо, а тому зібрати можна за короткий термін [2, 3]. Усі деталі наявні для продажу в Україні, що забезпечує доступність виготовлення.

*Механіка.* Основний каркас Prusa Mendel i2 зібраний з 13 шпильок, 17 пластикових деталей та дрібних гайок і представляє собою трикутну призму з правильним трикутником в основі, направлену бічною стороною вниз, як показано на рисунку 1. Рух по осі X здійснюється по двох лінійних валах, скріплених між собою двома пластиковими деталями. На одній з цих деталей кріпиться мотор з шестернею, що має 16 зубців, а на іншій – підшипник. Між мотором та підшипником натягується ремінь, обидва кінці якого кріпляться до каретки, яка на 3-ох лінійних підшипниках рухається по даній конструкції. Ця конструкція на 4-ох лінійних підшипниках прикріплених до двох описаних вище деталей рухається по двох вертикально закріплених до корпусу лінійних валах. Вал з двома підшипниками та правою деталлю зображено на рисунку 2.

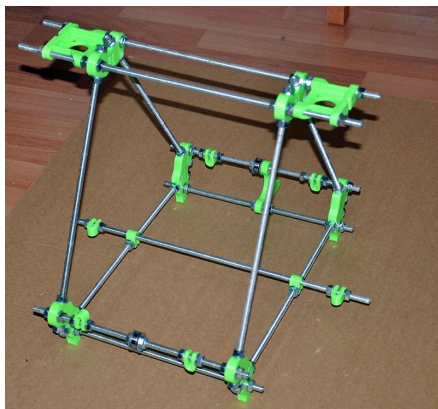


Рис. 1. Геометрична форма конструкції каркасу Prusa Mendel i2



Рис. 2. Конструкція платформи руху по осі X

Рух по осі Z, здійснюють два мотори розташовані у верхній частині конструкції. До цих моторів через дві алюмінієві муфти кріпляться дві шпильки, нижні кінці яких закріплені у підшипниках основного каркасу. При обертанні цих шпильок, закріплені у двох деталях осі X гайки підіймають усю конструкцію осі X, за чим слідує і підняття екструдера, закріпленого на каретці.

Рух по осі Y забезпечено переміщенням платформи на якій розташовується виріб, що друкується. До нижньої частини каркасу кріпляться два лінійні вали, по яких на чотирьох лінійних підшипниках і рухається платформа. До спеціальної деталі, закріпленої у тій же нижній частині каркасу, кріпиться мотор з такою ж, як і для осі X, шестернею. Через цей мотор і, розташований на протилежній стороні корпусу, підшипник протягується ремінь, обидва кінці якого кріплять невеличкими пластиковими деталями до платформи.

Останній 5-й мотор використовується для подачі пластикового прутка. На ньому кріпиться спеціальна шестерня для подачі прутка. Мотор кріпиться до конструкції, що складається з невеличкого

корпусу з пружиною та опорним колесом. А ця конструкція кріпиться до каретки, на якій закріплений хотенд. Також до каретки прикріплюється вентилятор з невеличким корпусом для обдування хотенда. Оскільки наша модель тестова, то в цій конструкції замість шестерні із зубцями для подачі пластику використовується шестерня з гумовим покриттям. Метою такого експерименту є визначення якості друку із таким технічним оформленням екструдера, який зображено на рисунку 3.

Можливе також зменшення довжини багатьох валів; оскільки запропонована модель принтера, як зазначалось вище є тестовою, використано 6 однакових лінійних валів (по 0,5 м діаметром 8 мм кожен), задля можливості їх наступного використання у інших моделях. Загальна довжина використаних шпильок (M8) складає більше 6 м. Набір пластикових деталей виготовлений з ABS пластику. Зовнішній вигляд принтера зображено на рисунку 4.

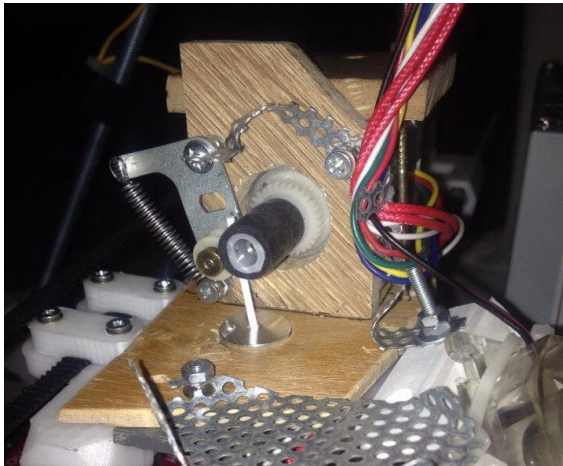


Рис. 3. Конструкція екструдера

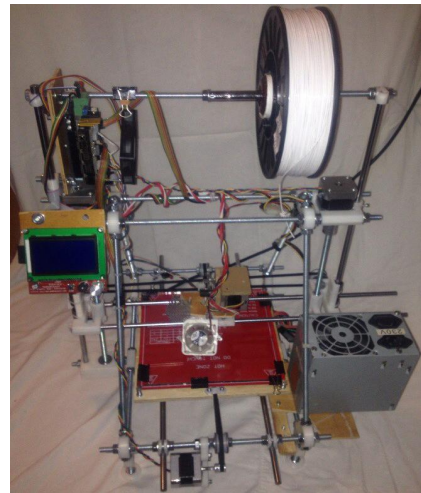


Рис. 4. Зовнішній вигляд принтера

*Електроніка.* В основі електронної складової приладу – Arduino Mega 2560, а також зв'язуючий шилд Ramps 1.4. Мотори контролюються чотирма однаковими драйверами A4988: вісь X, Y та екструдер по 1-му драйверу на кожен мотор, вісь Z – 1 драйвер на обидва мотори. Роз'єми під дані драйвери знаходяться у Ramps 1.4. Живиться електроніка через 16-ти амперний комп'ютерний блок живлення потужністю 300 Вт.

На платформі на чотирьох пружинах закріплюється нагрівальне дно моделі МК, необхідне для друку ABS пластиком і не тільки. Пружини слугують для можливості регулювання правильного положення нагрівального дна відносно принтера та хотенду. У дно також вмонтовується терморезистор (100 кОм) для вимірювання температури дна і прикріплюється канцелярськими затискачами скло, на якому розташовуватиметься виріб. Хотенд складається з радіатора, сопла, нагрівного елемента і такого ж, як і у нагрівальному дні терморезистора.

В нашому випадку використано сопло 0,3 мм, хотенд моделі J-Head (прямий) розрахований на пластиковий пруток діаметром 1,75 мм, радіатор та нагрівник стандартні.

На кожній з осей закріплені кінцеві вимикачі, представлені звичайними важільними кнопками. Ці вимикачі слугують у принтері датчиками початкового положення, координати якого по кожній з осей дорівнюють 0. Також у даній моделі наявні два вентилятори різного розміру: більший для охолодження електроніки, менший для обдування хотенда. Всі електронні складові окрім одного з вентиляторів (більшого) підключаються до Ramps 1.4, як показано на рисунку 5. На схемі не вказано підключення дисплея, оскільки вона аналогічна для більшості принтерів RepRap, зокрема на Ramps 1.4.

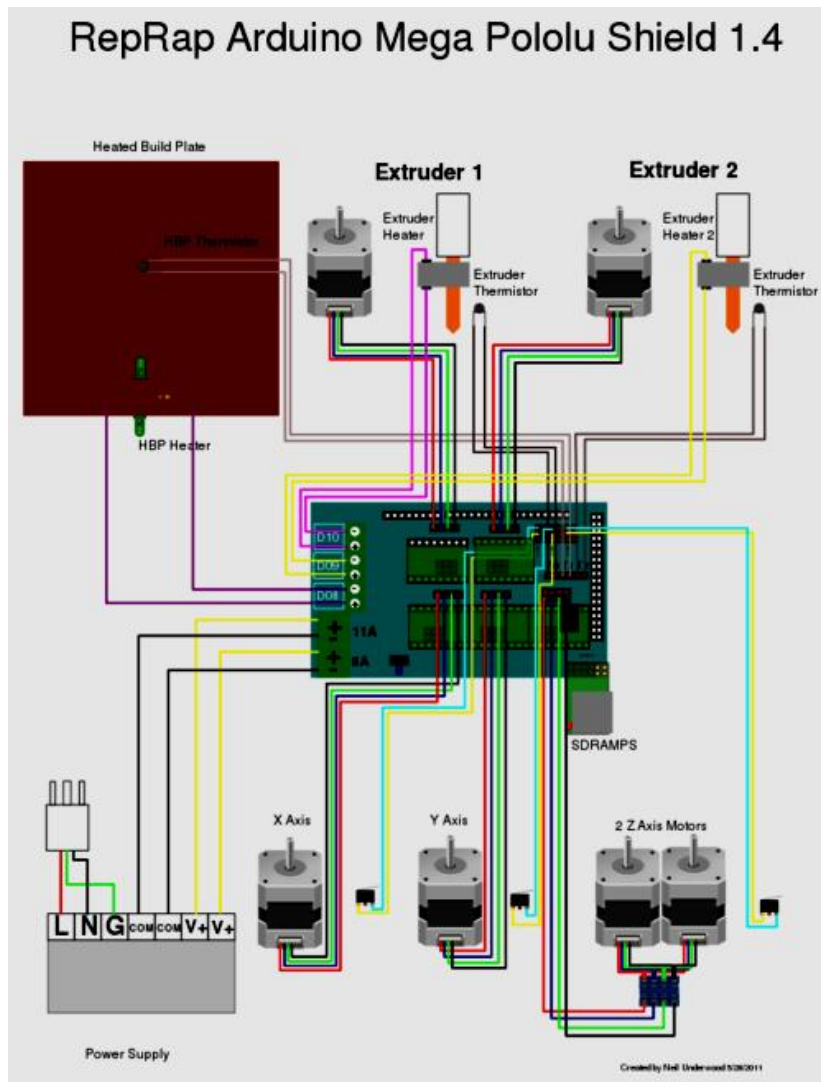


Рис. 5. Схема комутації Ramps 1.4 [6]

Дисплей (рис. 6) надає такі переваги:

- перевірка працездатності принтера;
- попередній підігрів панелі та хотенда, що є швидшим ніж автоматичний підігрів при запуску процесу друкування;
- можливість автономної роботи принтера (без комп'ютера), з умовою наявності карти пам'яті з завантаженими файлами для друку;
- моніторинг процесу друкування виробу;
- наявність клавіші екстреної зупинки;
- можливість калібрування принтера в автономному режимі чи під інший вид пластику;
- наявність у платі дисплея роз'єму під карту пам'яті (до 16 Гб), вмонтованого бузера (мікродинаміка) та зазначеної вище кнопки екстреної зупинки.

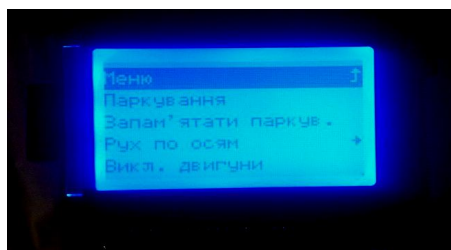


Рис. 6. Зовнішній вигляд дисплея



### Робота з Prusa Mendel i2: особливості калібрування принтерів

Особливості калібрування механіки полягають у забезпеченні паралельності між валами осі X та двома шпильками у верхній частині принтера, тобто площиною у якій закріплені обидва мотори, що рухають вали по осі Z, а також у регулюванні нагрівача дна так, щоб відстань від сопла екструдера до кожного з кутів дна була однаковою. Наступним кроком калібрування є встановлення кінцевих вимикачів у свої положення, зокрема закріпити вимикач по осі Z так, щоб коли механізм опустить екструдер до нагрівача дна на відстань, що складає товщину аркушу А4, даний вимикач спрацював і повідомив, що екструдер розміщений у крайньому нижньому положенні, як показано на рисунку 7.

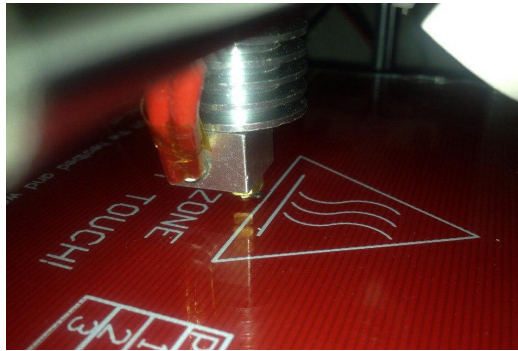


Рис. 7. Калібрування механіки принтера

Далі, аналогічно для інших осей, потрібно закріпити решту вимикачів. Для роботи з принтером, а також для створення G-кодів моделей, необхідних для друку, та завантаження цих кодів на комп'ютер ми використовували програму Repetier Host, вигляд вікна якої зображено на рисунку 8.

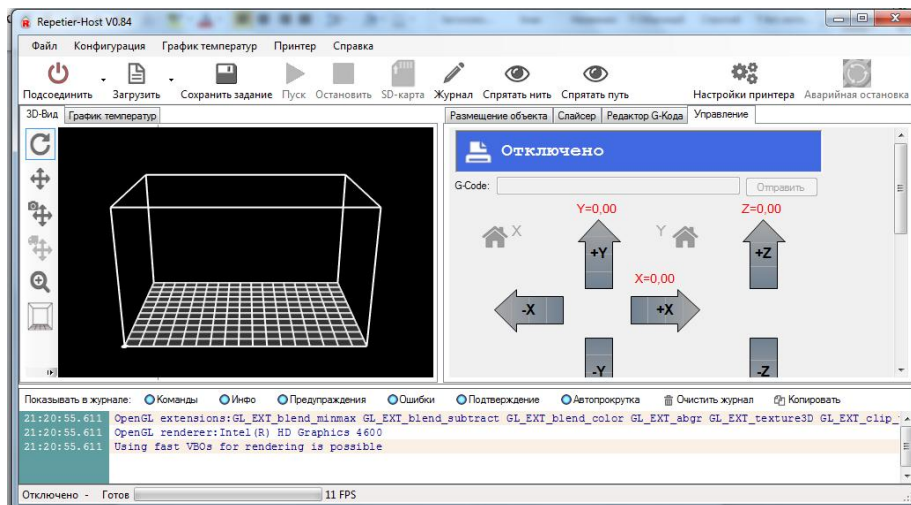


Рис. 8. Вікно програми Repetier Host

Використовувалось також середовище для програмування Arduino IDE останньої версії та програма для створення 3D моделей OpenScad. Програмне налаштування полягає у внесенні у створену в середовищі Arduino IDE програму всіх особливостей вашого принтера. В нашому випадку проводилась програмна інверсія всіх двигунів, кінцевих вимикачів, також редагування швидкості передачі даних, внесення розмірів області в якій може друкуватись певний виріб, внесення всіх швидкостей, інформація про керуючу плату, типи терморезисторів та температурні межі. Програма завантажується у Mega 2560 через програмне середовище Arduino. Також була проведена українізація меню принтера, оскільки у наявній програмі не існувало коду з українською мовою. Для нашої програми використано прошивку Marlin 1.1.0-RC3.

Після завантаження в плату відредагованої прошивки можна підключити принтер по USB кабелю до комп'ютера і починати працювати в Repetier Host-і. Програма має вмонтований слайсер – програму, що ділить задану 3D модель, завантажену в STL форматі, на шари, кожен з яких складається з

певних шляхів, по яких буде рухатись кінчик сопла екструдера, щоб надрукувати нам задану деталь. Усі ці шляхи записуються автоматично в G-код. Для завантаження G-коду моделі на карту пам'яті задля роботи принтера в автоматичному режимі потрібно користуватись окремим слайсером. Ми обрали Slic3r (рис. 9), оскільки він зручний у використанні, а також завантажується разом з попередньою програмою, як її підпрограма.

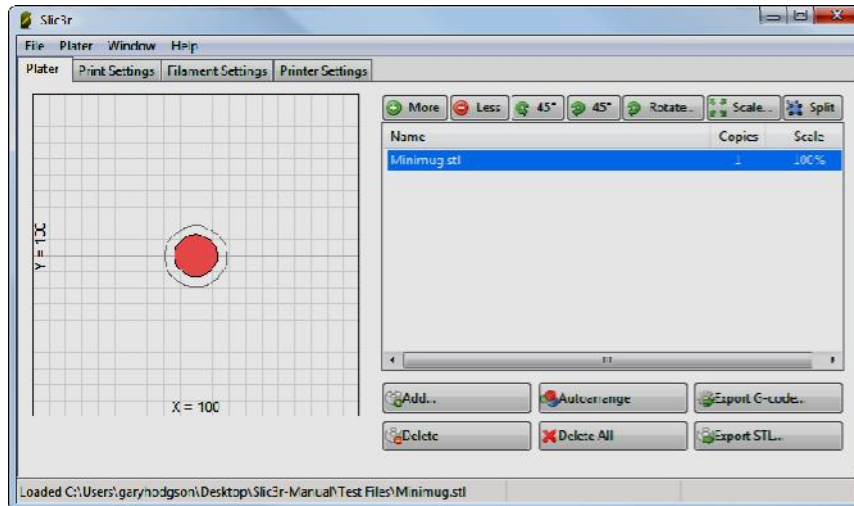


Рис. 9. Вікно програми Slic3r

При роботі з принтером в автоматичному режимі можна відредагувати: максимальну та мінімальну межі температури для екструдера та нагрівального дна, початкові положення відносно кінцевих вимикачів, швидкості та кроки моторів, діаметр прутка. Також можна налаштувати режими автоматичного підігріву для певних видів пластику, перевірити управління всіма системами в режимі реального часу та робочу здатність принтера.

Під час роботи з принтером на його дисплеї відображаються температури екструдера та нагрівального дна на даний момент часу і їх цільові значення, а також чи працює і з якою потужністю кулер для обдування хотенда, швидкість друку у відсотках, яку в режимі реального часу можна змінити (рис. 10).

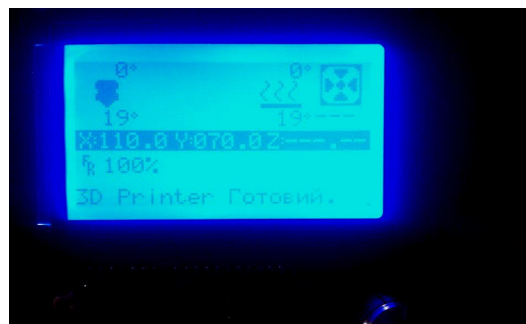


Рис. 10. Інтерфейс дисплея принтера, головне меню

Послідовність налаштування принтера:

- 1) увімкнути принтер у мережу та за допомогою меню запустити попередній обігрів для обраного виду пластику;
- 2) завантажити 3D-модель у STL форматі в Repetier Host чи Slic3r;
- 3) підготувати і запустити друк:
  - якщо другий крок пов'язаний з Repetier Host-ом, то вмюючи користуватись програмою, під'єднуємось до принтера, формуємо файл і запускаємо на виконання;
  - якщо зі Slic3r-ом, то аналогічно формуємо файл, після чого завантажуюмо його на карту пам'яті і поміщаємо її у слот під дисплеєм; вибираємо в меню файл з карти і активізуємо його;

4) прослідкувати, аби після запуску принтер виконав три важливих дії: 1) підігрів дна та хотенд; 2) виконав паркування; 3) перед друком «обвів» ділянку, на якій друкуватиметься виріб, тонким шаром пластику (цей процес забезпечує так зване «прочищення» екструдера).

Під час друку можуть виникнути певні проблеми:

- деталь відкріпилась від дна – потрібно скористатись одним з відомих способів: покрити поверхню перед друком або лаком для волосся, або розчином ацетону з пластиком, яким виконується друк;

- деталь «розпливлась» – потрібно зменшити максимальну температуру чи збільшити обдув хотенду;

- деталь вийшла не суцільною – збільшити температуру чи зменшити обдування.

На рисунку 11 представлено зразки 3D-конструкцій самостійно спроектованих в середовищі Repetier Host, та виготовлених на 3D-принтері.

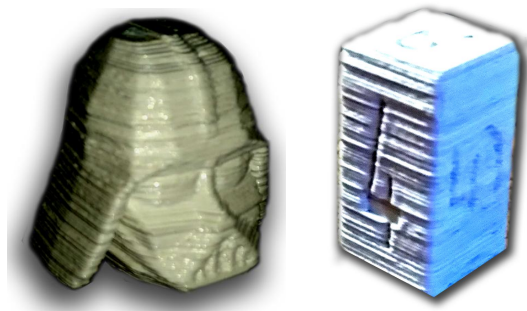


Рис. 11. Зразки конструкцій, виготовлених методом 3D-моделювання

**Висновки.** Спроектовано та виготовлено експериментальну модель 3D-принтера на основі конструкції Prusa Mendel i2. Представлено особливості технології виготовлення 3D-принтера, які доповнені візуальними зображеннями. Особливості калібрування принтера деталізовано до пропонованого програмного забезпечення – середовища Arduino IDE, програми для створення 3D моделей OpenScad, програми Repetier Host для створення G-кодів моделей, необхідних для друку та завантаження цих кодів на комп'ютер, програми Slic3r для задання шляхів руху сопла екструдера.

Проведено апробацію виготовленої власноруч конструкції, що дало можливість не лише послідовно узагальнити основні етапи створення 3D-принтера, але й виявити проблеми, які можуть з'явитися під час друку, та причини їх виникнення і шляхи подолання.

Загалом, у роботі обґрунтовано перспективи впровадження засобів 3D-моделювання та проведено апробацію технології, доступної для самостійного виготовлення та використання базового зразка 3D-принтера. Експериментально підтверджено можливості технології 3D-моделювання, доцільності та можливості самостійного проектування та виготовлення 3D-принтера.

1. 3D printing [Electronic resource]. – Mode of access: <https://uk.wikipedia.org/wiki/3D-друк>
2. 3D-печать на пороге новой промышленной революции [Electronic resource]. – Mode of access: <http://innotech.kiev.ua/ru/news/3d--pechat-na-poroge-novoy-promishlennoyrevolyutsii#sthash.5BrAlFfc.JdQFhmt.dpbs>
3. 3D-принтер – что это такое и как он работает [Electronic resource]. – Mode of access: <http://prostocomp.com/articles/43-apparatnoye-obespecheniye/117-3d-printer.html>
4. Prusa Mendel iteration 2/ru [Electronic resource]. – Mode of access: [http://reprap.org/wiki/Prusa\\_Mendel\\_iteration\\_2/ru](http://reprap.org/wiki/Prusa_Mendel_iteration_2/ru)
5. PRINT CONFERENCE. KIEV. Выставка-конференция передовых технологий 3D-печати и сканирования. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://3dprintconf.com.ua>
6. RAMPS 1.4 [Electronic resource]. – Mode of access: [http://reprap.org/wiki/RAMPS\\_1.4](http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4)