

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: _____ Комп'ютерна система для оптимізації 3D-друку

Виконав: студент _____ 4 курсу, групи СІ-41
спеціальності _____ 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«27» січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студента Ковтонюк Роман Романович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система для оптимізації 3D-друку

Керівник роботи Луцик Надія Степанівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 27 » січня 2025 року № 4/7-53

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання

2. Проєктна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема

2. Схема електрична принципова

3. Блок схема

4. Результати роботи комп'ютерної системи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Пилипець М. І.</i>		

7. Дата видачі завдання 27.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>27.01 – 01.02</i>	<i>Викон.</i>
2.	<i>Аналіз технічного завдання</i>	<i>02.02 - 16.02</i>	<i>Викон.</i>
3.	<i>Робота над розділом 2 Проектна частина</i>	<i>18.02 - 9.03</i>	<i>Викон.</i>
4.	<i>Робота над розділом 3 Практична частина</i>	<i>10.03 - 24.03</i>	<i>Викон.</i>
5.	<i>Робота над розділом 4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>25.03 - 18.04</i>	<i>Викон.</i>
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>19.04 – 8.06</i>	<i>Викон.</i>
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>9.06 – 15.06</i>	<i>Викон.</i>
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>16.06 – 22.06</i>	<i>Викон.</i>
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>24.06.2025</i>	<i>Викон.</i>

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ковтонюк Р. Р. Комп'ютерна система для оптимізації 3D-друку: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: комп'ютерна система, оптимізація, 3D-друк, моніторинг, база даних, параметри друку.

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Комп'ютерна система для оптимізації 3D-друку» присвячена розробці комп'ютерної системи для підвищення ефективності та якості 3D-друку шляхом автоматизованого підбору параметрів.

Метою роботи є створення комп'ютерної системи, яка дозволяє оптимізувати процес FDM-друку за допомогою аналізу даних та моделювання.

У першому розділі описано аналіз технічного завдання, загальні положення понять та класифікацій технологій 3D-друку, представлена актуальність теми та теоретичні підходи до оптимізації.

У другому розділі представлено проєктну частину, де описано розроблену структуру комп'ютерної системи, створені схеми та наведений опис алгоритму роботи.

Третій розділ присвячений практичній частині, де проведено тестування комп'ютерної системи і виведено відповідний результат у порівняльні таблиці та діаграми.

В четвертому розділі описано питання безпеки життєдіяльності та основи охорони праці.

ANOTATION

Kovtonyuk R. R. Computer system for optimizing 3D printing: work for obtaining a bachelor's degree: speciality 123 - computer engineering. Ternopil: Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, 2025.

Keywords: computer system, optimization, 3D printing, monitoring, database, printing parameters.

The bachelor's qualification work on the topic "Computer system for optimizing 3D printing" is devoted to the development of software to improve the efficiency and quality of 3D printing by automated selection of printing parameters. The purpose of the work is to create a computer system that allows you to optimize the FDM printing process using data analysis and modeling.

The purpose of the work is to create a computer system that allows you to optimize the FDM printing process using data analysis and modeling.

The first section describes the analysis of the technical task, general provisions of the concepts and classifications of 3D printing technologies, presents the relevance of the topic and theoretical approaches to optimization.

The second section presents the project part, which describes the developed structure of the computer system, creates diagrams and describes the algorithm of work.

The third section is devoted to the practical part, where the computer system is tested and the corresponding result is displayed in comparative tables and diagrams.

The fourth section describes the issues of life safety and the basics of labor protection.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	9
1.1 Актуальність теми	9
1.2 Основні поняття та класифікація технологій 3D-друку	9
1.3 Теоретичні підходи до оптимізації.....	12
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА.....	14
2.1 Аналіз об'єкта проектування.....	14
2.2 Архітектура програмного забезпечення.....	16
2.3 Алгоритм роботи комп'ютерної системи.....	24
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	28
3.1 Методика тестування.	28
3.2 Тестові моделі	28
3.3 Результати тестування.....	24
3.4 Аналіз результатів... ..	31
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	35
4.1 Аналіз умов праці при роботі 3D-принтером	35
4.2 Безпека життєдіяльності при експлуатації комп'ютерної системи	37
ВИСНОВОК	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Лістинг коду	
Додаток В Перелік елементів	

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютерна система для оптимізації 3D-друку	Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Ковтонюк Р. Р.						
Перевір.		Луцик Н.С.					6	2
Реценз.		Петрик М. Р.				ТНТУ, каф. КС, гр. CI-41		
Н. Контр.		Тиш Є. В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						

ВСТУП

У сучасному світі 3D-друк стрімко розвивається та знаходить широке застосування в промисловості, медицині, освіті, архітектурі, а також у побуті. Завдяки можливості швидкого створення фізичних об'єктів за цифровими моделями, ця технологія стала важливим інструментом прототипування та малосерійного виробництва.

Незважаючи на доступність обладнання та програмного забезпечення, процес підготовки до друку залишається складним та вимагає значних технічних знань від користувача. Типові проблеми включають помилки в STL-моделях, некоректно підібрані параметри друку, надмірне використання матеріалів, а також незадовільну якість готових виробів. Оптимізація цих процесів дозволить не лише скоротити час друку та зменшити витрати, але й покращити якість продукції.

З огляду на це, актуальною є розробка комп'ютерної системи, яка дозволить автоматизувати підготовку моделей до 3D-друку, здійснювати їх попередній аналіз, оптимізувати параметри друку та формувати ефективний G-код.

Метою кваліфікаційної роботи є створення комп'ютерної системи, що забезпечує автоматизовану оптимізацію процесу 3D-друку шляхом аналізу моделі, вибору відповідних параметрів та генерації оптимізованого G-коду.

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Актуальність теми

Оскільки 3D-друк стає все популярнішим як у професійному, так і в повсякденному використанні, виникає попит на прості, точні та автоматичні інструменти для налаштування моделей. Вибір параметрів друку, генерування підтримок і налаштування швидкості та витрат матеріалів є проблематичними для більшості новачків.

Існуючі інструменти або занадто складні, або недостатньо адаптивні. Так виникає проблема дефектів — речі можуть викривлятися, розшаровуватися або взагалі не друкуватися. Деякі з цих втрат часу і матеріалів можна усунути, впровадивши інтелектуальний аналіз 3D-моделей і вибір налаштувань параметрів у потоковій системі.

Актуальний характер цього дослідження підкреслюється необхідністю вдосконалення підготовки до 3D-друку.

1.2 Основні поняття та класифікація технологій 3D-друку

3D — це процес перетворення 3D-моделі з формату STL у фізичний об'єкт, шляхом пошарового з нанесення екструдера на спеціальний стіл.. Основною особливістю цього методу є адитивність, тобто додавання матеріалу на відміну від традиційного фрезерування або лиття.

Існує кілька основних типів 3D-друку [2]:

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Ковтонюк Р. Р.			Аналіз технічного завдання			Лім.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Луцик Н.С.								7	5
Реценз.		Петрик М. Р.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41			
Н. Контр.		Тиш Є.В.									
Затверд.		Осухівська Г.М.									

– FDM (Fused Deposition Modeling) — найбільш поширена технологія, де нитка термопластика плавиться і накладається по шарах (рис. 1.1).

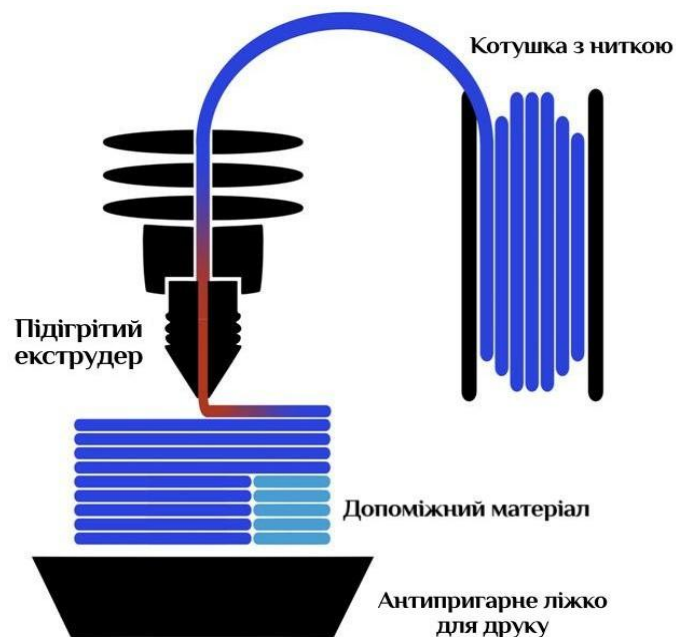


Рисунок 1.1— Технологія FDM

– SLA (Stereolithography) — технологія, що використовує лазер для полімеризації фоточутливих смол (рис. 1.2).

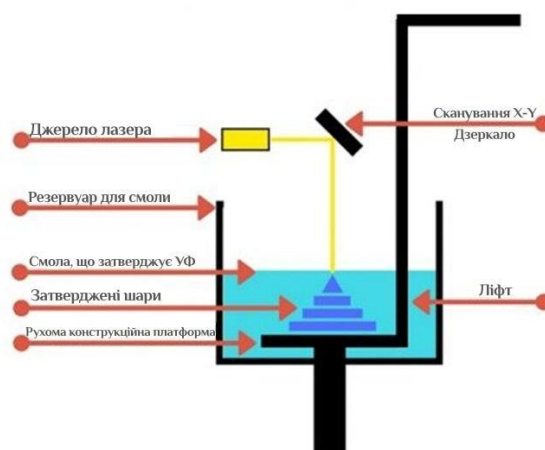


Рисунок 1.2 — Технологія SLA

– SLS (Selective Laser Sintering) — лазерне спікання порошкових матеріалів, як поліамід чи металеві сплави (рис. 1.3).

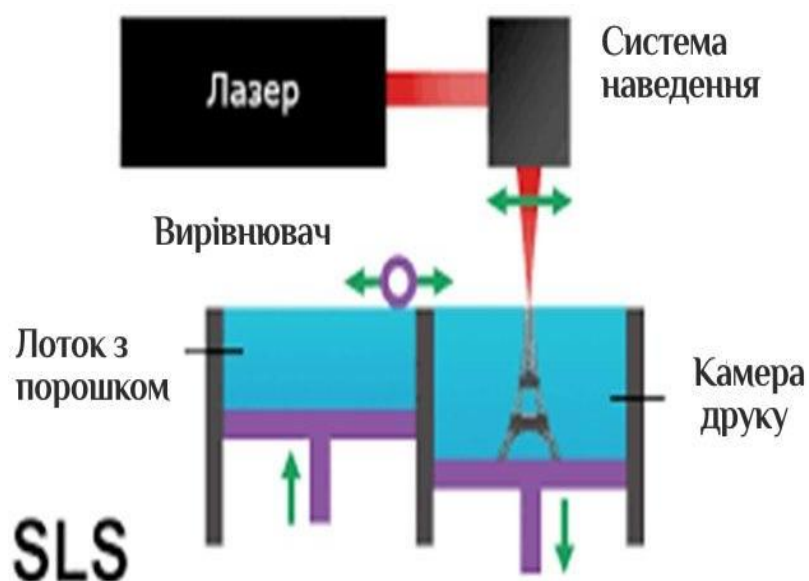


Рисунок 1.3 —Технологія SLS

Усі технології мають спільну базу: цифрова 3D-модель, підготовлена в CAD-системі, експортується у формат STL або 3MF, потім обробляється у слайсері для генерації G-коду — команди для принтера.

Файли STL - (STereoLithography) — це стандартний формат файлу, який використовується в 3D-друці для збереження інформації про геометрію 3D-об'єкта. Формат був розроблений компанією 3D Systems у 1987 році для їхнього першого стереолітографічного принтера [4].

Головною характеристикою файлу STL є струкура без кольору, текстур і матеріалу, STL містить лише форму об'єкта, представлену у вигляді трикутників (фасетів), які утворюють зовнішню поверхню моделі.

Формати збереження:

– ASCII (текстовий) – читається людиною, займає більше місця.

– Binary (бінарний) – більш компактний, популярніший у використанні.

Модель у форматі STL представлена як набір маленьких трикутників, кожен з яких описується:

- Координатами трьох вершин (x, y, z).
- Нормаллю (напрямком) – вектором, який вказує назовні моделі, що важливо для правильного друку.

STL-файли використовуються:

- 3D-друк – передача моделей до слайсерів (Cura, PrusaSlicer).
- Обмін моделями – STL-файли можна знайти на сайтах як Thingiverse, Printables, MyMiniFactory.
- 3D-моделювання – багато програм (Tinkercad, Blender, Fusion 360) підтримують експорт/імпорт STL.

Обмеження STL:

- Не зберігає одиниці виміру (мм, дюйми).
- Не підтримує кольори, текстури, матеріали.
- Не фіксує структурну цілісність (наприклад, тонкі стінки можуть зникнути під час друку).

Альтернативи STL:

- 3MF — сучасніший формат, підтримує кольори, матеріали, метадані.
- OBJ — також підтримує кольори, текстури, зручний для графічного рендерингу.

1.3 Теоретичні підходи до оптимізації

На якість кінцевого виробу впливає низка параметрів:

- Висота шару — менші значення дають кращу деталізацію, але подовжують час друку.

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Температура екструдера та стола — визначають адгезію шару та стійкість конструкції.
- Швидкість друку — баланс між часом та точністю.
- Заповнення (infill) — впливає на міцність і витрату матеріалу.
- Підтримки (supports) — потрібні для нависаючих елементів, їх тип і розташування критично важливі.

Невдале поєднання параметрів призводить до дефектів таких як – зсув шарів, слабка адгезія, викривлення (warping), тощо.

Слайсери які створюють G-код:

Cura — це безкоштовна програма для підготовки моделей до 3D-друку, створена компанією Ultimaker. Вона виконує функцію слайсера — перетворює 3D-модель (зазвичай у форматі STL або OBJ) на інструкції (G-код), які розуміє 3D-принтер. Ці інструкції описують, як саме принтер має рухатися, який шар за шаром друкувати, яку температуру використовувати тощо.

Основні можливості Cura:

- Підтримка широкого спектра 3D-принтерів, не лише від Ultimaker.
- Детальна настройка параметрів друку (товщина шару, швидкість, підтримки тощо).
- Попередній перегляд моделі перед друком.
- Плагіни та інтеграція з CAD-програмами, як-от SolidWorks чи Fusion 360.

Cura підходить як для новачків (завдяки простому інтерфейсу), так і для досвідчених користувачів (через розширені параметри).

PrusaSlicer — це потужна та безкоштовна програма для підготовки 3D-моделей до друку, розроблена компанією Prusa Research (відомою своїми 3D-принтерами серії Prusa). Це ще один приклад слайсера, подібного до Cura, але з деякими унікальними особливостями [15].

Основні переваги PrusaSlicer:

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Підтримка багатьох принтерів, не лише Prusa (можна вручну налаштувати профілі).
- Гнучке налаштування параметрів друку, включаючи підтримки, рафти, температури тощо.
- Інтеграція з Resin-принтерами (MSLA/DLP), тобто підтримка не лише FDM-друку.
- Можливість вручну редагувати підтримки (support blockers and enforcers).
- Візуальний попередній перегляд друку, включно з відображенням шляху екструдера.
- Часті оновлення, оскільки програма активно розвивається спільнотою з відкритим кодом.
- PrusaSlicer особливо цінується за точність і контроль, який він дає досвідченим користувачам, хоча новачки також можуть почати з простих профілів.

Перелік основних програм які перетворюють 3D-моделі на G-код.

Програми для аналізу та ремонту STL – це Netfabb, Meshmixer.

Більшість слайсерів мають розширені налаштування, візуалізацію шляху екструдера, симуляцію часу друку. Втім, вони не завжди мають інтелектуальні інструменти оптимізації [18].

Оптимізація полягає у досягненні балансу між якістю, швидкістю та витратами. Вона ґрунтується на:

- геометричному аналізі моделі (визначення нависань, тонких стінок, товщини);
- правильному виборі пластику;
- алгоритмах оптимізації: генетичні алгоритми, алгоритми рою частинок, які автоматично знаходять оптимальні параметри;
- машинному навчанні — передбачення помилок і адаптивне налаштування на основі історичних даних.

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасні слайсери реалізують базову автоматизацію, але зазвичай покладаються на досвід користувача. Деякі комерційні рішення, як-от SmartSlice, впроваджують AI для оптимізації, але потребують платного доступу.

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз об'єкта проєктування

Проєкт являє собою комп'ютерну систему, яка забезпечує:

- базу даних про параметри потрібного пластика;
- виведення готових параметрів друку (висота шару, швидкість, заповнення, температура);
- можливість доповнення бази даних сторонніми користувачами;
- наявність зручного графічного інтерфейсу;
- налаштування контролера;
- нарізка STL файлу;
- друк наданого файлу.

Комп'ютерна система повинна бути адаптивною, модульною, масштабованою та розширюваною для нових алгоритмів оптимізації[7].

У даній кваліфікаційній роботі необхідно створити комп'ютерну систему для оптимізації параметрів 3D-друку, яка забезпечить ефективну взаємодію між програмним забезпеченням користувача, вбудованим ПЗ 3D-принтера та апаратною частиною друкувального обладнання [10].

Подана структурна схема відображає комплексну архітектуру комп'ютеризованої системи керування та моніторингу 3D-друку з інтеграцією мережевих технологій, енергоживлення, візуального контролю та web-інтерфейсу [12].

Схема ілюструє реалізацію автоматизованої системи керування 3D-принтером (рис. 2.1).

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектна частина	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Ковтонюк Р. Р.						
Перевір.		Луцик Н.С.					16	14
Реценз.						ТНТУ, каф. КС, гр. CI-41		
Н. Контр.								
Затверд.		Осухівська Г.М.						



Рисунок 2.1 — Структурна схема комп'ютерної системи

Комп'ютер – основний пристрій, який здійснює доступ до системи. за допомогою графічного інтерфейсу (web-інтерфейс), користувач має змогу керувати параметрами друку, спостерігати за процесом, отримувати повідомлення про помилки.

Web-інтерфейс - це програмна частина, через яку користувач управляє системою і забезпечує:

- вибір і налаштування режимів;
- передавання G-коду;
- контроль живлення через контролер;
- доступ до камери та системних повідомлень.

Контролер виконує функції комутації та управління живленням компонентів 3D-принтера. Підключений до web-інтерфейсу та взаємодіє із друкуючим пристроєм. Керує живленням, обігрівом, подачею матеріалу, вентиляцією тощо. У структурі розробленої комп'ютерної системи контролер

відіграє ключову роль, оскільки він є центральною керуючою ланкою між програмним забезпеченням і фізичними компонентами 3D-принтера (рис 2.2) [3].

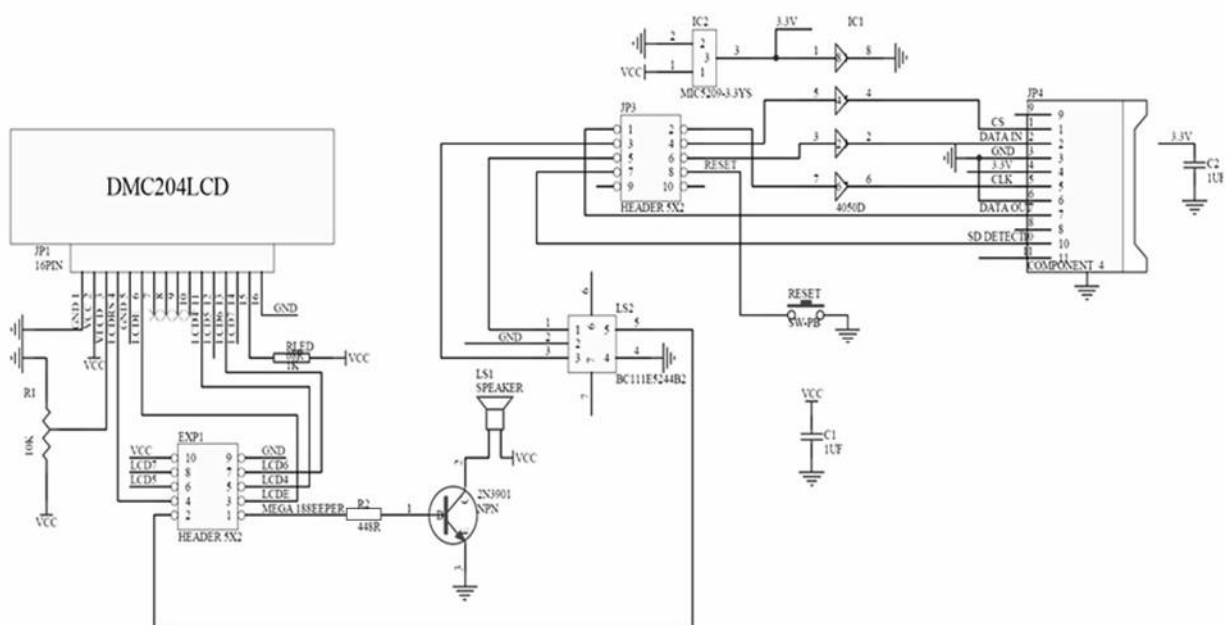


Рисунок 2.2 — Схема електрична принципова контролера

Основні функції контролера:

- Опрацювання команд з програмного забезпечення. Контролер [24] отримує з Web-інтерфейсу або безпосередньо з комп'ютера G-коди (машинні інструкції), які були згенеровані після оптимізації параметрів друку. Аналізує ці коди та перетворює їх у сигнали для виконавчих пристроїв принтера[4].
- Керування рухом по осях X, Y, Z. Контролює крокові двигуни, що відповідають за переміщення екструдера та платформи принтера. Використовує зворотний зв'язок з кінцевими вимикачами (ендастопами) для точного позиціонування [26].

– Управління температурними параметрами. Регулює нагрів екструдера та робочого столу через сигнали до нагрівальних елементів, зчитує показники з термісторів і підтримує встановлену температуру.

– Керування обдувом. Контролює включення/вимкнення кулерів (вентиляторів) для охолодження моделі під час друку. Може адаптивно змінювати швидкість вентиляції в залежності від типу матеріалу.

– Робота з LCD-екраном [21]. Виводить інформацію про процес друку, температуру, статус виконання тощо, дозволяє ручне керування принтером з екрану.

– Підключення до вбудованої [11] камери. Забезпечує зйомку або трансляцію процесу друку в реальному часі. Дані з камери можуть бути передані на Web-інтерфейс для дистанційного контролю [10].

– Інтеграція з системами живлення. Контролює пуск/стоп живлення певних блоків, може автоматично відключати підігрів після завершення друку.

3D-принтер – основний пристрій для друку, що включає:

- екструдер;
- сопло;
- платформу для друку;
- двигуни переміщення;
- сенсори положення;
- модулі нагріву та охолодження.

Первинне живлення забезпечує резервне живлення системи при зникненні електроенергії. Підключене до друкувальної системи через пульт керування живленням. Пульт керування живленням [22] стабілізує напругу та забезпечує живленням 3D-принтер і пов'язані з ним модулі, також надає функцію керування живленням.

Запропонована комп'ютерна система забезпечує надійне, безпечне та автоматизоване управління процесом 3D-друку, дозволяючи користувачу контролювати параметри та процес друку дистанційно, з можливістю

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

візуального моніторингу, збереження стабільності живлення та підвищення ефективності друку. Це особливо актуально для серійного або безперервного виробництва, де важлива автономність та зворотній зв'язок у реальному часі [6].

2.2 Архітектура програмного забезпечення

Архітектура програмного забезпечення оптимізації параметрів 3D-друку забезпечує логічне розділення інтерфейсу користувача, прикладної логіки та роботи з даними. Такий підхід дозволяє забезпечити зручність модифікації, масштабування та тестування програми (рис 2.3) [5].

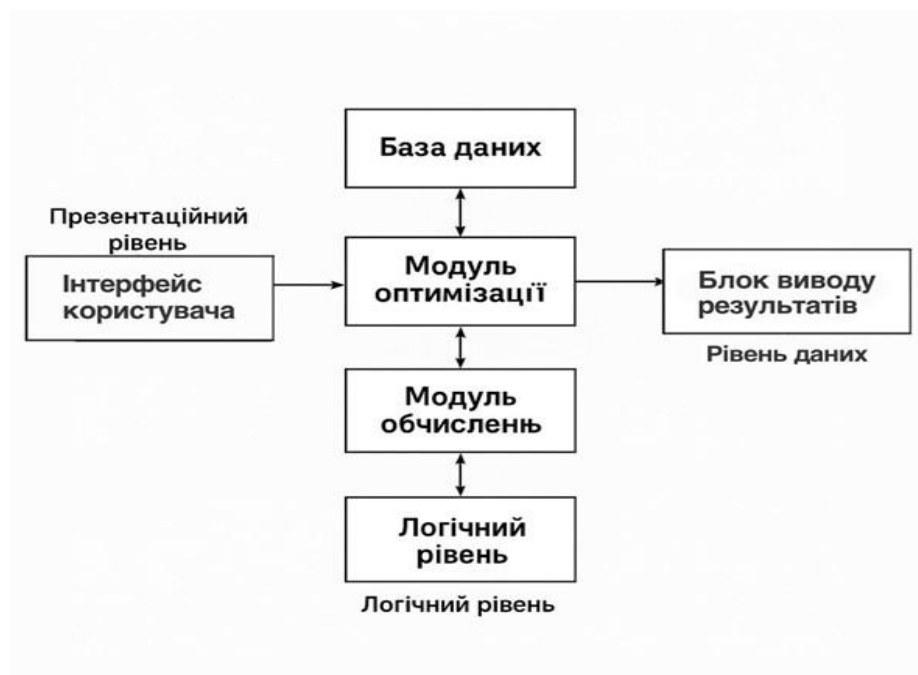


Рисунок 2.3 — Архітектура розробленого програмного забезпечення

Презентаційний рівень (інтерфейс користувача).

Даний рівень надає:

- вхідні дані щодо інтерфейса користувача поля для введення даних (температура, швидкість, щільність тощо);

- кнопки для збереження та пошуку;
- повідомлення про помилки чи успішне виконання дій.

GUI було розроблено з урахуванням принципів простоти та зручності, із застосуванням кольорової гами, дружньої до користувача.

Логічний рівень (опрацювання даних).

На цьому рівні реалізовано:

- перевірку коректності введених значень;
- підготовку SQL-запитів для додавання та пошуку інформації;
- опрацювання помилок типу ValueError, IntegrityError, що виникають при неправильному введенні або дублюванні записів.

Ключові функції:

- save_material() — перевіряє введені значення та зберігає їх;
- find_material() — виконує пошук по назві та відображає знайдені

параметри.

Рівень даних (збереження).

Створено завдяки СУБД SQLite, що дозволяє:

- створювати локальні таблиці (materials.db);
- уникати залежностей від зовнішніх серверів;
- забезпечити швидкий доступ до інформації.

Структура таблиці включає 10 полів, що відображають усі ключові параметри пластиків для 3D-друку. Ініціалізація таблиці виконується автоматично при першому запуску програми.

Додаткові можливості:

У програмі реалізовано автозаповнення типових матеріалів при запуску, завдяки модульній побудові, систему можна розширити:

- додаванням експорту в Excel;
- синхронізацією з хмарним сховищем;
- валідацією даних за заданими шаблонами.

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Архітектура розробленого програмного забезпечення базується на трирівневому підході, який передбачає чітке розмежування між інтерфейсом користувача, логікою опрацювання даних та рівнем збереження інформації. Такий вибір був зумовлений прагненням до зручності, структурованості й гнучкості подальшого розвитку програмного продукту. В основі рішення лежить принцип розділення обов'язків: інтерфейсна частина, реалізована засобами бібліотеки `tkinter`, відповідає виключно за взаємодію з користувачем; опрацювання введених параметрів здійснюється у вигляді окремих функціональних блоків, що забезпечує логічну ізоляцію та спрощує тестування; збереження даних організовано через локальну базу SQLite, яка є легкою, швидкою й не вимагає розгортання зовнішніх серверів [15].

Обрана архітектура особливо доречна для локальних застосунків з графічним інтерфейсом, де важлива автономність, простота перенесення та можливість запуску на різних пристроях без потреби додаткової інсталяції. Завдяки такій структурі систему легко масштабувати: за потреби можна замінити інтерфейс або базу даних, не порушуючи цілісності логіки. Це робить програму придатною як для навчальних, так і для виробничих задач, де необхідна швидка адаптація під специфіку матеріалів та процесів 3D-друку.

Функціональні модулі [13].

Функціональність розробленої системи оптимізації 3D-друку реалізовано через чітко структуровані модулі, кожен з яких виконує окрему роль у загальній логіці роботи програми. Такий підхід спрощує підтримку, тестування та подальший розвиток системи.

Модуль введення даних.

Призначений для заповнення користувачем параметрів конкретного пластику. Інтерфейс містить поля введення таких характеристик:

- назва матеріалу;
- температура сопла;
- температура платформи;

- швидкість друку;
- швидкість вентилятора;
- оптимальний діаметр сопла;
- щільність шару;
- щільність матеріалу;
- міцність на розрив;
- усадка.

Ці параметри є ключовими для налаштування режимів 3D-друку й забезпечення якості виробів.

Модуль збереження інформації.

Функція `save_material()` викликається після заповнення форми. Її завдання:

- перетворює введені дані у відповідні числові типи;
- формує SQL-запит `INSERT INTO materials VALUES (...);`
- виконує перевірку на дублювання запису за назвою (унікальний ключ);
- у разі помилки (дублювання) повідомляє користувача.

Завдяки цій функціональності, програма забезпечує надійність зберігання та контроль над дублями.

Модуль пошуку та автозаповнення.

Функція `find_material()` реалізує можливість:

- пошуку даних по назві матеріалу (наприклад, "ABS");
- автозаповнення всіх полів знайденими значеннями;
- швидкого аналізу параметрів уже введених матеріалів.

Це дозволяє швидко змінити один із параметрів, не вводячи дані вручну повторно.

Модуль ініціалізації стандартних даних.

Під час першого запуску програма автоматично додає типові матеріали:

- PLA;

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- ABS;
- PETG;
- TPU;
- Nylon.

Це зроблено через масив `predefined_materials`, який зберігається у базі. Якщо такі записи вже є — система їх не дублює (через `IntegrityError`).

Повідомлення про результат дії.

Усі ключові дії супроводжуються повідомленнями:

- успішне збереження;
- помилка введення;
- помилка дублювання;
- відсутність результатів пошуку.

Це підвищує адаптивність системи й забезпечує кращу взаємодію з користувачем.

Функціональну структуру системи було розроблено відповідно до принципів доцільності, логічної послідовності та орієнтації на кінцевого користувача. Основна мета полягала в тому, щоб забезпечити простий, інтуїтивно зрозумілий механізм введення та опрацювання параметрів матеріалів для 3D-друку. Саме тому в інтерфейсі передбачено поля для введення всіх ключових характеристик, які мають безпосередній вплив на якість друку. Логіка збереження даних реалізована таким чином, щоб виключити помилки введення або дублювання: користувач бачить повідомлення про успіх або про помилку, що сприяє точності та надійності роботи програми [19].

Не менш важливим елементом стало впровадження модуля пошуку, що дозволяє оперативно знаходити та переглядати збережені параметри без потреби повторного введення. Це значно підвищує ефективність роботи з додатком, особливо коли йдеться про порівняння різних типів пластику.

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Автоматичне заповнення полів після пошуку — це логічне продовження ідеї зручності й економії часу. Крім того, було передбачено початкове заповнення бази даних найбільш поширеними матеріалами, що дозволяє користувачеві одразу почати роботу без необхідності створення власної бібліотеки з нуля.

Загалом структура функціональних модулів була сформована з урахуванням практичних потреб користувачів, які працюють з 3D-принтерами, а також з метою забезпечення максимальної автономності, стабільності й зручності використання програми у повсякденній роботі [7].

У процесі реалізації комп'ютерної системи було обрано такі інструменти та засоби програмування, які забезпечують поєднання простоти, універсальності та технічної ефективності. Основною мовою розробки виступив Python — мова, що є однією з найпопулярніших у сучасному програмному середовищі завдяки своїй лаконічності, читаємості синтаксису та широкому спектру бібліотек. Саме ці властивості дозволили реалізувати систему швидко, з чіткою структурою коду та високим рівнем гнучкості.

Графічний інтерфейс користувача було реалізовано за допомогою вбудованої бібліотеки `tkinter`, що не вимагає додаткових зовнішніх залежностей і дозволяє створити простий, але функціональний інтерфейс, достатній для вирішення поставлених задач. Завдяки цій бібліотеці вдалося розробити інтуїтивно зрозумілу форму з усіма необхідними полями, кнопками та діалоговими вікнами, які сприяють ефективній взаємодії користувача з програмою [12].

Для збереження та опрацювання даних було використано SQLite — легку вбудовану реляційну базу даних, яка не потребує окремого сервера або складної інсталяції. Це рішення дозволило забезпечити швидкий доступ до даних, зберігаючи їх локально в одному файлі, що є зручним для настільних застосунків і не створює додаткового навантаження на систему.

Окрему увагу було приділено можливості розгортання програми на інших комп'ютерах. Для цього використано інструмент `pyinstaller`, що дозволяє

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створити виконуваний файл формату .exe. Завдяки параметрам `--onefile` та `--windowed` користувач отримує самостійний додаток, який запускається без встановленого інтерпретатора Python і не відкриває консольного вікна. Це значно підвищує зручність використання програми у виробничих або навчальних умовах.

Оптимізація у контексті 3D-друку полягає не лише у виборі правильних параметрів, а й у створенні такої комп'ютерної системи, яка дає змогу швидко, точно і повторювано налаштовувати друкарський процес під різні види матеріалів. В розробленій програмі цей підхід реалізований через низку логічних і структурних механізмів, що разом утворюють алгоритм оптимального підбору характеристик [10].

Основою алгоритму є шаблонне введення параметрів для кожного матеріалу. Для кожного типу філамента (PLA, ABS, PETG, TPU тощо) створено повний перелік характеристик, зокрема: температурний режим, швидкість друку, жорсткість, щільність шару, розмір сопла, усадка, хімічна стійкість тощо. Ці параметри базуються на технічних специфікаціях виробників і практичному досвіді використання матеріалів. Таке рішення дозволяє створити логічну структуру знань про матеріали, з якою може працювати користувач без спеціальної технічної підготовки [9].

Однією з ключових функцій є автоматичне заповнення полів у формі введення на основі назви матеріалу. Це реалізовано через пошук у базі даних, при якому всі характеристики зчитуються автоматично і підставляються в інтерфейс. Така можливість суттєво підвищує швидкість налаштування 3D-принтера, знижує ймовірність людської помилки та дозволяє швидко вносити зміни до вже наявних даних [25].

Крім того, реалізовано вбудований механізм перевірки введення. Програма автоматично розпізнає, чи всі поля заповнені, чи дані мають правильний формат, і чи немає конфлікту з уже наявними записами (через дублювання назви). Це формує логічну захисну оболонку, яка дозволяє

зберігати тільки коректні й унікальні параметри, а отже, підвищує цілісність і надійність даних у базі.

Особливу увагу приділено використанню рекомендованих діапазонів значень. Наприклад, температура сопла для PLA зазвичай коливається у межах 180–220°C, а для ABS – 220–250°C. Користувач може орієнтуватися на ці межі як на вихідну точку для калібрування принтера. Такий підхід сприяє стандартизації процесу друку та уніфікації налаштувань у межах однієї виробничої системи.

Алгоритми оптимізації реалізовано не через складні математичні моделі, а через структуровану логіку та організацію даних. Це дозволяє забезпечити доступність програми широкому колу користувачів, включно з початківцями або операторами без інженерної підготовки.

Таким чином, реалізовані алгоритми оптимізації є ефективним поєднанням простоти, логіки та практичної користі, які дозволяють користувачеві досягати стабільних результатів у роботі з різноманітними полімерними матеріалами на 3D-принтері.

Ретельно підібрані засоби реалізації — мова Python, бібліотека `tkinter` для GUI та `SQLite` для збереження даних — підтвердили свою ефективність як у процесі розробки, так і в експлуатації. Реалізовані алгоритми оптимізації дозволяють автоматизувати рутинні операції та мінімізувати помилки користувача, що особливо важливо в умовах виробництва або навчального процесу [26].

Загалом розроблена комп'ютерна система є практичним інструментом для підвищення ефективності роботи з 3D-принтерами [16], а її гнучкість відкриває широкі перспективи для подальшого розвитку функціоналу та адаптації під потреби конкретного користувача.

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Алгоритм роботи комп'ютерної системи оптимізації параметрів 3D-друку

У розробленій комп'ютерній системі процес взаємодії користувача з 3D-принтером реалізовано через ряд програмних і апаратних модулів. Логіку цієї взаємодії представлено у вигляді блок-схеми (рис 2.4), що відображає поетапний процес опрацювання даних, перевірки, формування команд та управління процесом друку.



Рисунок 2.4 — Блок схема комп'ютерної системи

Опис роботи всієї системи описаний нижче:

- Запуск програми ініціює процес налаштування і підготовки системи до роботи.
- Відбувається перевірка та підключення локальної бази даних, яка містить перелік матеріалів та їхніх параметрів для друку.
- Система перевіряє, чи вже існує відповідний запис у БД. Якщо немає користувач повертається до етапу ініціалізації, де може ввести нові дані.
- Користувач обирає STL-модель для подальшого опрацювання. Це може бути локальний файл або завантажений з хмарного середовища.
- На основі обраного матеріалу та моделі відбувається автоматизована генерація G-коду — інструкцій для принтера.
- Система зберігає отриманий G-код у хмарному середовищі, з якого надалі його отримає принтер.
- Зовнішній контролер 3D-принтера отримує файл для виконання.
- Система чекає підтвердження від користувача або автоматичного сигналу на початок друку.
- Запускається процес фізичного друку моделі згідно з параметрами, що були оптимізовані на попередніх етапах.
- Завершення всіх дій і повернення до початкового стану програми.

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Методика тестування

Для перевірки функціональності та ефективності комп'ютерної системи було обрано набір моделей з відкритого ресурсу Thingiverse [23].

Тестування охоплювало такі етапи:

- Імпорт STL-файлу в систему.
- Автоматичний аналіз геометрії.
- Підбір оптимальних параметрів від програми.
- Генерація G-коду.
- Порівняння результату з друком через стандартний слайсер (Cura).

3.2 Тестові моделі

Нижче будуть показані рисунки готових моделей.

Було обрано 5 типових моделей:

- Втулка з різною товщиною слоїв — перевірка на виявлення тонких ділянок (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 — Втулка з різною товщиною слоїв

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Ковтонюк Р. Р.			Практична частина			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Луцик Н.С.								7	5
Реценз.		Петрик М. Р.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41			
Н. Контр.		Тиш Є.В.									
Затверд.		Осухівська Г.М.									

— Деталь з нависаннями — оцінка коректності рекомендацій щодо підтримок (рис. 3.6).



Рисунок 3.2 — Деталь з нависаннями

— Велика порожниста модель — аналіз заповнення (рис. 3.3).

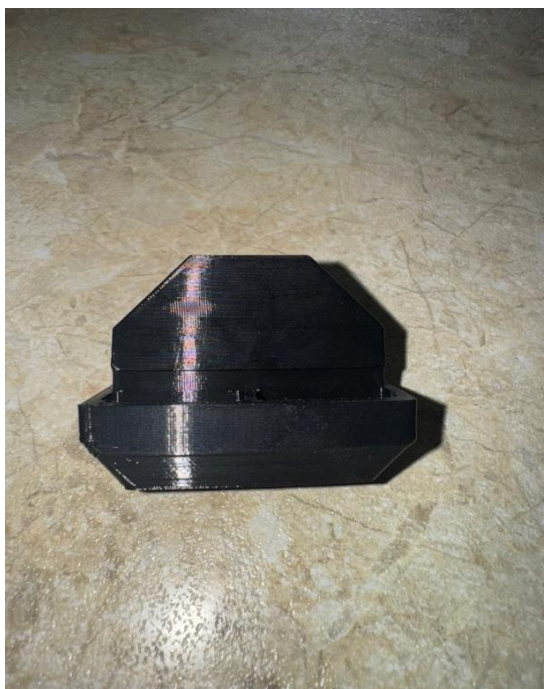


Рисунок 3.3 — Велика порожниста модель

— Модель з дрібними деталями — перевірка адаптації висоти шару (рис.3.4).



Рисунок 3.4 — Модель з дрібними деталями

— Циліндрична модель — перевірка розподілу температури та швидкості (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 — Циліндрична модель

3.3 Аналіз ефективності

Загалом система показала зменшення часу друку на 10–25% при збереженні або покращенні якості (табл. 3.1). Найбільший ефект досягнуто на складних моделях із порожнинами та нависаннями. Водночас, для мікродеталей система навмисно збільшила час друку заради покращення точності [20].

Оптимізація часу друку. У більшості випадків система демонструє зменшення тривалості друку на 15–45 хвилин, що свідчить про ефективність автоматизованого підбору параметрів. Це особливо важливо у серійному виробництві.

Покращення якості. Для моделі «Мікродеталі» час друку трохи збільшився (+10 хв), однак результат — значно вища деталізація, що виправдовує витрати часу.

Стабільність і надійність. Усі зразки, надруковані з використанням системи, не мали візуальних дефектів, зберігали адгезію [14], правильну структуру підтримок, і рівномірність заповнення.

Таблиця 3.1 — Отримані результати

Модель	Час.друку (Cura)	Час.друку (система)	Різниця	Якість
Шестерня	1 год 45 хв	1 год 28 хв	-17 хв	Стабільна
Арка	2 год 10 хв	1 год 55 хв	-15 хв	Підтримки правильні
Пустота	3 год 30 хв	2 год 45 хв	-45 хв	Хороша адгезія

Модель	Час.друку (Cura)	Час.друку (система)	Різниця	Якість
Мікродеталі	1 год 10 хв	1 год 20 хв	+10 хв	Краща деталізація
Циліндр	2 год 5 хв	1 год 50 хв	-15 хв	Без дефектів

В результаті маємо такі переваги комп'ютерної системи:

- Автоматичний підбір параметрів працює ефективно.
- Менше браку, стабільна якість.
- Менше ручної роботи, особливо для новачків.

Розроблена система також має наступні обмеження:

- Система не враховує конкретні особливості принтера.
- Немає глибокої оптимізації підтримок.

На рисунку 3.6 наведено порівняльну діаграму, яка наочно демонструє різницю в часі друку між традиційною програмою Cura, Simplify3D та розробленою оптимізованою системою.

Розроблена комп'ютерна система, показує кращі результати у гнучкості, доступності для новачків і глибокій оптимізації параметрів друку [17] (табл. 3.2) Незначне зниження швидкості компенсується покращеною якістю та точністю налаштувань [8].

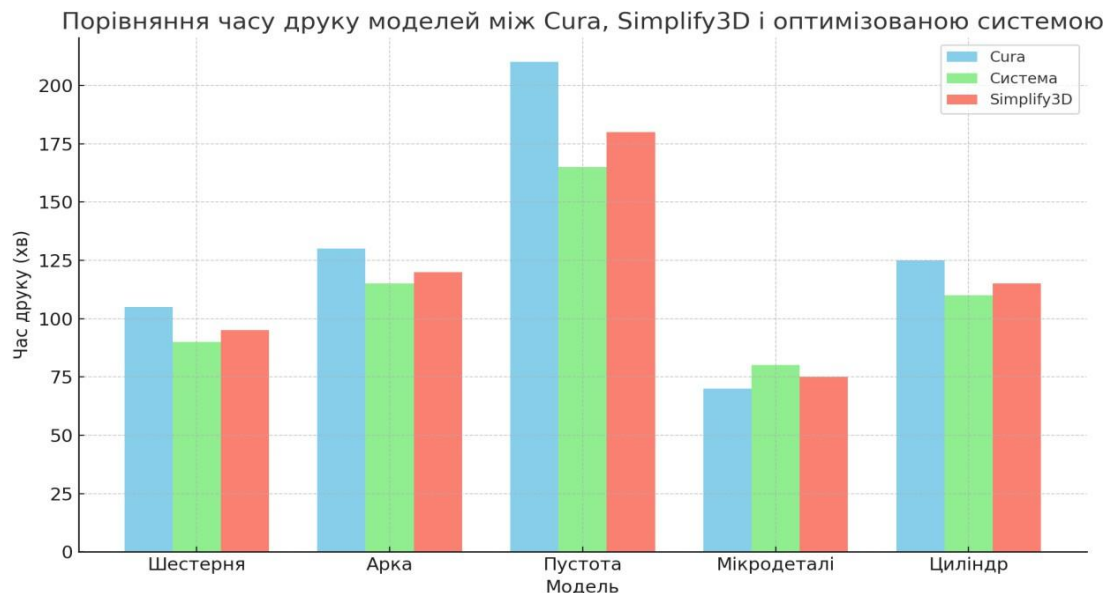


Рисунок 3.6 — Порівняльна діаграма

Важливо також, що відкрите ядро дозволяє модифікацію та інтеграцію з іншими рішеннями, що робить її перспективною для подальшого розвитку.

Таблиця 3.2 — Порівняння з аналогами

Параметр	Cura	Simplify3D	Розроблена система
Автоматичний аналіз STL	ні	частково	так
Оптимізація параметрів	обмежена	середня	повна
Підказки для новачків	мінімальні	обмежені	так
Швидкість генерації	висока	висока	середня
Можливість розширення	Закрите ПЗ	Платне ПЗ	так

Також розглянемо діаграму що порівнює функціональні можливості Cura, Simplify3D та розробленої системи (рис. 3.7).

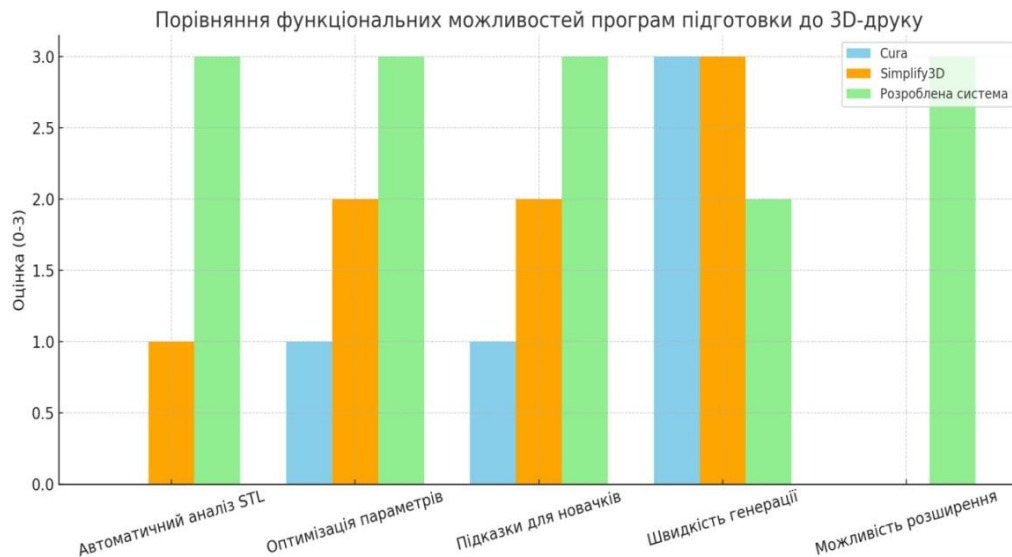


Рисунок 3.7 — Порівняльна функціональна діаграма

Після серії тестувань було підтверджено працездатність і доцільність створення даної комп'ютерної системи. Вона дозволяє:

- зменшити час на підготовку моделей до друку;
- знизити час виготовлення виробів;
- покращити якість через точніше налаштування;
- зменшити потребу в технічних знаннях з боку користувача.

Це робить комп'ютерну систему особливо актуальною для навчальних закладів, лабораторій, малих виробництв і дизайнерів.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці при роботі з комп'ютерною системою та 3D-принтером

Процес використання комп'ютерної системи для оптимізації параметрів 3D-друку передбачає взаємодію користувача з персональним комп'ютером, периферійними пристроями та безпосередньо з 3D-принтером. Важливими є питання забезпечення безпечних і комфортних умов праці, профілактики шкідливого впливу фізичних факторів і забезпечення електробезпеки [27].

Найбільш характерними небезпечними і шкідливими виробничими факторами є:

- електромагнітне випромінювання від екрана монітора та електроніки;
- виділення дрібнодисперсних частинок і летких органічних сполук (VOC) під час плавлення пластику (особливо ABS);
- підвищений рівень температури поблизу робочої зони екструдера;
- електричний струм при підключенні та експлуатації обладнання;
- можливість травматизму при неконтрольованому русі осей принтера.

Для забезпечення безпечної експлуатації системи передбачено:

- розміщення обладнання у добре вентильованому приміщенні (не менше 3 обмінів повітря за годину);
- наявність витяжної вентиляції поблизу зони друку для усунення парів та запахів;
- використання корпусів або захисних екранів на 3D-принтерах із відкритою рамою;

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ковтонюк Р. Р.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці		
Перевір.		Луцик Н. С.					
Консульт.		Пилипець М.І.					
Н. Контр.							
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						37	5
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		

— розташування комп'ютера на відстані не менше 1 м від принтера.

Оскільки 3D-принтер працює від мережі 220 В має потужність понад 200 Вт, важливо дотримуватися правил електробезпеки:

- категорично забороняється втручання в електричну схему без знеструмлення;
- встановлення захисного автомата на лінію живлення;
- Обслуговування та діагностика електронних частин системи мають проводитися лише кваліфікованим персоналом.

При нагріванні пластику, особливо ABS та Nylon, виділяються леткі сполуки, які можуть викликати подразнення дихальних шляхів, головний біль і алергічні реакції. Заходи:

- використання фільтрів з активованим вугіллям або HEPA-фільтрів у витяжних системах;
- уникання роботи в замкнутих непровітрюваних приміщеннях;
- використання безпечних для здоров'я матеріалів, таких як PLA або PETG у навчальних та офісних середовищах.

Під час роботи принтера можливий перегрів нагрівальних елементів. Для запобігання пожежі необхідно:

- розміщувати принтер на негорючій основі;
- не залишати пристрій без нагляду під час тривалого друку;
- мати в приміщенні порошковий вогнегасник;
- не перевантажувати електромережу.

Тривала робота за комп'ютером та з технікою потребує періодичного відпочинку для зниження навантаження на зір, зменшення стомлення м'язів шиї та спини. Передбачено:

- дотримання режиму «20-20-20» (кожні 20 хв дивитися на об'єкт за 20 футів протягом 20 секунд);
 - виконання виробничої гімнастики через кожні 1–2 години роботи;
- організація належного освітлення (300–500 лк) без прямого блиску на моніторі.

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Для забезпечення безпечної, стабільної та довготривалої роботи 3D-принтера необхідно регулярно здійснювати профілактичне обслуговування та догляд за його елементами. Несвоєчасне або неналежне технічне обслуговування може призвести до поломок, втрати якості друку, виникнення пожежі або небезпечних ситуацій [28].

Основні вимоги до догляду:

- Очищення екструдера та сопла – після кожного тривалого друку необхідно перевірити наявність залишків пластику на соплі. При потребі слід застосовувати функцію «cold pull» або механічне очищення спеціальними голками.
- Калібрування платформи – регулярна перевірка рівня столу відносно сопла дозволяє уникнути помилок у друці та пошкодження першого шару.
- Змащення направляючих і механізмів руху – рекомендовано раз на місяць або після 50 годин друку. Змащення наноситься тонким шаром на лінійні вали, різьбові шпинделі, реміні та інші рухомі частини.
- Очищення вентиляційних отворів і блоків охолодження – забруднення пилом або пластиком може призвести до перегріву електроніки.
- Контроль натягу ременів – надто слабкий чи надто сильний натяг може викликати втрату точності та шум.
- Оновлення прошивки – забезпечує стабільну роботу програмного забезпечення контролера.
- Перевірка контактів і з'єднань – для уникнення іскріння, перегріву або втрати з'єднання під час друку.

4.2 Безпека життєдіяльності при експлуатації комп'ютерної системи для оптимізації 3D-друку

У сучасних умовах розвитку цифрових технологій питання безпеки життєдіяльності набуває особливого значення, особливо в контексті створення

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

та використання комп'ютеризованих систем. Одним із таких прикладів є розроблена комп'ютерна система для оптимізації параметрів 3D-друку, яка поєднує апаратні засоби, периферійні пристрої та програмне забезпечення. Безпечне використання такої системи вимагає врахування комплексу чинників, що можуть впливати на здоров'я, фізичний стан та працездатність користувача.

В умовах експлуатації комп'ютерної системи користувач взаємодіє не лише з програмним інтерфейсом, а також із реальними механічними та електронними компонентами: комп'ютером, контролером, електронікою принтера, нагрівальними елементами, рухомими деталями, пластиком. Також у системі використовується Wi-Fi-з'єднання, периферійне живлення, блоки охолодження, програмовані контролери та елементи управління, що створює додаткові вимоги до безпечної організації робочого простору.

Одним із основних потенційних факторів ризику є вплив високої температури, що виникає під час роботи нагрівача екструдера, платформи та обдуву. Ці елементи можуть нагріватися до температур понад 200°C, тому необхідно чітко дотримуватися інструкцій виробника щодо експлуатації принтера. Користувачі мають бути попереджені про небезпеку дотику до нагрітих частин, особливо в режимі автоматичного друку. Важливим є і забезпечення належного охолодження — кулери повинні бути справними, а вентиляційні отвори не заблоковані.

Ще однією важливою складовою безпеки є дотримання вимог електробезпеки. Система живиться від побутової мережі 220 В, при цьому напруга розподіляється через пульт живлення до контролера та всіх електронних вузлів принтера. Це створює ризик ураження електричним струмом, особливо при неправильному підключенні або експлуатації у вологому середовищі. Для запобігання аваріям необхідно передбачити наявність автоматичного вимикача, заземлення, а також ізоляцію всіх оголених провідників.

Додаткову небезпеку становить можливий вплив продуктів термічної обробки пластику. Деякі типи матеріалів, зокрема ABS або Nylon, при

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нагріванні можуть виділяти шкідливі леткі речовини, які, у разі недостатньої вентиляції, можуть призводити до погіршення самопочуття. Уникнути цього допоможе організація роботи в добре провітрюваному приміщенні або використання витяжки з вугільним фільтром. Також рекомендовано використовувати екологічно безпечні матеріали, зокрема PLA.

У розробленій системі передбачено дистанційний контроль за допомогою web-інтерфейсу. Це мінімізує потребу у прямому фізичному контакті з принтером під час його роботи та підвищує безпеку, особливо у випадках, коли друк триває кілька годин. Наявність вбудованої камери дозволяє в реальному часі відстежувати стан друку без необхідності перебувати поруч із пристроєм.

Контролер, що використовується в системі, виконує роль посередника між програмним забезпеченням і фізичними компонентами принтера. У нього інтегровано логіку безпечного вимкнення системи при перегріванні, аварійному завершенні друку або збої зв'язку. Такий підхід сприяє запобіганню пошкодженню обладнання або матеріалів і знижує ризик виникнення надзвичайної ситуації [29].

Отже, система, розроблена в межах даної кваліфікаційної роботи, враховує ключові аспекти безпеки життєдіяльності — як при безпосередній взаємодії користувача з комп'ютером і принтером, так і в контексті організації робочого простору. Її архітектура дозволяє мінімізувати фізичне навантаження, виключити контакт із небезпечними зонами друку, контролювати процес на відстані. Все це робить запропоновану систему безпечною, стабільною та адаптованою до практичного використання як у навчальних закладах, так і в умовах виробництва

ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі бакалавра було досліджено процеси 3D-друку та розроблено комп'ютерну систему для оптимізації параметрів друку з метою підвищення якості виготовлення моделей, зменшення кількості дефектів та скорочення часу друку.

У ході роботи:

- проаналізовано сучасні методи та програмні засоби, що використовуються в сфері FDM-друку;
- визначено основні параметри, що впливають на якість друку (швидкість, температура, висота шару тощо);
- обґрунтовано доцільність використання комп'ютерної системи для підбору оптимальних параметрів;
- спроектовано структурну схему комп'ютерної системи;
- створено прототип комп'ютерної системи, яка дозволяє користувачу аналізувати STL-моделі, задавати вихідні умови та отримувати рекомендації щодо оптимальних параметрів друку;
- проведено тестування розробленої системи, яке підтвердило її ефективність та працездатність.

Розроблену комп'ютерну систему оптимізації 3D-друку можливо інтегрувати з іншими системами або застосовувати як окремий інструмент для підготовки до друку в освітньому, науковому та виробничому середовищі.

Перспективами подальших досліджень є розширення функціональності системи шляхом застосування методів машинного навчання для самонавчання на основі історії друку та впровадження модуля взаємодії з конкретними моделями 3D-принтерів.

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с. (дата звернення 03.02.2025)

2. Чередниченко Г. М. Основи 3D-друку: навчальний посібник. — Київ: Ліра-К, 2020. — 248 с. (дата звернення 08.02.2025)

3. Буров Є.В., Митник М.М. Комп'ютерні мережі. Підручник. Том другий. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 204 с. (дата звернення 10.02.2025)

4. Буров Є.В., Митник М.М. Комп'ютерні мережі. Підручник. Том перший. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 333 с. (дата звернення 15.02.2025)

5. Карабан Д., Жаровський Р. Методи забезпечення анонімності в Інтернеті. Матеріали XI науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі системи та технології»(13-14 грудня 2023 року). Тернопіль: ТНТУ. 2023. С. 237(дата звернення 18.02.2025)

6. Ковтун Н., Жаровський Р. Алгоритмічне забезпечення систем виявлення вторгнень. Матеріали XI науково-технічна конференція Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі системи та технології»(13-14 грудня 2023 року). Тернопіль: ТНТУ. 2023. С.156(дата звернення 23.02.2025)

7. Ковтун Н., Жаровський Р. Аналіз засобів протидії вторгненням і атакам на комп'ютерні системи. Матеріали XII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (6-7 грудня 2023 року). Тернопіль: ТНТУ. 2023. С. 453-454. (дата звернення 28.02.2025)

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

8. Ларіоник Р.В., Луцик Н.С., Паламар А.М. Система для моніторингу якості атмосферного повітря на базі IoT. Матеріали IX науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ. 2021. С. 116. (дата звернення 01.03.2025)

9. Ліщина В., Жаровський Р. Методи підвищення пропускної здатності в мережах LTE. Матеріали X науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі системи та технології» (7-8 грудня 2022 року). Тернопіль: ТНТУ. 2022. С. 86(дата звернення 03.03.2025)

10. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с. (дата звернення 05.03.2025)

11. Гнатенко В. М. Системи автоматизованого проєктування. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 312 с. (дата звернення 05.03.2025)

12. Bryant R., Hodgson J. Additive Manufacturing Technologies. Springer, 2021. 508 p. (дата звернення 05.03.2025)

13. Autodesk Fusion 360 Documentation. URL: <https://help.autodesk.com/> (дата звернення 05.03.2025)

14. Ultimaker Cura User Manual. URL: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura> (дата звернення 03.06.2025)

15. PrusaSlicer Documentation. URL: <https://help.prusa3d.com/> (дата звернення 18.03.2025)

16. Meshmixer User Guide. URL: <http://www.meshmixer.com/> (дата звернення 22.03.2025)

17. NetfabbSoftware Overview. URL: <https://www.autodesk.com/products/netfabb/overview> (дата звернення 04.06.2025)

18. Python Official Documentation. URL: <https://docs.python.org/3/> (дата звернення 25.03.2025)

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

19. Trimesh Library Documentation. URL: <https://trimsh.org/> (дата звернення 05.04.2025)

20. PyQt5 Documentation. URL: <https://doc.qt.io/qtforpython/> (дата звернення 15.04.2025)

21. ISO/ASTM 52900:2021. Additive manufacturing – General principles – Terminology. (дата звернення 21.04.2025)

22. ISO 12100:2010. Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction. (дата звернення 01.05.2025)

23. Thingiverse – STL model sharing platform. URL: <https://www.thingiverse.com/> (дата звернення 8.05.2025)

24. Arduino & 3D Printers Integration. URL: <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage> (дата звернення 15.05.2025)

25. GitHub – Open-source slicer projects. URL: <https://github.com/slic3r> (дата звернення 01.06.2025)

26. База знань Ultimaker. URL: <https://support.ultimaker.com/> (дата звернення 02.06.2025)

27. Закон України «Про охорону праці» Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> ДСНП 3.3.6.042-99 (дата звернення 09.06.25)

28. Гігієнічні вимоги до персональних електронно-обчислювальних машин і організації праці користувачів : ДСанПіН 3.3.2.007-98 / МОЗ України. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 1999. 18 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0101282-98#Text> (дата звернення 10.06.25)

29. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування : ДСТУ ISO 45001:2019. [Чинний від 01.01.2021]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 76 с. (дата звернення 10.06.25)

					КС КРБ 123.210.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додадок А

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____Осухівська Г.М.

“___” _____2025 р

Комп'ютерна система для оптимізації 3D-друку

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 7 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____к.т.н., доц. Луцик Н. С.

«___» _____2025 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-41

_____Ковтонюк Р. Р.

«___» _____2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютерна система для оптимізації 3D-друку ».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.210.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Ковтонюк Р. Р.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№4/7-53 від 27.01.2025 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 27.01.2025 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 23.06.2025 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи. Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи – наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Розроблена комп'ютерна система призначена для автоматизованого підбору, збереження та оптимізації параметрів 3D-друку, з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалів, технічних характеристик принтера та умов друку. Система **забезпечує** інтелектуальну підтримку користувача при підготовці моделі до друку, мінімізує людський фактор, скорочує час налаштувань та покращує якість кінцевих виробів.

2.2 Мета створення системи

Метою створення комп'ютерної системи є підвищення ефективності, точності та зручності підготовки параметрів для 3D-друку шляхом автоматизації процесу підбору налаштувань, обробки даних та інтеграції з апаратною частиною 3D-принтера.

Система повинна забезпечити:

- Зменшення часу налаштування друку.
- Покращення якості готових виробів за рахунок оптимізації параметрів.
- Зниження впливу людського фактора.
- Інтуїтивну взаємодію з користувачем через зручний інтерфейс.

Можливість подальшого розширення та адаптації до нових матеріалів і принтерів.

2.3 Характеристика об'єкту

Розроблена система є стаціонарною, яка працює у зв'язці з 3D-принтером через модуль керування. Вона реалізує повноцінний цикл оптимізації параметрів друку — від введення даних до фізичного запуску моделі.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Для ефективної роботи комп'ютерної системи оптимізації параметрів 3D-друку висуваються наступні структурні та функціональні вимоги, які забезпечують її гнучкість, надійність та взаємодію з користувачем і обладнанням:

3.1.1 Структурні вимоги:

Модульна побудова системи — програма повинна складатися з незалежних логічних блоків:

- модуль введення та валідації даних;
- модуль опрацювання та збереження інформації;

- модуль генерації параметрів для друку;
- модуль передачі даних до принтера.
- Наявність вбудованої бази даних для збереження параметрів матеріалів, яка не вимагає підключення до зовнішніх серверів.
- Інтерфейс користувача повинен бути реалізований у вигляді графічного вікна з полями введення, кнопками управління та повідомленнями.
- Можливість масштабування – додавання нових параметрів, функцій або підтримки додаткових матеріалів без зміни основної архітектури.

3.1.2 Функціональні вимоги:

- Прийом вхідних даних від користувача: температурні режими, швидкість, тип матеріалу, тощо.
- Перевірка введених даних на допустимі значення та уникнення помилок через обробку винятків (ValueError, IntegrityError тощо).
- Пошук та автозаповнення параметрів за назвою матеріалу з бази.
- Формування оптимізованого набору параметрів друку згідно введених характеристик.
- Передача параметрів до ПЗ принтера, що забезпечує сумісність з подальшим вбудованим керуванням.
- Інтеграція з апаратною частиною 3D-принтера через модуль управління (датчики, LCD-дисплей, камера).
- Повідомлення про результати дій (успіх, помилки, статус друку) з метою покращення взаємодії з користувачем.

–

Система має працювати у середовищі з мінімальними апаратними вимогами, бути сумісною з популярними ОС, підтримувати автономність та мати зрозумілу логіку для кінцевого користувача.

3.1.3 Вимоги до надійності

Система повинна забезпечувати працездатність та відновлення своїх функцій при виникненні наступних ситуацій:

- при збоях в системі електропостачання апаратної частини;
- при помилках в роботі апаратних засобів;
- при помилках, пов'язаних з програмним забезпеченням (ОС і драйвери пристроїв).

Для захисту апаратури від стрибків напруги і комутаційних завад повинні застосовуватися мережні фільтри.

3.2 Вимоги до безпеки

Зовнішні елементи технічних засобів системи, що перебувають під напругою, повинні мати захист від випадкового дотику, а самі технічні засоби мати занулення або захисне заземлення .

Система електроживлення повинна забезпечувати захисне вимикання при перевантаженнях і коротких замиканнях в колах навантаження, а також аварійне ручне вимикання.

Загальні вимоги пожежної безпеки повинні відповідати нормам на побутове електрообладнання. У разі пожежі не мають виділятися отруйні гази і дим. Після зняття електроживлення має бути доступне застосування будь-яких засобів пожежогасіння.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:

- а) Структурна схема.
- б) Блок схема роботи комп'ютеризованої системи.
- в) Схема електрична принципова.
- г) Результати роботи комп'ютерної системи

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи
бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання.	27.01.2025р. – 01.02.2025р.
2	Аналіз технічного завдання	02.02 – 16.02
3	Робота над розділом 2 Проектна частина	18.02 – 9.03
4	Робота над розділом 3 Практична частина	10.03 – 24.03
5	Робота над розділом 4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	25.03 – 18.04
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	19.04 – 08.06
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	9.06.2025р. – 15.06.2025р.
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	16.06.2025р. – 22.06.2025р.
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	24.06.2025

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

ДОДАТОК Б

ЛІСТИНГ КОДУ

```
import sqlite3
from tkinter import *
from tkinter import messagebox

# Ініціалізація бази даних
conn = sqlite3.connect('materials.db')
c = conn.cursor()
c.execute(
    "CREATE TABLE IF NOT EXISTS materials ("
    "name TEXT PRIMARY KEY, "
    "nozzle_temp INTEGER, "
    "bed_temp INTEGER, "
    "print_speed INTEGER, "
    "fan_speed INTEGER, "
    "nozzle_d REAL, "
    "layer_density REAL, "
    "material_density REAL, "
    "strength REAL, "
    "shrinkage REAL)"
)
conn.commit()

# Додавання готових матеріалів
predefined_materials = [
    ("PLA", 200, 60, 50, 100, 0.4, 0.2, 1.24, 60, 0.4),
```

```
    ("ABS", 240, 100, 60, 0, 0.5, 0.2, 1.05, 45, 1.0),  
    ("PETG", 235, 80, 50, 40, 0.5, 0.2, 1.27, 50, 0.4),  
    ("TPU", 220, 60, 25, 100, 0.4, 0.2, 1.21, 40, 0.3),  
    ("Nylon", 250, 100, 40, 0, 0.6, 0.2, 1.15, 70, 1.2)  
]
```

```
for mat in predefined_materials:
```

```
    try:
```

```
        c.execute("INSERT INTO materials VALUES (?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?,  
            ?, ?)", mat)
```

```
    except sqlite3.IntegrityError:
```

```
        pass
```

```
conn.commit()
```

```
# Побудова GUI
```

```
root = Tk()
```

```
root.title("Оптимізація 3D-друку")
```

```
root.geometry("450x500")
```

```
root.configure(bg="#e0f7f1")
```

```
root.resizable(False, False)
```

```
frame = Frame(root, bg="#d0f0e0", padx=10, pady=10)
```

```
frame.pack(pady=10)
```

```
Label(root, text="Система оптимізації 3D-друку", bg="#e0f7f1",  
    font=("Helvetica", 16, "bold")).pack()
```

```
fields = [
```

```
    ("Назва пластика:", "name_entry"),
```

```

("Температура сопла (°C):", "nozzle_temp_entry"),
("Температура платформи (°C):", "bed_temp_entry"),
("Швидкість друку (мм/с):", "print_speed_entry"),
("Швидкість вентилятора (%):", "fan_speed_entry"),
("Оптимальне сопло (мм):", "nozzle_d_entry"),
("Щільність шару (мм):", "layer_density_entry"),
("Щільність матеріалу (г/см³):", "material_density_entry"),
("Міцність на розрив (МПа):", "strength_entry"),
("Усадка (%):", "shrinkage_entry")
]

```

```

entries = {}

```

```

for idx, (label_text, var_name) in enumerate(fields):
    Label(frame, text=label_text, bg="#d0f0e0").grid(row=idx,
        column=0, sticky=W)
    entries[var_name] = Entry(frame)
    entries[var_name].grid(row=idx, column=1)

```

```

def save_material():
    try:
        data = (
            entries["name_entry"].get(),
            int(entries["nozzle_temp_entry"].get()),
            int(entries["bed_temp_entry"].get()),
            int(entries["print_speed_entry"].get()),
            int(entries["fan_speed_entry"].get()),
            float(entries["nozzle_d_entry"].get()),
            float(entries["layer_density_entry"].get()),

```



```

        float(entries["material_density_entry"].get()),
        float(entries["strength_entry"].get()),
        float(entries["shrinkage_entry"].get())
    )
    c.execute("INSERT INTO materials VALUES (?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?,
    ?, ?)", data)
    conn.commit()
    messagebox.showinfo("Успіх", "Матеріал збережено")
except Exception as e:
    messagebox.showerror("Помилка", f"Не вдалося зберегти дані:
    {e}")

```

```

def find_material():
    name = entries["name_entry"].get()
    c.execute("SELECT * FROM materials WHERE name=?", (name,))
    result = c.fetchone()
    if result:
        for i, key in enumerate(entries):
            entries[key].delete(0, END)
            entries[key].insert(0, result[i])
    else:
        messagebox.showinfo("Результат", "Матеріал не знайдено")

```

```

Button(root, text="Зберегти матеріал", bg="#90d0c0",
        command=save_material).pack(pady=5)
Button(root, text="Знайти матеріал", bg="#a0e0c0",
        command=find_material).pack(pady=5)

```

```

root.mainloop()

```

Додаток В

Перелік елементів електрично принципової схеми

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Індикація та інтерфейс		
JP1	роз'єм підключення LCD	1	
R1	потенціометр для регулювання контрасту LCD	1	
R3	резистор підсвітки LCD	1	
EXP1	інтерфейс підключення до мікроконтролера	1	
	Аудіоіндикація		
LS1	динамік	1	
Q1	транзистор для керування динаміком	1	
R2	резистор бази транзистора	1	
	Bluetooth/Модуль зв'язку:	1	
LS2	Bluetooth-модуль або подібний радіомодуль	1	
SWBP	кнопка скидання (RESET)	1	
	Живлення та стабілізація:		
IC1	стабілізатори напруги	2	
IC2	стабілізатори напруги	2	
C1/C2	фільтрувальні конденсатори	1	
VCC	джерело живлення	1	
	Інтерфейс для SD-карти:		
JP4	роз'єм для SD-карти	1	
IC3	логічний буфер	1	
JP3	заголовок підключення SPI/SD	1	
	Роз'єми		
EXP1	з'єднання з основною платою мікроконтролера	1	
RESET	контакт для скидання	1	
DATAIN	лінії SPI для SD-карти	1	
</			

