

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування
технологічним процесом 3D-друку»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи
1КН-23м спеціальності 122 «Комп'ютерні
науки»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Крикливий К.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф. каф. КН

Іванчук Я.В.
(прізвище та ініціали)
« 05 » 12 2024 р.

Опонент: д.т.н., проф. зав. каф. КСУ

Ковтун В. В.
(прізвище та ініціали)
« 05 » 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри КН

д.т.н., проф. Яровий А.А.
(прізвище та ініціали)

« 06 » 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ- 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра системного аналізу та інформаційних технологій
Рівень вищої освіти – II-й (магістерський)
Галузь знань – 12 Інформаційні технології
Спеціальність 122 – «Комп'ютерні науки»
Освітньо-професійна програма – «Системи штучного інтелекту»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КН

д.т.н., проф. Яровий А.А.

“11” 10 2024 року

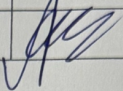
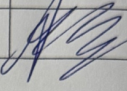
ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Крикливому Кирилу Юрійовичу

1. Тема роботи: «Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку»
керівник роботи: Іванчук Я. В., д. т. н., проф. каф. КН
затверджені наказом ВНТУ від «11» 09 2024 року №310
2. Термін подання студентом роботи 11.11.2024
3. Вихідні дані: тип принтера – FDM, SLA, SLS; Розміри робочої області - 200x200 мм, 300x300 мм, 500x500 мм; Матеріали - PLA, ABS, PETG, Nylon; Температура датчиків - 180°C, 210°C, 240°C; Стан принтера - готовий, в роботі, помилка; Якість відео з камер - 480p, 720p, 1080p.
4. Зміст текстової частини: вступ, аналіз предметної області технологій дистанційного моніторингу і керування 3D-друком, розробка інформаційної технології дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку, програмна реалізація інформаційної технології, економічна частина, висновки, перелік використаних джерел, додатки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): блок-схема алгоритму інформаційної технології моніторингу та керування друку, діаграми залежностей модулів, діаграма архітектури інформаційної системи моніторингу та керування друку, схема обробки та класифікації зображень, графік точності та втрат моделі під час обробки зображень, схема процесу навчання та оцінювання моделі для розпізнавання об'єктів.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-3	Іванчук Я.В., к.т.н., доц. каф. КН		
4	Лесько О.Й., к.е.н., проф. каф. ЕПВМ		

7. Дата видачі завдання 02.09.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз предметної області	02.09.24 - 16.09.24	
2	Основні етапи виконання роботи та огляд вхідного набору даних	17.09.24 - 01.10.24	
3	Розроблення інформаційної технології дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку	02.10.24 - 15.10.24	
4	Побудування моделей для детекції дефектів під час 3D друку	16.10.24 - 28.10.24	
5	Економічна частина	29.10.24 - 04.11.24	
6	Оформлення матеріалів до захисту МКР	05.11.24 - 11.11.24	

Студент

(підпис)

Крикливий К. Ю.

Керівник роботи

(підпис)

Іванчук Я. В.

АНОТАЦІЯ

УДК 004.8

Крикливий К.Ю. Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 122 – комп'ютерні науки, освітня програма – системи штучного інтелекту. Вінниця: ВНТУ, 2024. 111 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 28 назв; рис.: 33; табл. 10.

Дана магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці інформаційної технології для дистанційного моніторингу і керування 3D-друком. У роботі виконано аналіз існуючих систем для моніторингу технологічних процесів, розроблено метод і архітектуру системи, яка дозволяє контролювати процес друку, своєчасно виявляти можливі дефекти та автоматично реагувати на них. Для створення системи використано алгоритми штучного інтелекту, включаючи Convolutional Neural Network (CNN), для обробки зображень та аналізу параметрів друку. Програмна реалізація виконана на Python із застосуванням бібліотек TensorFlow, OpenCV, Flask для серверної частини, а також cv2 для роботи з потоками з камер. Система забезпечує автоматичний моніторинг у реальному часі, надсилає повідомлення користувачеві через Telegram-бота та дозволяє дистанційно керувати 3D-принтером.

Графічна частина складається з 21 плакатів.

У економічному розділі проведено розрахунок витрат на розробку системи, які складають 209 969 гривень. Також розраховано термін окупності проекту для виробника, що становить 0,6 року, та економічний ефект для споживача при впровадженні даної системи.

Ключові слова: моніторинг, 3D-друк, штучний інтелект, Convolutional Neural Network, Python, сервер, камера, дистанційне керування.

ABSTRACT

Kryklyvyi K.Y. Information technology for remote monitoring and control of the technological process of 3D printing. Master's qualification work on specialty 122 - computer science, educational program – artificial intelligence systems. Vinnytsia: VNTU 2024. 111 p.

In Ukrainian language. Bibliography: 28 titles; Fig.: 33; table 10.

This Master's thesis is devoted to the development of information technology for remote monitoring and control of 3D printing. The work analyzed the existing systems for monitoring technological processes, developed a method and system architecture that allows you to control the printing process, detect possible defects in a timely manner and automatically respond to them. Artificial intelligence algorithms, including Convolutional Neural Network (CNN), were used to create the system for image processing and analysis of printing parameters. The software implementation is made in Python using the TensorFlow, OpenCV, Flask libraries for the server part, as well as cv2 for working with streams from cameras. The system provides automatic monitoring in real time, sends messages to the user via the Telegram bot and allows remote control of the 3D printer.

The graphic part consists of 21 posters.

In the economic section, the costs for the development of the system were calculated, which amount to 209 969 hryvnias. The payback period of the project for the manufacturer, which is 0,6 years, and the economic effect for the consumer when implementing this system are also calculated.

Keywords: monitoring, 3D printing, artificial intelligence, Convolutional Neural Network, Python, server, camera, remote control.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	7
1.1 Аналіз методів дистанційного моніторингу у технології 3D-друку.....	7
1.2 Огляд сучасних методів керування технологічними процесами 3D-друку	11
1.3 Аналіз програмного забезпечення для моніторингу та керування 3D-друку .	15
1.4 Висновок до розділу 1	19
2 ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ І	
КЕРУВАННЯ АДИТИВНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ.....	20
2.1 Розробка інформаційної системи дистанційного моніторингу 3D-друку.....	20
2.2 Розробка інформаційної системи для моніторингу 3D-друком.....	22
2.3 Розробка архітектури інформаційної системи моніторингу та керування.....	29
2.4 Розробка алгоритму функціонування програмного модуля моніторингу 3D- друку	40
2.5 Висновок до розділу 2.....	43
3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ І	
КЕРУВАННЯ 3D-ДРУКОМ.....	44
3.1 Вибір та обґрунтування мов і середовища програмування	44
3.2 Програмна розробка модуля моніторингу 3D-друку	47
3.3 Тестування та валідація системи моніторингу	52
3.4 Висновок розділу 3.....	58
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	59
4.1 Визначення комерційного потенціалу розробки	59
4.1.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	60
4.1.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки	64
4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи	67
4.3.1 Витрати на оплату праці	67

4.3.2 Відрахування на соціальні заходи.....	70
4.3.3 Сировина та матеріали.....	70
4.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі.....	71
4.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт	72
4.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт	72
4.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень	72
4.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей	73
4.3.9 Службові відрядження	73
4.3.10 Інші витрати.....	74
4.3.11 Накладні (загальновиробничі) витрати.....	74
4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	76
4.5 Висновки до розділу 4.....	80
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	83
Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	86
Додаток Б (обов'язковий) Лістинг програми.....	87
Додаток В (обов'язковий) Ілюстративна частина	93
Додаток Г (довідниковий) Інструкція користувача.....	110

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах стрімкого розвитку технологій 3D-друку зростають вимоги до точності та ефективності процесів моніторингу і керування. Сучасні системи контролю часто стикаються з труднощами, пов'язаними з виявленням дефектів, що можуть виникати через порушення температурних параметрів, зміщення шарів або недостатню адгезію матеріалу. Особливої уваги потребують методи автоматизації аналізу даних, які забезпечують своєчасне реагування на відхилення у технологічному процесі [1].

Галузь застосування даних технологій є надзвичайно широкою, включаючи виробництво прототипів, інженерні розробки, біомедичне друкування та серійне виробництво. Якість продукції, виготовленої методом 3D-друку, залежить від здатності системи оперативно і точно виявляти недоліки, запобігаючи матеріальним втратам і скорочуючи час простою обладнання. В умовах зростаючого попиту на високоякісні вироби актуальним є застосування штучного інтелекту, зокрема згорткових нейронних мереж (Convolutional Neural Networks, CNN), для аналізу зображень процесу друку та параметрів із вбудованих датчиків.

Інтеграція технологій штучного інтелекту із сучасними засобами моніторингу дозволяє створити ефективні системи автоматизації. Параметри, такі як точність виявлення дефектів (до 95%), час реагування (5 секунд) та ефективність корекції помилок, є ключовими для оцінки якості подібних систем. Впровадження таких рішень сприятиме зменшенню кількості бракованої продукції та підвищенню загальної конкурентоспроможності підприємств [2].

Таким чином, дослідження та розробка інтегрованих систем моніторингу і управління для 3D-друку є вкрай актуальними, оскільки вони вирішують критично важливі завдання забезпечення якості і оптимізації виробничих процесів у сучасних умовах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська кваліфікаційна робота виконана відповідно до напрямку наукових досліджень кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету,

22 К1 «Розробка прикладних інтелектуальних інформаційних технологій та систем» та плану наукової та навчально–методичної роботи кафедри.

Метою дослідження є підвищення точності ідентифікації дефектів технічного виробу 3D-друку за допомогою використання штучної нейронної мережі, що дозволить підвищити ефективність автоматизованої системи моніторингу та управління адитивним технологічним процесом.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- проаналізувати предметну область та об’єкт дослідження;
- розробити метод автоматизованого моніторингу технологічного процесу 3D-друку;
- розробити архітектуру програмної системи моніторингу 3D-друку;
- реалізувати програмний модуль для обробки даних з камери відеоспостереження з метою виявлення дефектів 3D-друку;
- виконати тестування та валідацію розробленої програмної системи;
- провести розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за можливого її застосування.

Об’єктом дослідження є процес моніторингу та управління технологічним процесом 3D-друку з використанням сучасних методів штучного інтелекту.

Предметом дослідження є програмний модуль для моніторингу і виявлення дефектів у процесі 3D-друку.

Методи дослідження. У роботі використано системний аналіз для вивчення структури інформаційної системи, а також математичні методи для обробки даних та виявлення дефектів, методи штучного інтелекту.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці моделі діагностування та ідентифікації технологічного процесу 3D-друку за допомогою використання штучного інтелекту, яка на відміну від існуючих відрізняється використанням згорткової нейронної мережі.

Практичне значення одержаних результатів у наступному:

- розроблено загальну модель функціонування інформаційної системи дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку;
- розроблено програмний, що забезпечує ефективний моніторинг і виявлення дефектів у 3D-друці, що може суттєво зменшити витрати на виправлення помилок та підвищити якість кінцевої продукції.

Достовірність теоретичних положень підтверджується коректним застосуванням математичних методів та результатами тестування розробленої системи.

Особистий внесок магістранта. Усі результати, наведені у магістерській роботі, отримані самостійно.

Апробація результатів роботи. Фактичні результати роботи були апробовані на конференціях у рамках наукових заходів [1, 2, 3].

Публікації. Результати дослідження були представлені у вигляді тез на науково-технічних конференціях та зареєстровані як авторське право [1, 2, 3].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз методів дистанційного моніторингу у технології 3D-друку

Дистанційний моніторинг 3D-друку стає важливою складовою сучасних виробничих процесів, адже він дозволяє забезпечити контроль над технологічними параметрами в реальному часі. Це важливо для підвищення якості продукції, зменшення витрат на обслуговування та скорочення часу простою.

Однією з основних технологій, що використовуються для дистанційного моніторингу, є вбудовані датчики, які встановлюються на 3D-принтерах [4]. Ці датчики контролюють різні критичні параметри, такі як температура екструдера, швидкість друку та стан матеріалів. Завдяки їм користувачі отримують актуальні дані, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в процесі друку. Наприклад, температурні датчики (рис. 1.1) можуть вказувати на перегрів, що дає змогу уникнути серйозних дефектів у виробі.

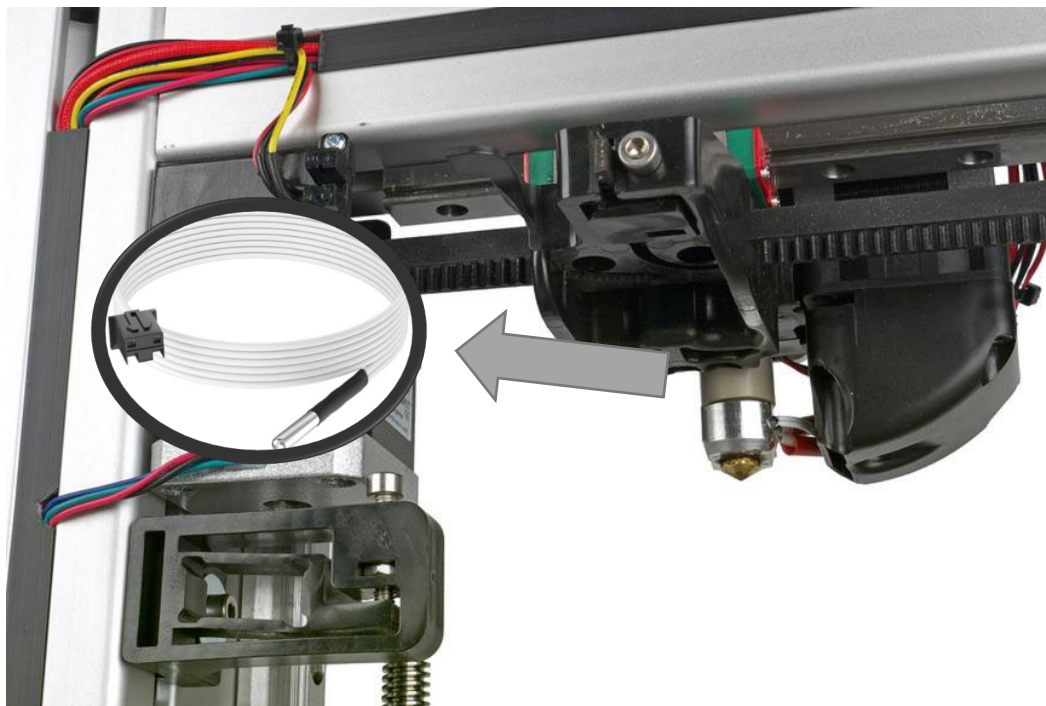


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд розміщення температурного датчику у 3D-принтері

Відеоспостереження є ще одним важливим аспектом дистанційного моніторингу. Використання камер, які фіксують процес друку, дозволяє візуально контролювати якість виготовлених виробів. Це особливо корисно для виявлення дефектів, які не можуть бути зафіксовані лише за допомогою датчиків. Завдяки відеоспостереженню можна не лише визначити стан моделі, а й збирати дані для тренування штучного інтелекту, який може автоматично виявляти дефекти (рис. 1.2) в процесі друку. Камери можуть бути інтегровані у систему моніторингу, що надає можливість візуальної перевірки стану друку та дозволяє вчасно виявляти проблеми.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд різних моделей із дефектами в результаті друку

Хмарні технології також відіграють важливу роль у дистанційному моніторингу. Вони дозволяють зберігати та обробляти дані з 3D-принтерів онлайн, що забезпечує гнучкість і доступність інформації. Таке рішення, як AstroPrint (рис. 1.3), забезпечує доступ до даних про стан принтера з будь-якої точки світу, що робить управління процесами ще більш зручним [5]. Це особливо актуально для підприємств, які використовують кілька принтерів одночасно, оскільки користувачі можуть контролювати всі свої пристрої з єдиного інтерфейсу, отримуючи актуальну інформацію про їхній стан.

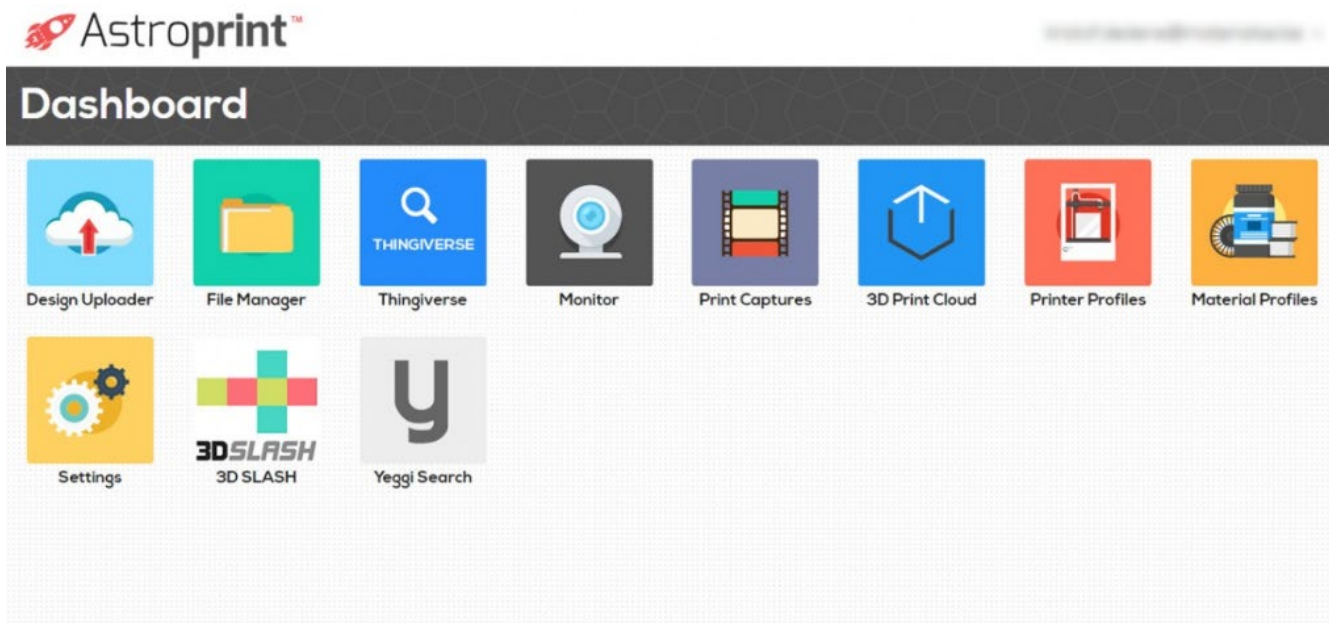


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд застосунку AstroPrint

Хмарні платформи також надають можливість зберігати історію друку, що дозволяє проводити аналіз минулих проектів і виявляти тренди у виробництві. Користувачі можуть отримувати аналітичні звіти, які допомагають визначити ефективність роботи принтерів та виявити можливості для оптимізації процесів. Наприклад, дані про частоту збоїв у роботі принтера можуть бути використані для вдосконалення технології друку або для вибору більш якісних матеріалів.

Технології Інтернету речей (TIIoT) відкривають нові можливості для моніторингу 3D-друку, надаючи можливість з'єднувати 3D-принтери з Інтернетом і забезпечувати безперервний доступ до даних про їх роботу [6]. Це з'єднання дозволяє користувачам отримувати актуальну інформацію в режимі реального часу, що є критично важливим для оперативного управління процесом друку.

Завдяки IoT, 3D-принтери можуть передавати дані про різні параметри роботи, такі як температура екструдера, швидкість друку та стан матеріалів, на хмарні платформи для зберігання та аналізу. Це дозволяє проводити детальний моніторинг продуктивності принтерів і швидко виявляти будь-які аномалії чи збої в процесі друку. Користувачі можуть отримувати сповіщення на свої мобільні

пристрої чи комп'ютери у разі виявлення проблем, що дозволяє їм вжити необхідних заходів без затримок.

Крім того, інтеграція 3D-принтерів з іншими TIP-пристроями відкриває можливість для комплексного управління виробничими процесами. Наприклад, 3D-принтери можуть бути зв'язані з системами управління складом, що дозволяє автоматично контролювати запаси матеріалів і поповнювати їх у разі потреби.

Технології TIP (рис. 1.4) також сприяють збору даних для подальшого аналізу. Інформація, отримана від 3D-принтерів, може бути використана для оптимізації процесів, виявлення трендів у продуктивності та вдосконалення технологій друку. Аналіз таких даних може призвести до покращення якості продукції та підвищення ефективності роботи. Використання всіх цих технологій у 3D-друці має суттєві переваги.

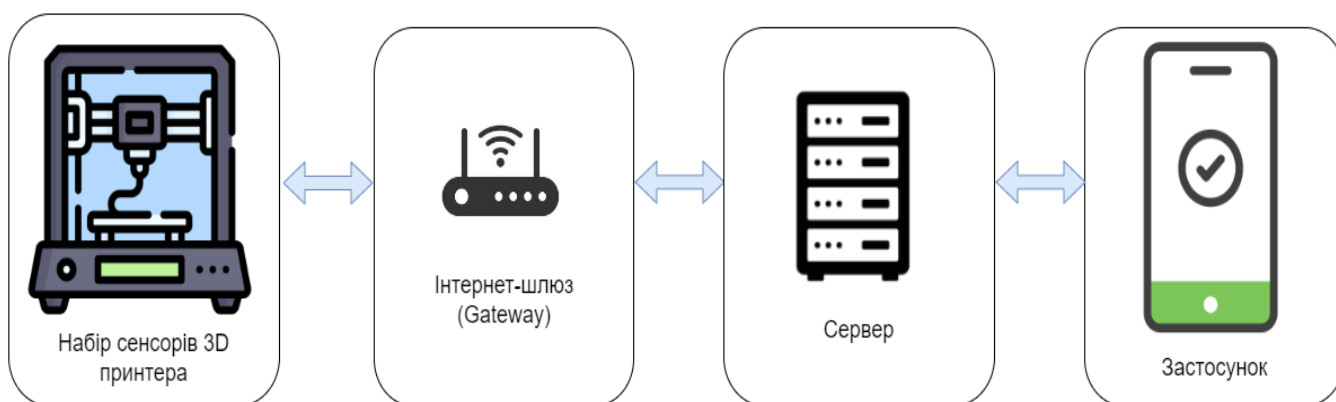


Рисунок 1.4 – Загальний вигляда взаємодії TIP із 3D принтером

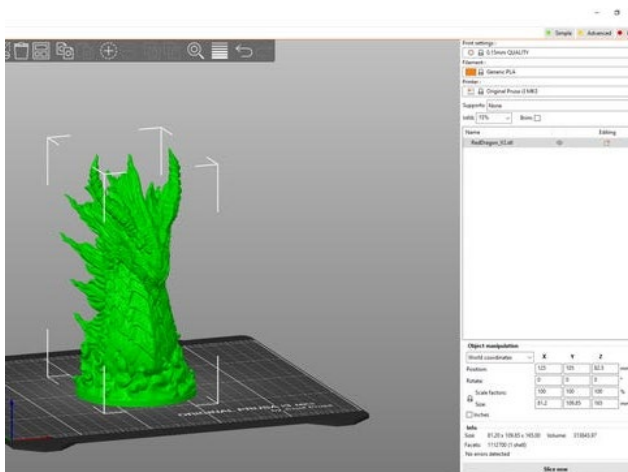
По-перше, дистанційний моніторинг підвищує продуктивність, адже оператори можуть швидко реагувати на проблеми, зменшуючи час простоїв. По-друге, можливість візуального контролю покращує якість продукції, знижуючи ризик виготовлення дефектних виробів. І, нарешті, економія витрат стає ще одним важливим аспектом, оскільки зменшення потреби в присутності фахівців на місці дозволяє знизити витрати на обслуговування.

1.2 Огляд сучасних методів керування технологічними процесами 3D-друку

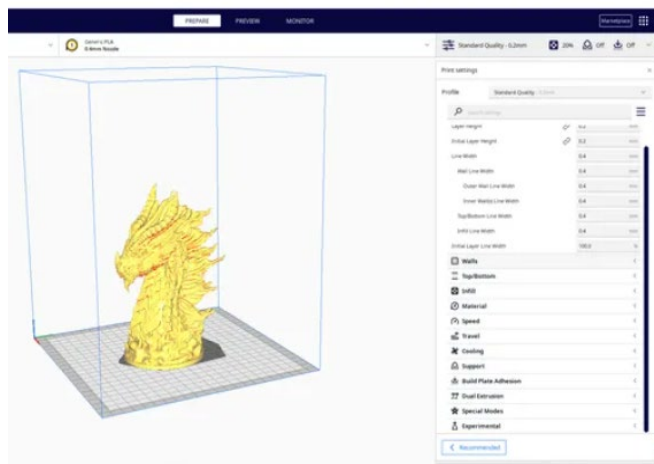
Сучасні методи керування технологічними процесами 3D-друку забезпечують оптимізацію, підвищення ефективності та покращення якості виробництв. Ці методи охоплюють різні аспекти, починаючи з налаштування параметрів друку і завершуючи моніторингом та управлінням у реальному часі. У наступних розділах буде детально розглянуто основні підходи, які застосовуються в цій індустрії.

Програмне забезпечення для slicers, або слайсерів, відіграє критичну роль у процесі 3D-друку, оскільки саме ці програми відповідають за перетворення 3D-моделей у зрізи, які потім використовуються для генерації інструкцій для принтера.

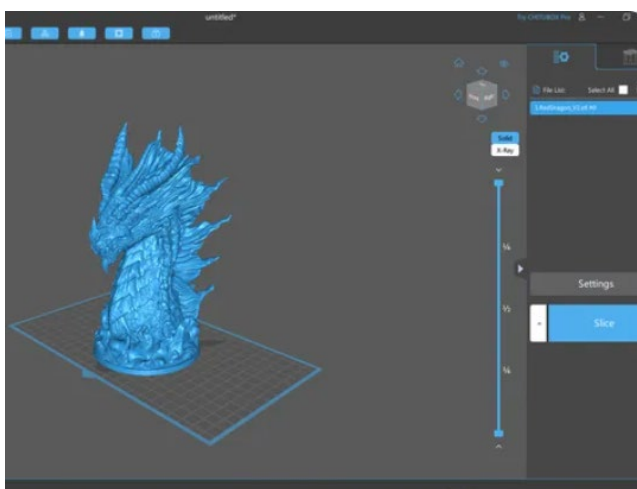
Серед параметрів, які можуть бути змінені, варто виділити товщину шару, швидкість друку, температуру екструдера та платформи. Ці налаштування дозволяють оптимізувати процес для конкретних матеріалів і моделей, враховуючи їх фізичні характеристики та вимоги. Наприклад, для пластиків з високою температурною стабільністю можна застосовувати більшу швидкість друку, тоді як для делікатніших матеріалів, таких як смоли, необхідно знижувати швидкість, щоб уникнути деформацій. Правильне налаштування параметрів за допомогою слайсера може суттєво підвищити якість кінцевого продукту, зменшити ймовірність дефектів і оптимізувати час виготовлення. Слайсери, такі як Cura, Simplify3D та PrusaSlicer, Chitubox Pro (рис. 1.5), надають користувачам можливість детально налаштовувати різні параметри друку, що є ключовим для досягнення високої якості виготовлених виробів [7].



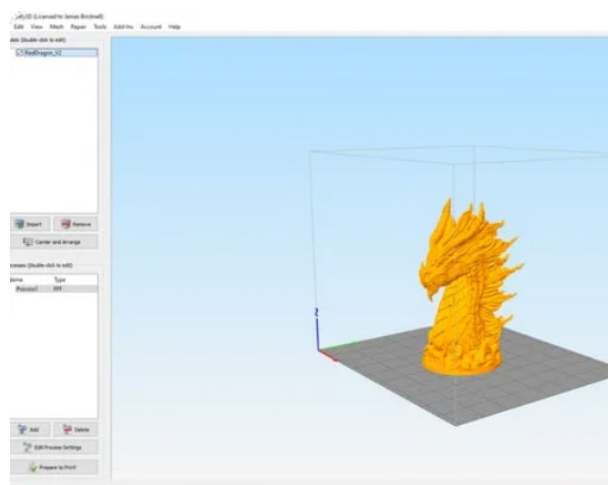
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.5 – Приклади роботи різних slicers (слайсерів):

а) приклад роботи PrusaSlicer; б) приклад роботи Cura; в) приклад роботи Chitubox Pro; г) приклад роботи Simplify3D

Таким чином, слайсери не лише спрощують підготовку 3D-друку, але й забезпечують користувачів інструментами для досягнення найкращих можливих результатів у виготовленні виробів. З їхньою допомогою можна адаптувати процес друку до конкретних умов і вимог, що робить їх невід'ємною частиною сучасного 3D-виробництва.

Автоматизація займає центральне місце в сучасних технологіях 3D-друку, оскільки впровадження роботизованих систем у виробничі процеси істотно

спрощує і прискорює виготовлення деталей. Такі системи можуть автоматично завантажувати та вивантажувати матеріали, що значно знижує потребу в ручній праці та зменшує ризики людських помилок [8]. Це особливо важливо для підприємств, які працюють з великими обсягами виробництва і прагнуть підвищити свою продуктивність (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд автоматизованої “ферми” з 3D принтерів

Крім того, автоматизація дозволяє виконувати обробку готових виробів, таку як шліфування або очищення, без втручання людини. Це не лише прискорює виробничий процес, але й покращує якість кінцевих продуктів, адже автоматизовані системи забезпечують стабільність і точність на всіх етапах виготовлення. В результаті, компанії, що впроваджують автоматизацію, отримують конкурентну перевагу завдяки зниженню витрат і підвищенню швидкості реагування на потреби ринку.

Використання штучного інтелекту. Штучний інтелект (ШІ) стає все більш важливим елементом у процесах 3D-друку, завдяки своїй здатності аналізувати великі обсяги даних і автоматично налаштовувати параметри друку. Зокрема, алгоритми машинного навчання можуть вивчати історичні дані, отримані під час

друку, що дозволяє їм виявляти оптимальні налаштування для нових проектів [6]. Це особливо корисно для інженерів і дизайнерів, оскільки вони можуть використовувати отримані знання для покращення якості продукції і зменшення часу на налаштування принтерів.

Крім того, застосування ШІ дозволяє виявляти дефекти у виробі під час процесу друку. Використовуючи комп'ютерний зір і алгоритми обробки зображень, системи ШІ можуть в реальному часі аналізувати зображення, отримані з камер, які спостерігають за процесом. Це дає змогу швидко виявляти аномалії, такі як зміщення шарів, недостатня адгезія або деформація, що може загрожувати якістю кінцевого продукту. Вчасне виявлення дефектів дозволяє коригувати параметри друку в реальному часі, що знижує ймовірність відходів та матеріальних витрат.

Впровадження ШІ в 3D-друк також сприяє автоматизації процесів управління та контролю. Завдяки інтеграції з системами моніторингу, штучний інтелект може аналізувати дані про стан принтера, виявляти тенденції у виробничих процесах та рекомендувати оптимізації. Ці можливості роблять виробництво більш ефективним і адаптивним до змін, дозволяючи компаніям швидше реагувати на потреби ринку і покращувати якість своїх виробів. У результаті, технології штучного інтелекту стають важливим інструментом для підвищення продуктивності та інноваційності в сфері 3D-друку.

Інтернет речей (IP). Як уже зазначалося і пункті 1.1, технології IoT дозволяють інтегрувати 3D-принтери з іншими пристроями і системами. Це відкриває нові можливості для управління процесами в реальному часі. Користувачі можуть контролювати кілька принтерів одночасно, отримувати сповіщення про стан виробництва та автоматично регулювати параметри друку. Така інтеграція підвищує гнучкість та ефективність виробництва.

Системи управління виробництвом (Manufacturing Execution Systems, MES) відіграють ключову роль у сучасних виробничих процесах, включаючи 3D-друк. Ці системи забезпечують комплексний підхід до управління всіма аспектами виробництва, надаючи можливість моніторингу та контролю на різних етапах процесу. Завдяки MES компанії можуть відстежувати продуктивність своїх 3D-

принтерів, що дозволяє оперативно виявляти та усувати проблеми, які можуть негативно вплинути на якість продукції або затримати виробничий процес.

Окрім моніторингу продуктивності, MES також дозволяє оптимізувати використання ресурсів, таких як матеріали та час [10]. Це досягається завдяки аналізу даних про виробничі цикли, що допомагає визначити найбільш ефективні способи використання матеріалів і зменшити відходи. Наприклад, система може запропонувати оптимальні налаштування для 3D-друку залежно від типу матеріалу, що використовується, та специфікацій замовлення, що дозволяє знизити витрати та підвищити ефективність виробництва.

Крім того, MES забезпечує компанії детальними звітами про виконання виробничих планів, що дозволяє своєчасно реагувати на відхилення від графіка. Завдяки цьому керівники можуть вжити необхідних заходів для корекції ситуації, зокрема перепланувати виробництво або внести зміни до налаштувань принтерів. У результаті, впровадження систем MES у виробничі процеси 3D-друку не лише покращує контроль якості, але й підвищує гнучкість та адаптивність компаній до швидко змінюваних умов ринку.

1.3 Аналіз програмного забезпечення для моніторингу та керування 3D-друку

У сучасній індустрії 3D-друку програмне забезпечення для моніторингу та керування відіграє важливу роль у забезпеченні ефективності та якості виробництва. Воно дозволяє користувачам отримувати актуальну інформацію про стан принтерів, налаштовувати параметри друку в реальному часі та автоматизувати процеси, що сприяє зменшенню витрат та покращенню кінцевих виробів.

Одним із найбільш популярних програмних рішень для моніторингу 3D-друку є OctoPrint. Ця безкоштовна платформа з відкритим кодом надає користувачам можливість управляти 3D-принтерами через зручний веб-інтерфейс. OctoPrint дозволяє слідкувати за процесом друку в режимі реального часу, що дає

змогу оперативно реагувати на будь-які проблеми, які можуть виникнути під час роботи. Користувачі можуть отримувати сповіщення про стан принтера, такі як температура екструдера, статус друку та наявність помилок [11]. Завдяки цьому OctoPrint забезпечує не лише контроль над процесом (рис. 1.7), а й підвищує безпеку, оскільки користувачі можуть залишатися в курсі ситуації навіть у разі відсутності фізичної присутності біля принтера.

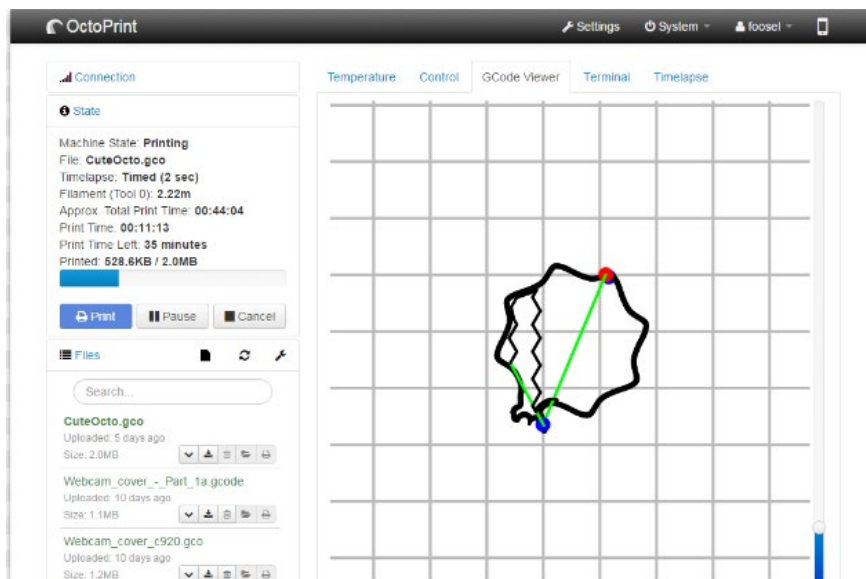


Рисунок 1.7 – Загальний вигляд платформи OctoPrint

Ключова перевага OctoPrint є його широка підтримка плагінів, що дозволяє користувачам адаптувати платформу відповідно до своїх індивідуальних потреб. Це означає, що користувачі можуть додавати функціонал для відеоспостереження, що забезпечує візуальний контроль за процесом друку, а також інструменти для автоматизації, які дозволяють налаштовувати параметри друку безпосередньо через інтерфейс. Наприклад, плагіни можуть надавати можливість керування декількома принтерами одночасно або інтеграцію з хмарними сервісами для зберігання та аналізу даних. Таким чином, OctoPrint стає потужним інструментом для оптимізації виробничих процесів у сфері 3D-друку, допомагаючи користувачам досягати найкращих результатів і підвищувати ефективність їх роботи.

Іншим важливим програмним забезпеченням є AstroPrint, яке також забезпечує доступ до 3D-друкарень через хмару [12]. AstroPrint дозволяє користувачам відстежувати свої принтери з будь-якої точки світу, а також надає можливість легко налаштовувати параметри друку та управляти проектами. Хмарні рішення, такі як AstroPrint (рис. 1.8), забезпечують безперервний доступ до даних і зберігання історії друку, що дозволяє проводити детальний аналіз продуктивності і виявляти можливі проблеми.

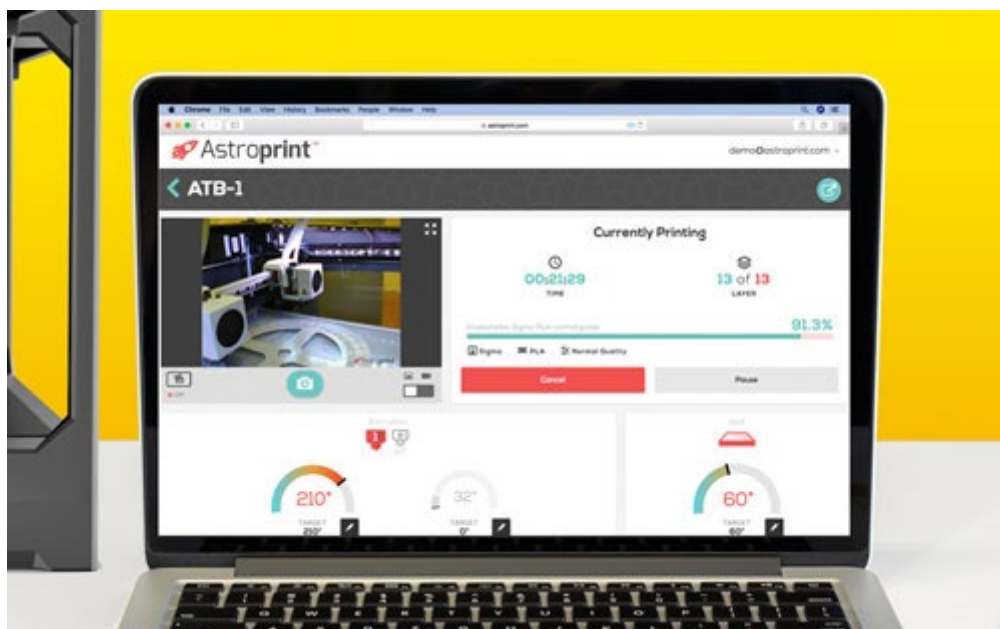


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд платформи AstroPrint

Серед інших програмних рішень можна згадати Repetier-Server та MatterControl. Repetier-Server [13] пропонує функції для управління кількома принтерами одночасно і забезпечує інтеграцію з різними протоколами, що робить його універсальним інструментом для виробництва (рис. 1.9).

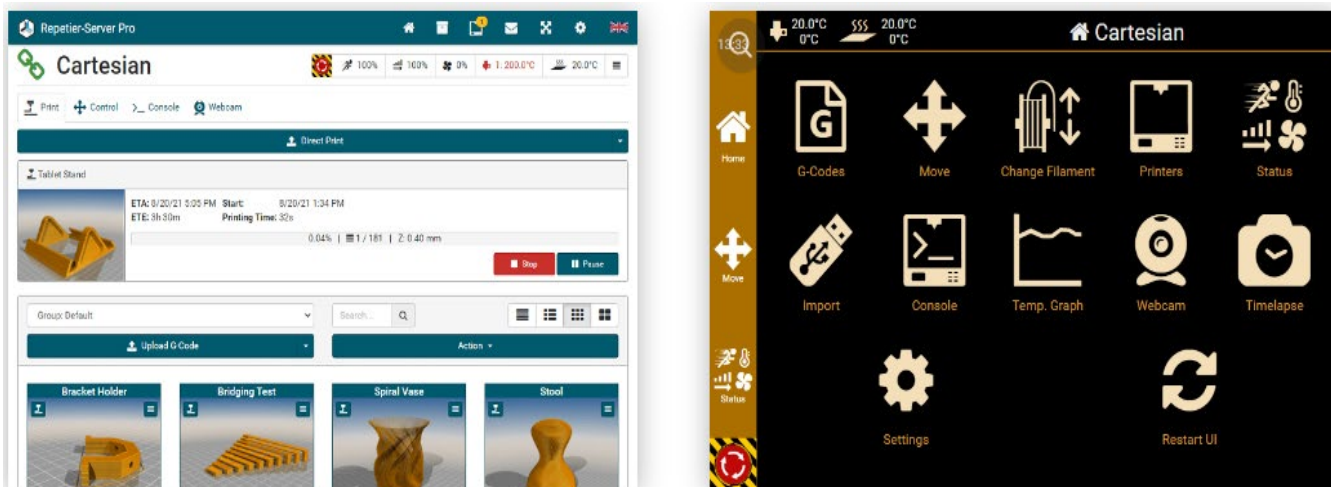


Рисунок 1.9 – Загальний вигляд платформи Repetier-Server

MatterControl [14], в свою чергу, є потужним інструментом для управління проектами, який об'єднує функції слайсера з можливістю моніторингу та керування принтером. Це рішення дозволяє легко створювати 3D-моделі, налаштовувати параметри друку і контролювати процес у реальному часі (рис. 1.10).

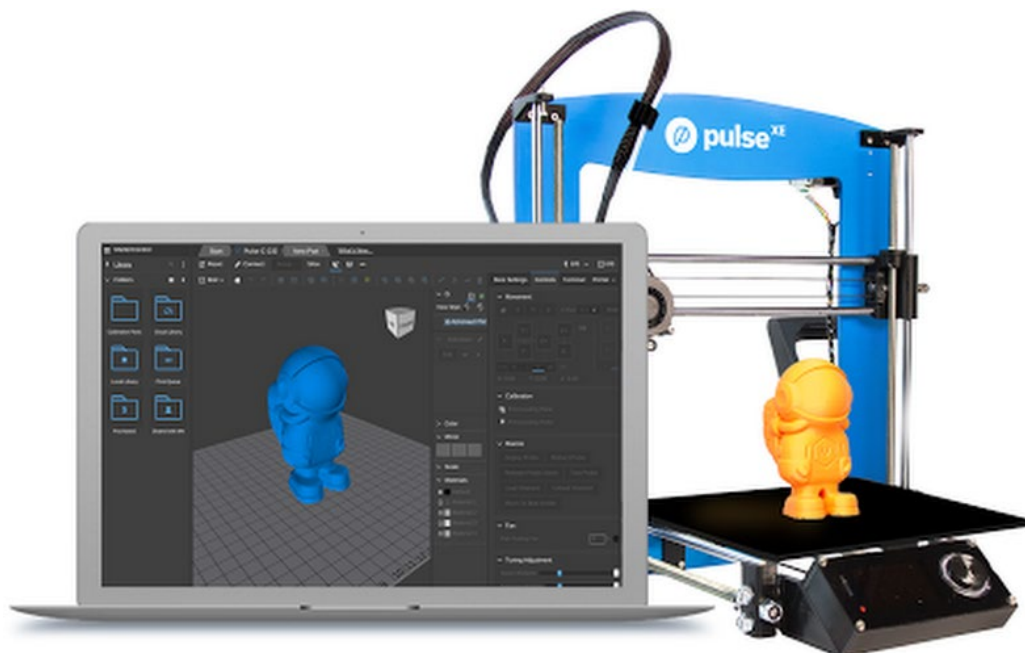


Рисунок 1.10 – Загальний вигляд платформи MatterControl

Таким чином, програмне забезпечення для моніторингу та керування 3D-друком суттєво підвищує ефективність виробничих процесів, забезпечуючи

користувачам інструменти для оптимізації налаштувань, виявлення дефектів та покращення якості продукції. Використання таких платформ, як OctoPrint, AstroPrint, Repetier-Server і MatterControl, дозволяє виробникам адаптуватися до швидко змінюваних умов ринку та забезпечити високу продуктивність своїх 3D-принтерів.

1.4 Висновок до розділу 1

У першому розділі було проаналізовано основні технології дистанційного моніторингу та керування 3D-друком. Зокрема, досліджено роль вбудованих датчиків, відеоспостереження та хмарних рішень, які надають можливість контролювати процес друку в реальному часі. Використання цих технологій дозволяє оперативно виявляти дефекти, коригувати параметри та підвищувати якість кінцевого продукту, знижуючи витрати та мінімізуючи відходи.

Також було розглянуто сучасні методи керування технологічними процесами та програмне забезпечення, яке дозволяє відстежувати параметри друку, налаштовувати їх відповідно до вимог і забезпечувати стабільність процесу. Використання таких інструментів сприяє автоматизації процесів, підвищує ефективність виробництва та допомагає досягати високої якості продукції, оптимізуючи ресурси та знижуючи ризики, пов'язані з людським фактором.

2 ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ І КЕРУВАННЯ АДИТИВНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

2.1 Розробка інформаційної системи дистанційного моніторингу 3D-друку

Метод дистанційного моніторингу 3D-друку полягає у зборі, аналізі та інтерпретації даних з 3D-принтерів у реальному часі з використанням вбудованих датчиків, камер спостереження та штучного інтелекту (ШІ). Мета цієї системи — забезпечити постійний контроль за процесом друку, своєчасно виявляти можливі дефекти та покращувати загальну якість продукції.

Цільова аудиторія системи включає різноманітні категорії користувачів, залежно від їхніх потреб та масштабів використання 3D-друку. Нижче наведено детальний опис основних категорій:

- Оператори 3D-принтерів на малих та середніх підприємствах. Ця категорія користувачів прагне автоматизувати процеси моніторингу та зменшити залежність від ручної праці. На малих та середніх підприємствах часто використовується обмежена кількість принтерів, і неможливо постійно фізично контролювати їх роботу. Оператори 3D-принтерів потребують системи, яка автоматично виявляє помилки та відправляє сповіщення у випадку збою. Це дозволяє їм швидше реагувати на проблеми, уникати втрати матеріалів і знижувати час простою обладнання.

- Інженери-дизайнери, які працюють із 3D-принтерами, орієнтовані на високу якість моделей і точність виробництва. Ця група користувачів зацікавлена у швидкому виявленні дефектів та проблем у процесі друку, щоб своєчасно коригувати параметри або зупинити процес. Для них важливо не лише отримувати повідомлення про помилки, а й мати доступ до відеомоніторингу для візуальної оцінки ситуації. Завдяки інтеграції ШІ, який може виявляти дефекти, інженери-дизайнери отримують можливість підвищувати точність та якість своїх виробів, що допомагає втілювати складні дизайнерські рішення.

- Великі виробничі компанії. Ця категорія користувачів використовує великі парки 3D-принтерів і потребує масштабованих рішень для моніторингу. На великих підприємствах важко контролювати роботу десятків принтерів одночасно вручну. Система дистанційного моніторингу дозволяє централізовано контролювати всі пристрої та оперативно реагувати на будь-які збої.

Розробка методу дистанційного моніторингу 3D-друку має численні можливості для розширення. Однією з важливих функцій є аналіз витрат матеріалів. Інтеграція модулів для збору та аналізу даних про витрати дозволяє контролювати використання матеріалів у реальному часі та генерувати звіти про їхню витрату. Наприклад, система може фіксувати кількість філаменту, що використовується для кожного друку, і порівнювати ці дані з нормативними показниками, виявляючи неефективність у використанні ресурсів.

Крім того, впровадження алгоритмів, які прогнозують час завершення друку на основі історичних даних, може суттєво підвищити ефективність виробництва. Система здатна аналізувати минулі сесії, щоб визначити середній час, необхідний для друку аналогічних моделей, що дозволяє більш точно планувати виробничі графіки. Аналіз часу, необхідного для виконання окремих етапів, таких як налаштування принтера або обробка матеріалів, також може бути корисним.

Важливим аспектом є покращення інтерфейсу користувача, що дозволяє операторам і дизайнерам легше взаємодіяти з системою. Додавання елементів візуалізації, таких як графіки, діаграми та інтерактивні елементи управління, допоможе користувачам швидше отримувати потрібну інформацію та приймати обґрунтовані рішення.

Поряд з можливостями розширення, існують і потенційні виклики, які можуть виникнути при впровадженні системи. По-перше, система залежить від стабільного Інтернет-з'єднання для роботи Telegram-бота та хмарних сервісів. Перебої у з'єднанні можуть призвести до втрати контролю над процесом друку або до затримок у сповіщеннях про дефекти. Тому важливо мати резервні канали зв'язку або локальні рішення для забезпечення безперервної роботи системи.

По-друге, інтеграція різних компонентів, таких як датчики, камери та штучний інтелект, може бути складним завданням. Для налаштування системи може знадобитися час і кваліфіковані фахівці, що може стати бар'єром для малих підприємств, які не мають достатніх ресурсів для інвестицій у подібні технології. Усвідомлення цих можливостей і викликів допоможе створити більш ефективну і надійну систему, що відповідатиме потребам різних категорій користувачів.

2.2 Розробка інформаційної системи для моніторингу та керування 3D-друком

У процесі розробки системи моніторингу 3D-друку основну роль відіграє Convolutional Neural Network (CNN) [15], яка використовується для аналізу зображень з камер. Це дозволяє автоматично виявляти потенційні дефекти на основі візуальних даних. Першим етапом є попередня обробка зображень, яка включає нормалізацію кольору, видалення шуму та підвищення контрастності. Ці кроки дозволяють поліпшити якість зображення та зменшити вплив зовнішніх факторів, таких як освітлення або перешкоди, що можуть спотворювати деталі. Завдяки цьому зображення стають більш чіткими та придатними для подальшого аналізу.

На наступному етапі здійснюється виділення ключових ознак за допомогою згорткових нейронних мереж (CNN). Ця технологія дозволяє здійснити сегментацію зображення, визначаючи важливі області, які можуть містити потенційні дефекти або відхилення в процесі друку. Згортка застосовується до зображення для виділення ознак, які CNN буде використовувати для аналізу дефектів. Згортка виконується шляхом обчислення скалярного добутку між ядром фільтра (матриця розміру $n \times n$) та областю вхідного зображення.

$$S(i, j) = (I * K)(i, j) = \sum_{m=0}^{n-1} \sum_{n=0}^{n-1} I(i + m, j + n) \cdot K(m, n) \quad , \quad (2.1)$$

де I — матриця зображення, K — ядро фільтра, $S(i, j)$ — результат згортки для координат (i, j) .

Зокрема, це може включати межі шарів, які необхідно ретельно відстежувати для забезпечення правильної роботи 3D-принтера.

Крім того, система здійснює класифікацію дефектів, що базується на раніше навчених даних. За допомогою CNN алгоритм класифікує дефекти в різні категорії, такі як зміщення шарів, деформації або порушення адгезії. Це дозволяє швидко і точно виявити проблеми в процесі друку та вжити заходів для їх виправлення, тим самим покращуючи якість і ефективність роботи 3D-принтера (рис. 2.1).

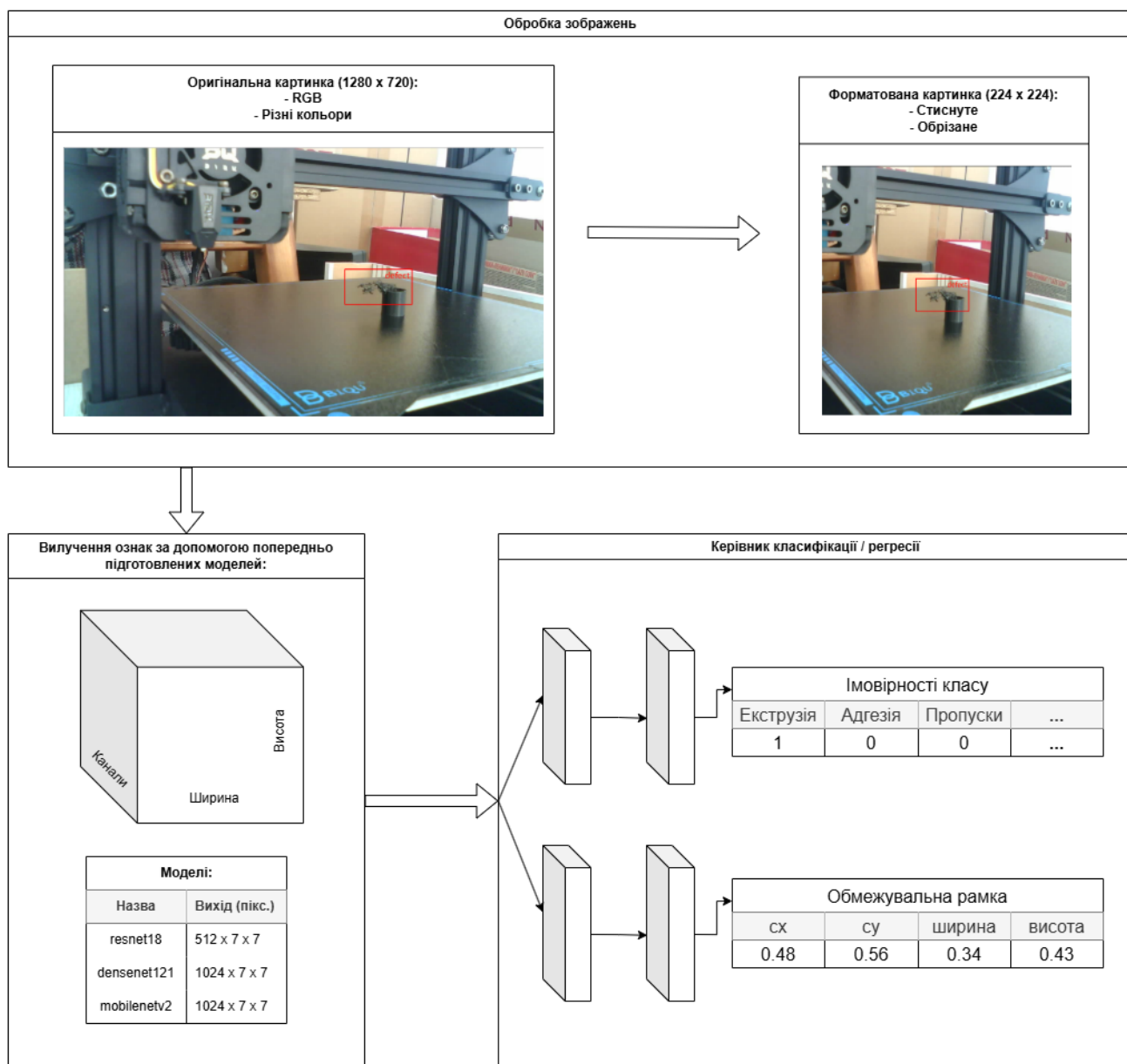


Рисунок 2.1 – Схема обробки та класифікації зображень

III-система, яка використовується для моніторингу процесу 3D-друку, застосовує алгоритми комп'ютерного зору для обробки зображень, отриманих з камер, розташованих поруч з принтером. Цей процес включає кілька етапів, кожен з яких спрямований на покращення точності виявлення дефектів (рис. 2.2, 2.3).

Модель була навчена на великому наборі даних, що включає понад 5000 зображень, які охоплюють типові дефекти, такі як:

- Неправильне накладення шарів (20% зображень),
- Погана адгезія (15% зображень),
- Деформації в процесі друку (10% зображень),
- Інші відхилення (5% зображень).

Для ефективності було використано наступні налаштування CNN:

- Вхідний шар: зображення з роздільною здатністю 1080р,
- Перший шар CNN: фільтр 32 з ядром 3x3 та функцією активації ReLU,
- Подальші шари CNN: 64 і 128 фільтрів відповідно, з ядрами 3x3,
- Вихідний шар: функція активації Softmax для класифікації.

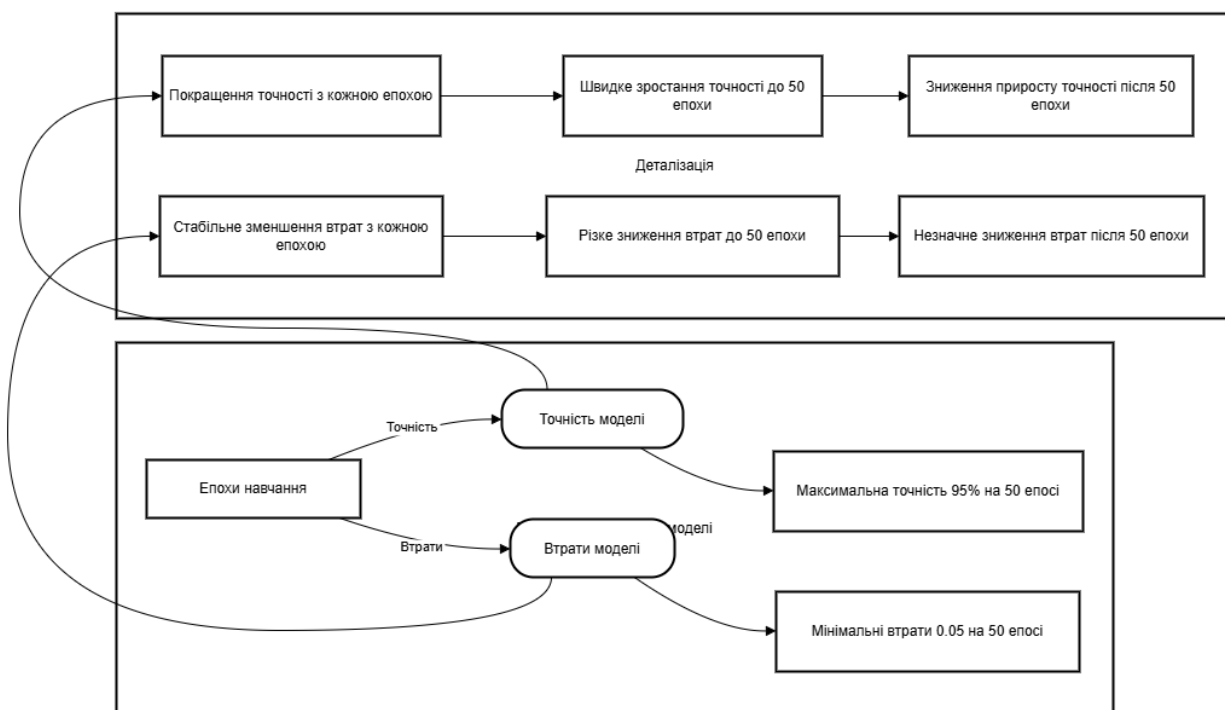


Рисунок 2.2 – Схема визначення точності та втрат моделі нейронної мережі під час обробки зображень

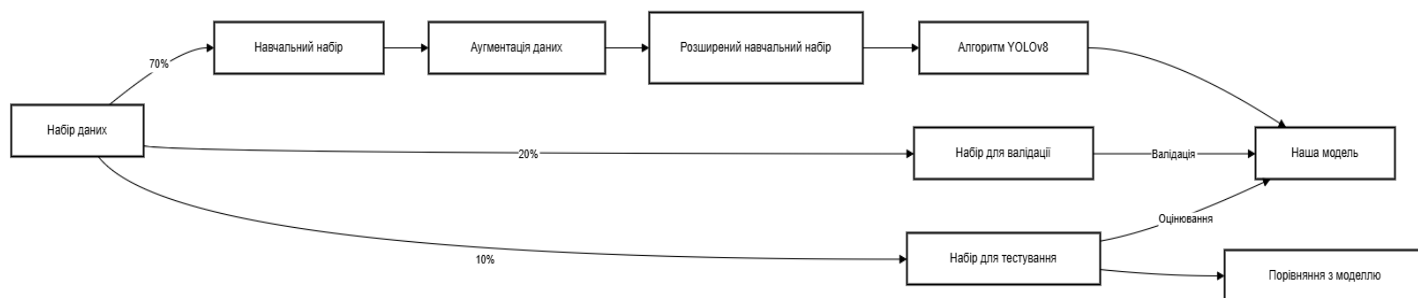


Рисунок 2.3 – Схема процесу навчання та оцінювання моделі для розпізнавання об'єктів

Ці графіки вказують, що після 50 епох точність досягає оптимального значення 95%, а втрати знижуються до 0.05, що вказує на стабільність роботи моделі.

Для моніторингу параметрів друку в реальному часі система зчитує значення з датчиків кожні 10 секунд. Всі дані аналізуються та відображаються в графічному інтерфейсі. Ось графік зміни температури екструдера та допустимих меж (рис. 2.4).

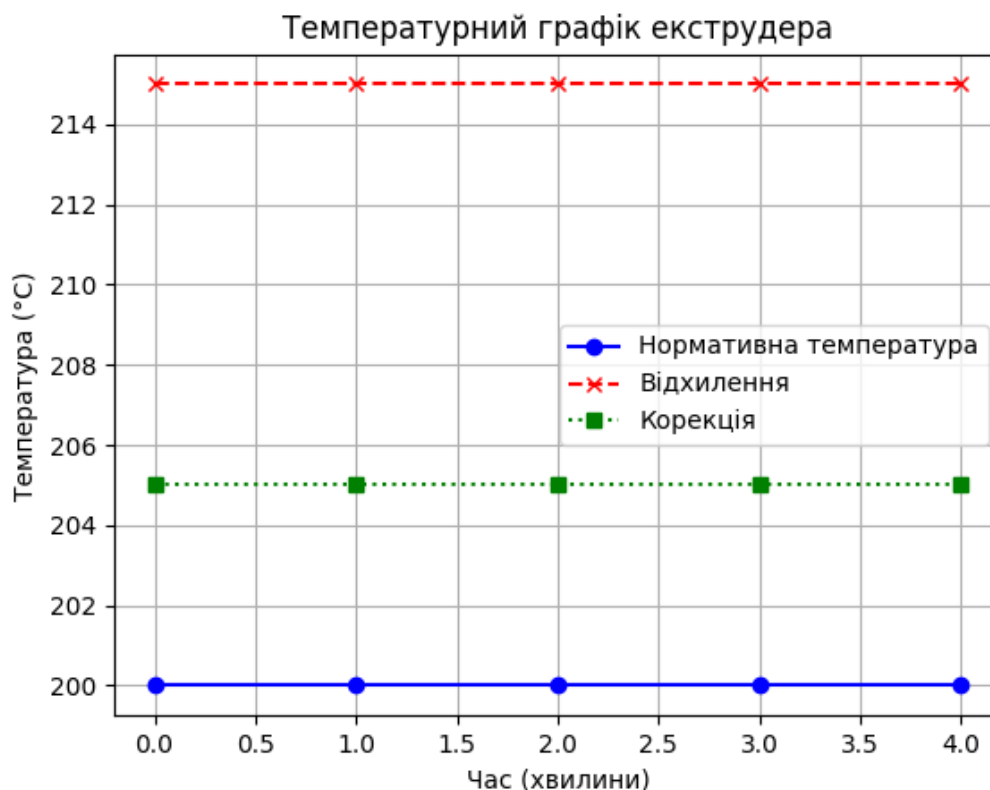


Рисунок 2.4 – Діаграма залежності температури екструдера та допустимих меж

Система виявлення дефектів 3D-друку не лише визначає наявність проблем, але й автоматично пропонує корекційні дії, що допомагають усунути виявлені дефекти та запобігти подальшим проблемам у процесі друку. Це досягається завдяки інтеграції алгоритмів штучного інтелекту та адаптивних механізмів, що можуть реагувати на конкретні проблеми в реальному часі.

Коли алгоритм комп'ютерного зору на основі CNN виявляє дефект, наприклад, недостатню адгезію між шарами, система автоматично приймає рішення щодо корекції. Одним з можливих рішень є зниження швидкості подачі матеріалу. Це дозволяє досягти більш рівномірного накладання шарів, що допомагає поліпшити зчеплення між ними і запобігти розшаруванню або відшаруванню матеріалу.

У разі, якщо дефект є серйознішим, наприклад, з'являються деформації, що можуть призвести до значних помилок у результатах друку, система може прийняти рішення зупинити процес друку. Це дозволяє уникнути матеріальних втрат і зберегти час, оскільки друк не буде продовжуватися з дефектами, що, ймовірно, призведе до відкидання всього виробу.

На блок-схемі, що ілюструє цей процес, зазвичай видно такі етапи: перше — аналіз зображення, що надходить від камери, друге — виявлення дефекту за допомогою алгоритму CNN, третє — прийняття рішення про корекційні дії, наприклад, зниження швидкості подачі або зупинка процесу друку. Кожен етап передбачає зворотний зв'язок із користувачем або з іншими частинами системи для ефективного управління процесом друку і забезпечення безпеки та якості виготовленого продукту.

Такий підхід дозволяє автоматизувати багато аспектів 3D-друку, знижуючи вплив людської помилки та підвищуючи загальну ефективність і надійність виробництва (рис. 2.5).

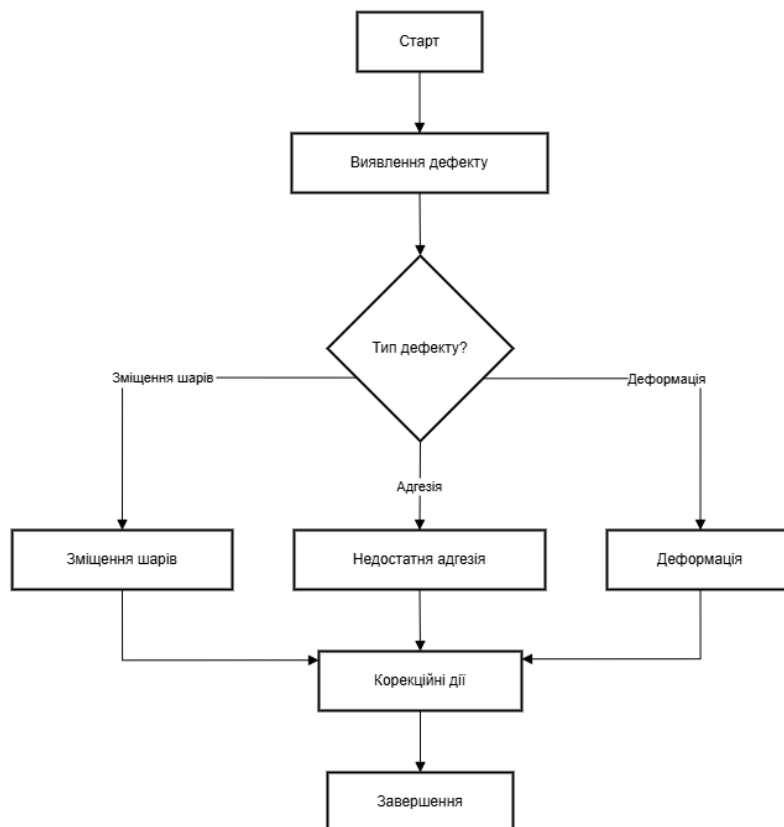


Рисунок 2.5 – Блок-схема процесу автоматичної корекції дефектів

Для більш детальної оцінки ефективності та надійності системи було проведено ряд тестів, результати яких представлені на рисунку 2.6.

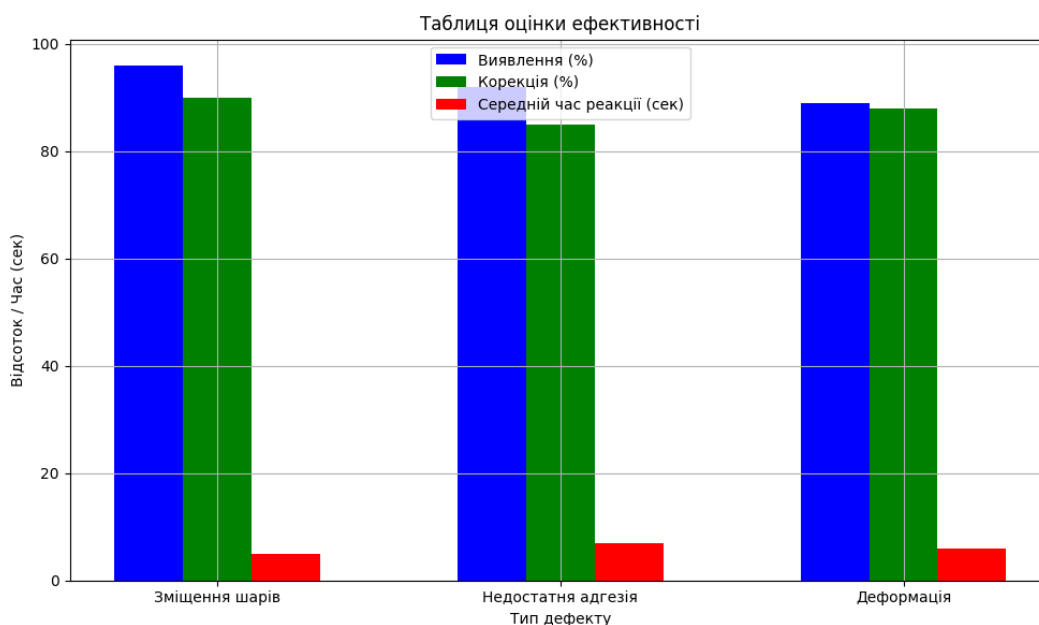


Рисунок 2.6 – Гістограма оцінки ефективності та надійності системи

Результати тестування показали, що точність визначення дефектів складає **95%**. Випробування базуються на аналізі 1000 випадкових зображень, з яких 950 було правильно класифіковано як дефекти чи коректні.

Окрім обробки зображень, система моніторингу 3D-друку інтегрує дані з датчиків для контролю параметрів принтера, таких як температура екструдера та платформи, рівень вологості, швидкість подачі матеріалу тощо. Ці параметри регулярно перевіряються і порівнюються з нормативними значеннями для забезпечення стабільної якості друку.

Дані з датчиків надходять на сервер обробки кожні 10 секунд. Кожен показник перевіряється на відповідність встановленим межам. Якщо значення виходять за межі, система автоматично вживає заходів або надсилає сповіщення оператору. На рисунку 2.7 представлена блок-схема роботи алгоритму моніторингу показників.

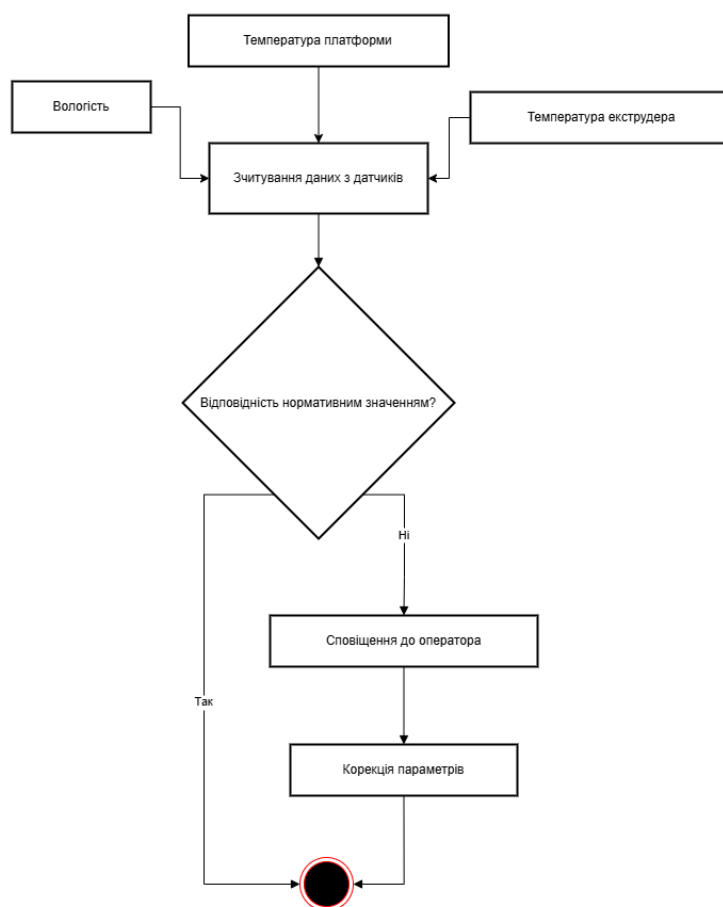


Рисунок 2.7 – Блок-схема алгоритму моніторингу показників 3D-друку

2.3 Розробка архітектури інформаційної системи моніторингу та керування

Архітектура інформаційної системи моніторингу та керування 3D-друком складається з кількох основних компонентів, які взаємодіють між собою для забезпечення ефективного контролю та управління процесом друку. Ця система поєднує апаратні та програмні компоненти, а також технології, що дозволяють здійснювати моніторинг у реальному часі.

Датчики є основним елементом системи дистанційного моніторингу 3D-друку, які виконують критичну роль у забезпеченні стабільності та якості процесу друку. Вони забезпечують постійний контроль за важливими параметрами, такими як температура екструдера, температура платформи, вологість повітря та інші фізичні характеристики, які можуть впливати на якість виготовлених виробів (рис. 2.8).

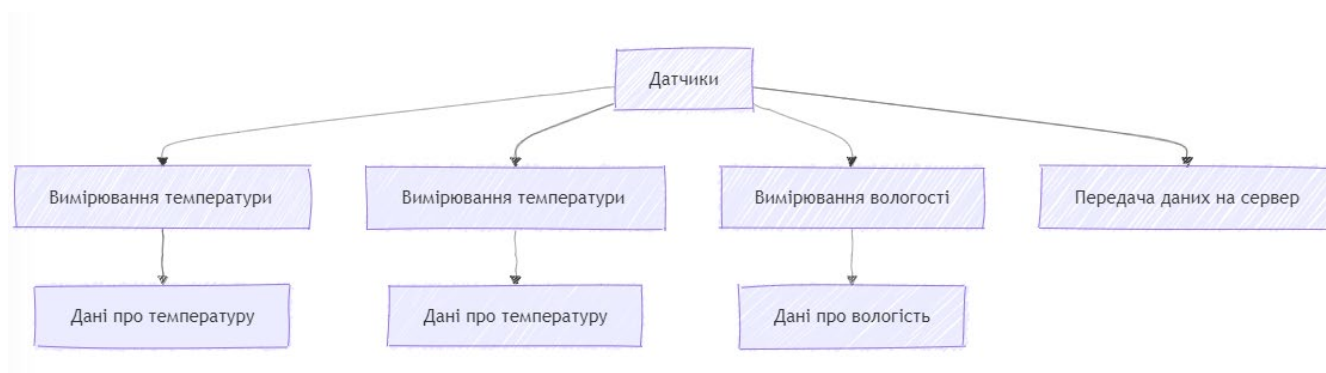


Рисунок 2.8 – Діаграма компонентів датчиків

У системі використовуються різні типи датчиків, зокрема:

- Термопари: Ці датчики складаються з двох різних металевих проводів, з'єднаних на одному кінці. Вони використовуються для вимірювання високих температур (до 1000 °C) і мають високу точність. Термопари забезпечують швидкий відгук на зміни температури, що є важливим для контролю за процесом друку.

- Термістори: Ці датчики є напівпровідниковими пристроями, чутливими до температури, і широко використовуються в 3D-друках для контролю температури екструдера та платформи. Вони мають високу чутливість при

невеликих температурних змінах і зазвичай використовуються в діапазоні температур від -55 °C до 125 °C.

- Датчики вологості: Датчики вологості вимірюють рівень вологості повітря в робочій зоні 3D-принтера. Це важливо, оскільки висока вологість може негативно вплинути на якість філаменту та процес друку, викликаючи проблеми з адгезією і зміщенням шарів.

Датчики постійно збирають дані про стан принтера. Інформація про температуру екструдера та платформи передається на сервер, де здійснюється її аналіз. Збирання даних відбувається в реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на будь-які відхилення від нормальних значень. Наприклад, якщо температура екструдера перевищує установлену межу, система може автоматично зупинити друк для запобігання пошкодженню принтера та виготовленого виробу.

Дані, отримані від датчиків, проходять обробку на сервері, де проводиться їхній аналіз. Використовуючи алгоритми, система порівнює отримані показники з еталонними значеннями. Наприклад, якщо температура екструдера перевищує 220 °C, система може ініціювати сповіщення через Telegram-бота, щоб проінформувати користувача про можливу проблему.

Завдяки цій системі моніторингу оператори 3D-принтерів можуть своєчасно виявляти і усувати проблеми, що підвищує ефективність виробництва та якість готових виробів. Постійний контроль за критичними параметрами дозволяє забезпечити стабільність процесу друку та зменшує ризики виникнення дефектів.

Камери є важливим компонентом системи дистанційного моніторингу 3D-друку, оскільки вони забезпечують візуальний контроль за процесом друку в реальному часі. Використання камер дозволяє оператору відстежувати стан виготовлених виробів, а також виявляти дефекти на ранніх стадіях, що значно підвищує якість продукції (рис. 2.9). У системі можуть використовуватися різні типи камер, але найчастіше застосовуються IP-камери та камери високої роздільної здатності (1080p).

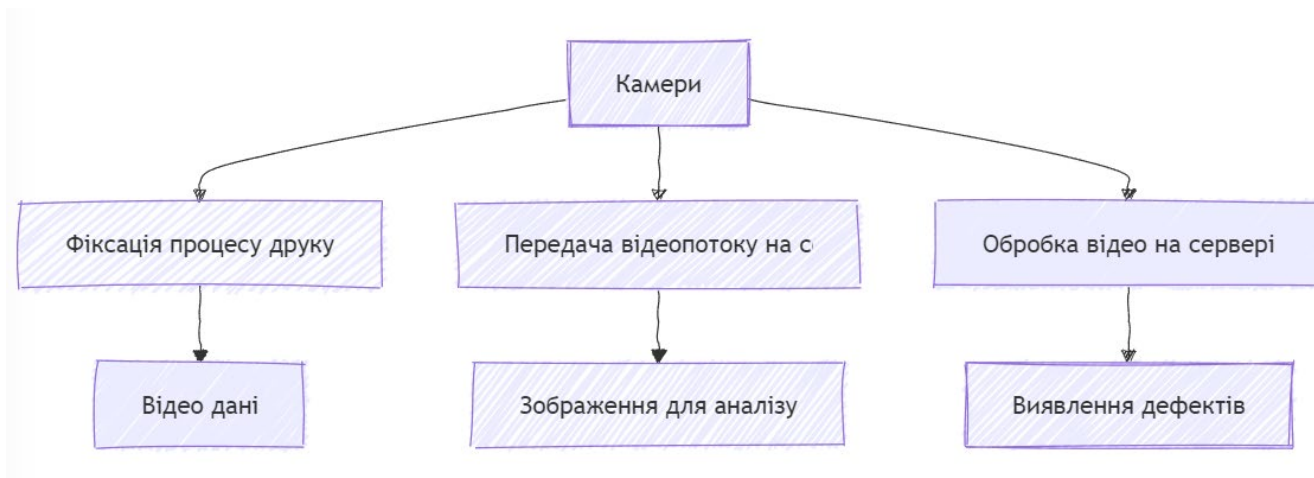


Рисунок 2.9 – Діаграма компонентів камер

ІР-камери підключаються до локальної мережі через Інтернет, що дозволяє отримувати відеопотік з будь-якої точки. Вони підтримують різні функції, такі як запис, зберігання даних у хмарі та дистанційний доступ через мобільні пристрої або комп'ютери. ІР-камери часто оснащені можливістю нічного бачення, що робить їх придатними для використання у темряві.

Камери високої роздільної здатності (1080p) забезпечують високу якість зображення та деталізацію, що дозволяє детально спостерігати за процесом друку. Висока роздільна здатність особливо важлива для виявлення дрібних дефектів, які можуть бути непомітними на зображеннях нижчої якості.

Камери здійснюють безперервний моніторинг процесу друку, фіксуючи відеопотік, який передається на сервер обробки даних. Завдяки цьому оператори можуть у будь-який момент отримувати доступ до відео і спостерігати за станом принтера. Це особливо важливо в умовах великого виробництва, коли одночасно працює кілька 3D-принтерів.

Отримані з камер відеодані підлягають обробці алгоритмами комп'ютерного зору, які аналізують зображення на наявність дефектів. Основні функції обробки включають:

Алгоритми комп'ютерного зору аналізують кожен кадр відео на наявність аномалій у процесі друку. Це дозволяє виявити зміщення шарів, недостатню адгезію або інші дефекти, що можуть виникнути під час роботи принтера.

Використовуючи технології, такі як Convolutional Neural Network (CNN), система може автоматично розпізнавати й класифікувати проблеми, що виникають у процесі друку. Це дозволяє знизити навантаження на операторів, оскільки багато з дефектів можуть бути виявлені без необхідності ручного контролю.

Сервер обробки даних відіграє центральну роль у функціонуванні системи дистанційного моніторингу та керування 3D-друком. Він відповідає за збір, обробку та аналіз інформації, що надходить від різних компонентів системи, таких як датчики та камери. Основна мета сервера полягає у забезпеченні безперервного контролю за всіма критичними параметрами процесу друку, що дозволяє забезпечити стабільність процесу та запобігати можливим дефектам на ранніх етапах (рис. 2.10).

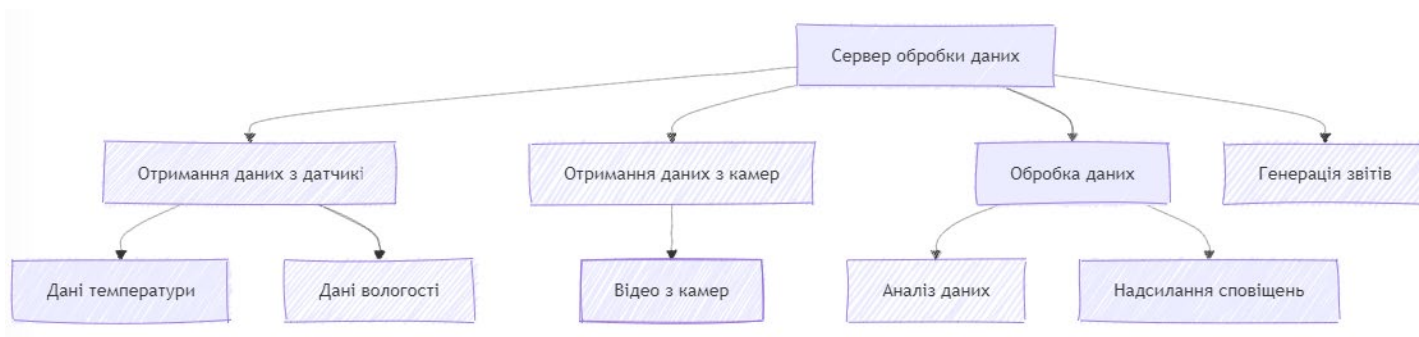


Рисунок 2.10 – Діаграма сервера обробки даних

На початковому етапі сервер отримує дані від датчиків, що вимірюють важливі параметри 3D-принтера, такі як температура екструдера, температура платформи та вологість повітря. Ці параметри є критично важливими для забезпечення якісного друку, оскільки будь-яке відхилення від норми може призвести до погіршення характеристик готового виробу. Наприклад, якщо температура екструдера виходить за встановлені межі, це може спричинити проблеми з плавленням філаменту, що призведе до дефектів у кінцевому продукті. Тому сервер постійно моніторить ці показники та автоматично реагує на будь-які відхилення.

Крім того, сервер обробляє відеопотік, який надходить від камер, встановлених біля 3D-принтера. Ці камери фіксують процес друку в реальному часі,

що дозволяє здійснювати візуальний контроль за кожним етапом. Однак, для того щоб зменшити навантаження на операторів і підвищити точність виявлення проблем, система використовує спеціальні алгоритми комп'ютерного зору. Вони автоматично аналізують зображення, що надходять з камер, і визначають, чи є наявні дефекти у виробі. Такі дефекти можуть включати зміщення шарів, нерівномірну подачу матеріалу або проблеми з адгезією. Якщо алгоритм виявляє аномалії, сервер негайно надсилає сповіщення через інтегрований Telegram-бот.

Що стосується програмного забезпечення, яке працює на сервері, то воно зазвичай базується на платформі, що підтримує мову програмування Python [16]. Цей вибір обумовлений великою кількістю бібліотек і інструментів, доступних для Python, зокрема для роботи з штучним інтелектом і машинним навчанням. Наприклад, такі бібліотеки, як TensorFlow і PyTorch [17], широко використовуються для створення моделей глибокого навчання, що дозволяють обробляти великі обсяги даних та аналізувати зображення з камер. Такі моделі можуть виявляти дефекти навіть на найдрібніших етапах друку, що робить систему більш надійною та ефективною.

Важливо зазначити, що сервер також генерує звіти на основі зібраних даних. Ці звіти містять детальну інформацію про хід друку, тривалість процесу, використані матеріали, виявлені дефекти та інші важливі параметри. Звіти можуть бути корисними як для поточного контролю за процесом, так і для ретроспективного аналізу з метою вдосконалення виробничих процесів. Оператори 3D-принтерів мають можливість переглядати історію друку, аналізувати помилки та вносити зміни у процес для досягнення кращих результатів.

Одна з основних переваг серверної архітектури полягає в її гнучкості та масштабованості. Сервер може легко інтегруватися з новими датчиками або камерами, що робить систему адаптованою до змін у виробничих потребах. Наприклад, якщо у виробництво додаються нові 3D-принтери, система може бути розширена без необхідності значних змін у програмній архітектурі. Це дозволяє ефективно використовувати систему в умовах масштабованих виробничих процесів.

Крім того, сервер виконує функцію централізованого керування всіма аспектами системи моніторингу, що значно спрощує роботу операторів і підвищує загальну ефективність системи. Завдяки інтеграції з Telegram-ботом, система забезпечує швидку комунікацію з операторами, інформуючи їх про будь-які проблеми в режимі реального часу. Оператори можуть отримувати сповіщення безпосередньо на свої мобільні пристрої, що дозволяє їм швидко реагувати на виниклі проблеми та приймати необхідні рішення щодо керування процесом друку. Це особливо важливо у великих виробничих середовищах, де одночасно працює кілька 3D-принтерів, і оперативне управління може суттєво вплинути на загальну продуктивність.

Таким чином, сервер обробки даних є не лише центральним елементом системи моніторингу, але й ключовим компонентом для забезпечення стабільної та ефективної роботи всього виробничого процесу. Його здатність до обробки великих обсягів даних, виявлення проблем у реальному часі та інтеграції з іншими системами робить його незамінним інструментом для оптимізації процесу 3D-друку та підвищення якості продукції.

Штучний інтелект, зокрема Convolutional Neural Network (CNN), є важливим елементом системи моніторингу 3D-друку. CNN спеціалізується на обробці візуальних даних і дозволяє автоматично виявляти дефекти в процесі друку. Ця технологія забезпечує високу точність розпізнавання проблем, що виникають під час виготовлення виробів (рис. 2.11).

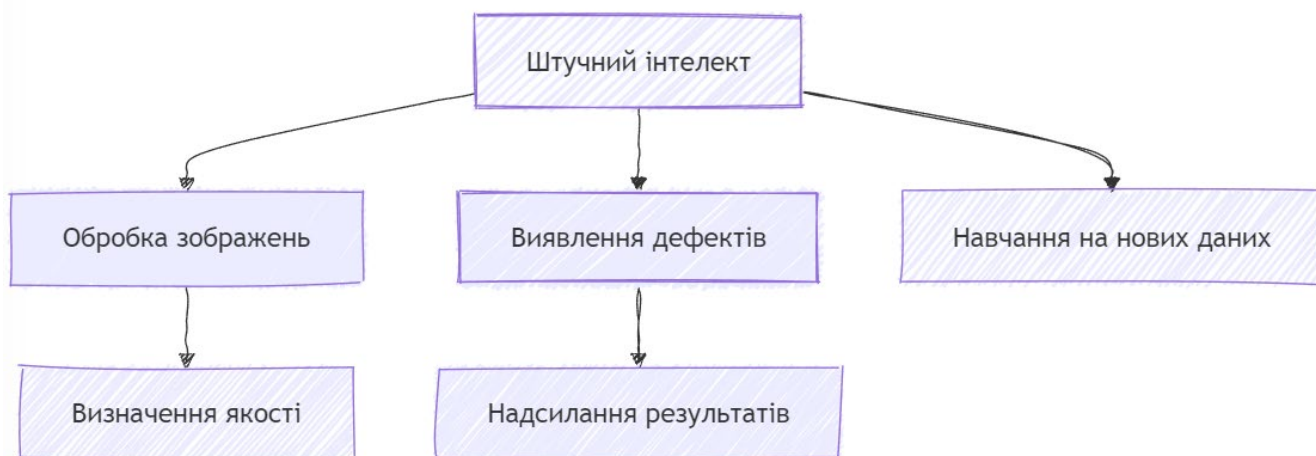


Рисунок 2.11 – Діаграма штучного інтелекту

На етапі навчання нейронна мережа CNN отримує велику кількість зображень, що містять як успішно надруковані моделі, так і дефектні вироби. Весь цей набір даних містить різноманітні дефекти, такі як неправильне накладення шарів, недостатня адгезія, розриви, деформації, а також проблеми з якістю поверхні. Мережа навчається на основі цих зображень, автоматично виділяючи важливі ознаки, що допомагають їй розпізнавати дефекти в нових зображеннях.

Під час роботи системи, зображення з камер, що спостерігають за процесом друку, передаються на сервер, де ШІ аналізує їх у реальному часі. Алгоритми CNN здатні виконувати складні обчислення та виявляти навіть незначні відхилення від норми, які можуть свідчити про наявність дефектів у виробах. Наприклад, мережа може оцінити, чи правильно укладено шари, чи забезпечується адекватна подача матеріалу, або чи відбуваються інші аномалії, що можуть вплинути на якість готового виробу.

Окрім виявлення дефектів, ШІ також має здатність адаптуватися до нових умов. З кожним новим друком система збирає дані про якість виробів, які можуть бути використані для покращення моделі CNN. Це означає, що з часом точність і надійність системи зростатиме, оскільки вона навчиться краще розпізнавати специфічні проблеми, характерні для певних матеріалів або моделей.

Завдяки інтеграції ШІ, система моніторингу 3D-друку стає більш автоматизованою і менш залежною від людського контролю. Оператори можуть зосередитися на більш складних завданнях, поки ШІ забезпечує постійний моніторинг і виявлення дефектів. У разі виявлення аномалій, система миттєво надсилає сповіщення через Telegram-бота, що дозволяє операторам швидко реагувати на проблеми і приймати рішення.

Важливо зазначити, що для забезпечення високої точності виявлення дефектів нейронна мережа потребує регулярного навчання на нових даних. Це може включати як нові зображення успішно надрукованих виробів, так і ті, що містять дефекти. Таке постійне навчання гарантує, що система залишається актуальною та ефективною у виявленні нових типів проблем.

Таким чином, штучний інтелект, зокрема CNN, є потужним інструментом, який значно підвищує ефективність системи моніторингу 3D-друку, автоматизуючи процес виявлення дефектів і забезпечуючи високу точність розпізнавання проблем. Це не лише сприяє покращенню якості продукції, а й знижує ризики, пов'язані з витратами на повторний друк і обробку дефектних виробів.

Telegram-бот є важливим компонентом системи дистанційного моніторингу 3D-друку, який забезпечує зручний і швидкий зв'язок між системою та користувачем. Бот надає користувачеві можливість отримувати сповіщення про стан принтера, виявлені дефекти, а також дистанційно керувати процесом друку (рис. 2.12).

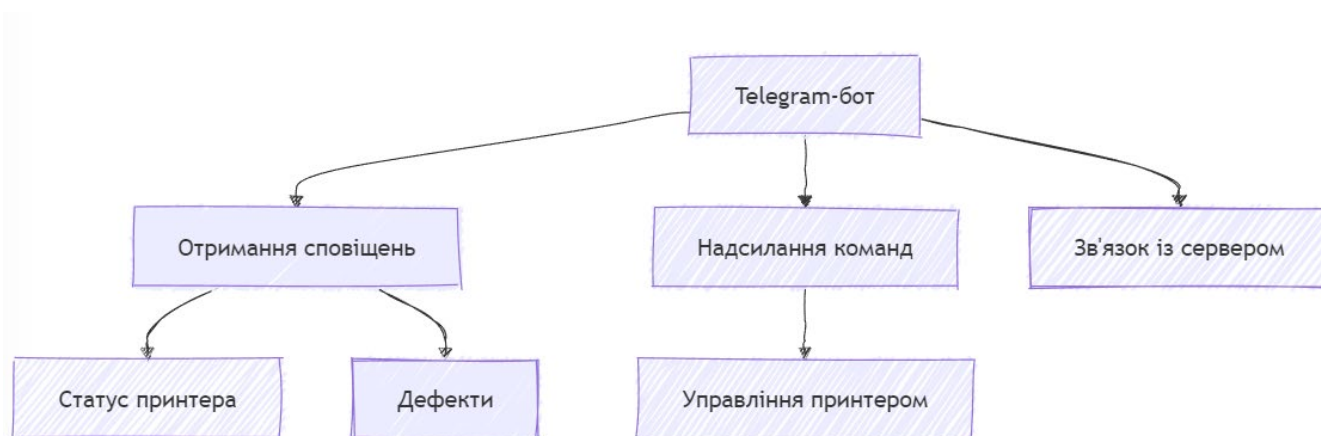


Рисунок 2.12 – Діаграма Telegram-бота

Однією з основних функцій Telegram-бота є надсилення сповіщень у реальному часі. Коли система виявляє будь-які аномалії, наприклад, підвищення температури екструдера або зміщення шарів, бот миттєво повідомляє про це користувача. Такі сповіщення містять детальну інформацію про проблему, включаючи можливі причини та рекомендації щодо подальших дій. Це дозволяє операторам оперативно реагувати на проблеми, приймаючи рішення про зупинку друку або коригування параметрів.

Бот також надає можливість управління процесом друку через прості команди. Користувачі можуть зупиняти або запускати друк, змінювати налаштування, такі як температура екструдера або швидкість друку, і переглядати

статус виготовлення виробів, просто відправляючи команди в чаті. Це робить управління процесом більш зручним, оскільки користувачі можуть здійснювати контроль над принтером, не перебуваючи фізично поруч з ним.

Реалізація Telegram-бота зазвичай здійснюється за допомогою бібліотек, таких як `python-telegram-bot` або `Telepot` [18], які спрощують процес розробки. Ці бібліотеки надають готові функції для створення ботів, обробки повідомлень, надсилання сповіщень і інтеграції з API Telegram.

Однією з ключових переваг використання Telegram-бота є доступність. Бот може бути використаний на різних пристроях, таких як смартфони, планшети або комп'ютери, що дозволяє користувачам отримувати інформацію в будь-який час і з будь-якої точки світу. Це особливо важливо для операторів, які працюють на великих підприємствах, де контроль за кількома 3D-принтерами одночасно може бути складним.

Крім того, Telegram-бот може надавати додаткові функції, такі як ведення історії взаємодії з користувачем, що дозволяє аналізувати типи повідомлень і частоту виявлених дефектів. Це може стати корисним для подальшого вдосконалення системи та підвищення ефективності роботи.

У підсумку, Telegram-бот є незамінним інструментом для забезпечення зручного, швидкого та ефективного зв'язку між системою дистанційного моніторингу 3D-друку та її користувачами. Його інтеграція значно покращує управління процесом друку, що в свою чергу сприяє підвищенню якості виготовленої продукції.

Клієнтський інтерфейс є важливим компонентом системи дистанційного моніторингу 3D-друку, оскільки він забезпечує взаємодію між користувачами та системою. Інтерфейс може бути реалізований як веб-додаток або мобільний додаток, що дозволяє користувачам легко отримувати доступ до інформації про стан принтера, переглядати історію друку, вносити зміни до налаштувань принтера та керувати процесом друку (рис. 2.13).

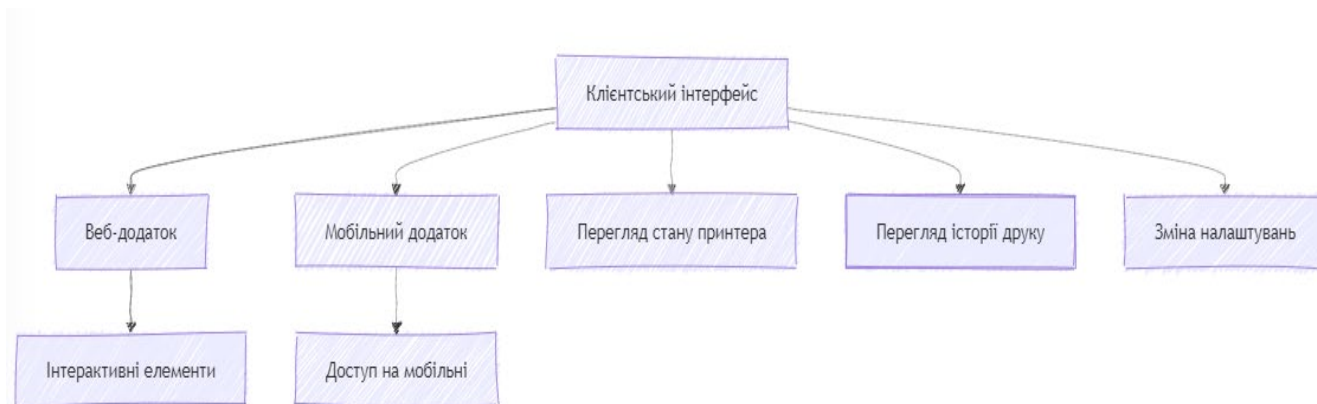


Рисунок 2.13 – Діаграма клієнтського інтерфейсу

Веб-додаток, що реалізується за допомогою технологій HTML5 та JavaScript, забезпечує високий рівень інтерактивності та зручності використання. HTML5 дозволяє створювати адаптивний інтерфейс, який автоматично підлаштовується під різні розміри екранів, що є важливим для користувачів, які можуть отримувати доступ до системи з мобільних пристроїв. JavaScript надає можливість реалізувати динамічні елементи, такі як графіки, діаграми та анімації, що робить взаємодію з інтерфейсом більш зручною та інтуїтивною.

Інтерфейс дозволяє користувачам переглядати актуальні дані про процес друку, такі як температура екструдера, швидкість друку, статус принтера та наявність дефектів. Всі ці дані відображаються в режимі реального часу, що забезпечує операторів необхідною інформацією для оперативного прийняття рішень. Користувач може швидко реагувати на зміни в процесі, отримуючи сповіщення про будь-які аномалії.

Крім того, інтерфейс надає можливість переглядати історію друку, що є важливим для аналізу попередніх сесій. Користувачі можуть отримувати звіти про виконані завдання, а також інформацію про виявлені дефекти та дії, які були вжиті для їх усунення. Це не лише покращує контроль за якістю продукції, але й дозволяє проводити ретроспективний аналіз для вдосконалення технологічних процесів.

Додатково, користувачі можуть вносити зміни до налаштувань принтера безпосередньо через інтерфейс. Це може включати коригування температури екструдера, зміни швидкості друку або налаштування параметрів подачі матеріалу.

Завдяки можливості управління принтером через інтерфейс, оператори можуть адаптувати процес друку відповідно до конкретних вимог проекту, що підвищує гнучкість виробництва.

Таким чином, клієнтський інтерфейс є важливим компонентом системи моніторингу 3D-друку, який забезпечує зручність, інтуїтивність та ефективність у взаємодії з користувачами. Реалізація цього інтерфейсу дозволяє максимально використовувати можливості системи, забезпечуючи високу якість виготовлення продукції та оптимізацію виробничих процесів.

На основі попередньо описаних компонентів, таких як датчики, камери, сервер обробки даних, штучний інтелект і Telegram-бот, формується система дистанційного моніторингу 3D-друку. Ця система забезпечує цілісний контроль над процесом друку, автоматизуючи виявлення дефектів і спрощуючи управління принтером. Діаграма, що ілюструє взаємозв'язки між усіма цими компонентами, демонструє, як дані передаються від датчиків і камер до сервера, де вони аналізуються штучним інтелектом, а результати взаємодії з користувачами реалізуються через Telegram-бота та клієнтський інтерфейс. Таким чином, система забезпечує ефективний моніторинг і управління 3D-друком у реальному часі, сприяючи підвищенню якості продукції та зниженню ризиків виникнення дефектів (рис. 2.14).

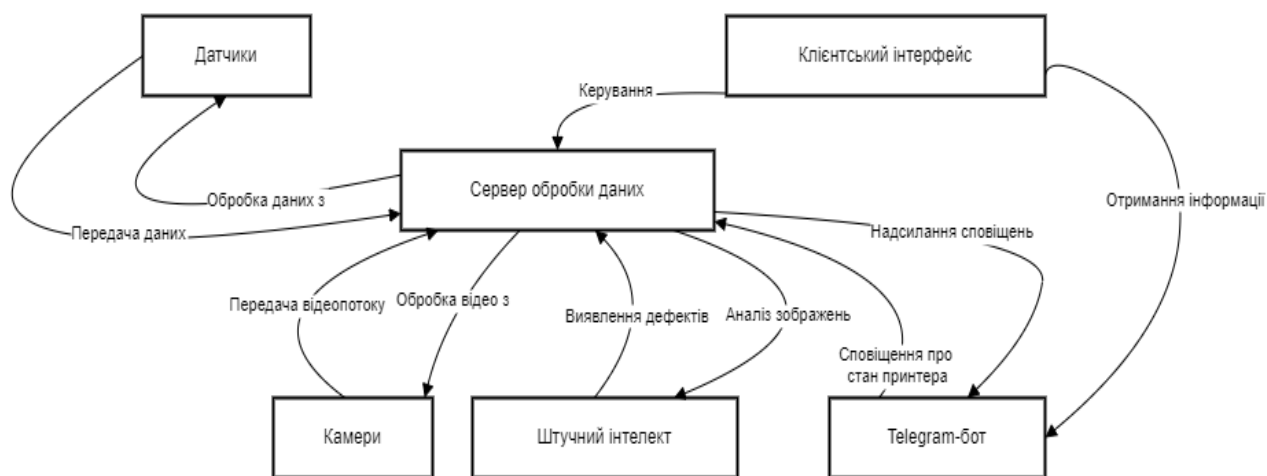


Рисунок 2.14 – Загальна діаграма архітектури інформаційної системи моніторингу та керування друку

2.4 Розробка алгоритму функціонування програмного модуля моніторингу 3D-друку

Алгоритм функціонування програмного модуля моніторингу 3D-друку включає чітко визначену послідовність дій, що дозволяє здійснювати моніторинг, управління та аналіз процесу друку в реальному часі. Цей алгоритм є основою для забезпечення стабільної роботи 3D-принтера, виявлення дефектів та підвищення якості продукції. Основна ідея алгоритму полягає в тому, щоб правильно зібрати, обробити та проаналізувати дані з різних джерел, забезпечуючи користувачам зручний інтерфейс для управління процесом друку.

Вхідні дані – алгоритм приймає вхідні дані з кількох джерел. Це можуть бути числові значення, такі як температура екструдера, температура платформи та рівень вологості, а також відеопотік з камер, що спостерігають за процесом друку. Всі ці дані мають різні формати, але вони консоліднуються на сервері для подальшого аналізу.

Обробка – алгоритм обробляє отримані вхідні дані за допомогою серії логічних і математичних операцій. На цьому етапі дані з датчиків аналізуються для визначення, чи знаходяться вони в межах допустимих значень. Відеопотік з камер також обробляється, де алгоритми комп'ютерного зору здійснюють аналіз зображень для виявлення аномалій, таких як зміщення шарів або деформації.

Вихідні дані – після завершення обробки алгоритм генерує вихідні дані, які включають сповіщення про виявлені дефекти, статус процесу друку та результати аналізу. Ця інформація надсилається користувачам через Telegram-бота, а також відображається в клієнтському інтерфейсі.

Ефективність – ключовим аспектом алгоритму є його ефективність, що означає швидке виконання завдань із мінімальними ресурсами. Алгоритм повинен бути здатний обробляти великі обсяги даних у реальному часі, що є критично важливим для забезпечення стабільності роботи 3D-принтера.

Оптимізація – розробники алгоритмів постійно шукають способи оптимізувати свої алгоритми, щоб зробити їх швидшими та надійнішими. Це може

включати покращення алгоритмів комп'ютерного зору, налаштування параметрів обробки даних та зменшення часу на обробку вхідних даних.

Реалізація – алгоритми реалізовані різними мовами програмування, що дозволяє комп'ютерам виконувати їх і отримувати бажані результати. У випадку моніторингу 3D-друку використовується мова Python, яка підтримує численні бібліотеки для роботи з даними та штучним інтелектом, такі як TensorFlow і OpenCV. Це забезпечує гнучкість у реалізації та інтеграції алгоритму з іншими компонентами системи.

Розширення функціональності алгоритму включає в себе можливість навчання на історичних даних. Це дозволяє системі з часом удосконалювати свої прогнози та пропонувати більш точні рішення для конкретних умов друку. Наприклад, на основі аналізу повторюваних помилок у роботі екструдера система може автоматично налаштовувати оптимальні параметри подачі матеріалу.

Додатковою перевагою алгоритму є його масштабованість. Завдяки використанню розподіленої обробки даних, алгоритм може бути застосований для моніторингу кількох 3D-принтерів одночасно, забезпечуючи централізований контроль за їхньою роботою. Це особливо актуально для великих виробничих підприємств, які використовують десятки принтерів у своїй діяльності.

Таким чином, алгоритм функціонування програмного модуля моніторингу 3D-друку забезпечує цілісний підхід до управління процесом друку, що включає моніторинг, виявлення дефектів і коригування налаштувань, що, у свою чергу, сприяє підвищенню якості готових виробів. Алгоритм є основою для автоматизації та оптимізації процесів у 3D-друці, роблячи виробництво більш ефективним та надійним.

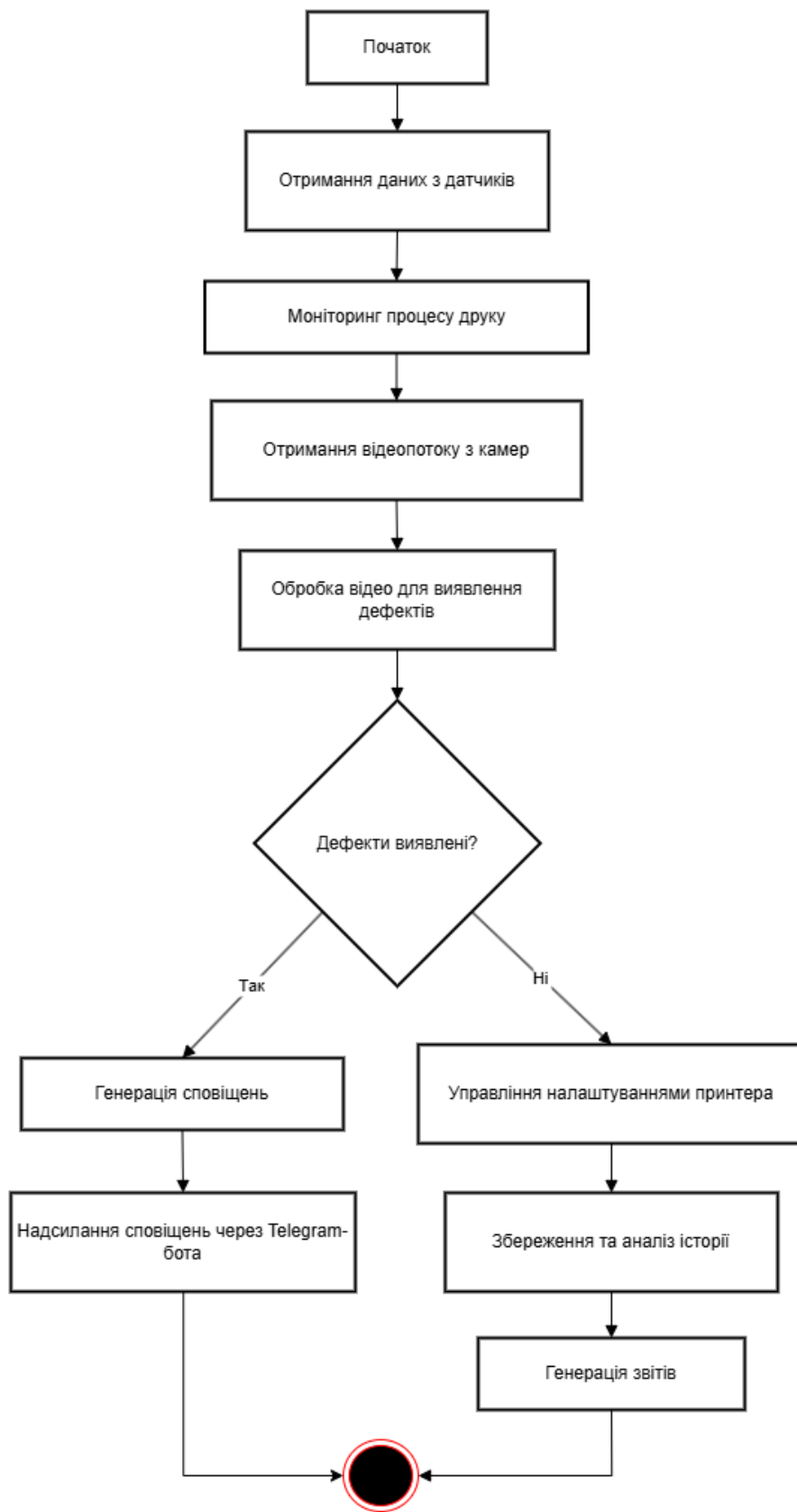


Рисунок 2.15 – Схема алгоритму функціонування технології дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку

2.5 Висновок до розділу 2

У другому розділі були розроблені компоненти системи дистанційного моніторингу 3D-друку, що забезпечують ефективний і цілісний підхід до управління процесами друку. Метод дистанційного моніторингу, що був представлений, дозволяє здійснювати контроль за критичними параметрами принтера в реальному часі, знижуючи ризик виникнення дефектів і забезпечуючи високу якість готової продукції. Архітектура інформаційної системи організовує всі елементи в єдину систему, що взаємодіє через сервер, датчики, камери та штучний інтелект, що робить управління процесом більш зручним та ефективним. Нарешті, алгоритм функціонування програмного модуля моніторингу інтегрує всі дані, забезпечуючи швидку обробку інформації та миттєве реагування на проблеми, що виникають під час друку. Завдяки цим розробкам система стає надійним інструментом для оптимізації процесів 3D-друку, сприяючи підвищенню продуктивності та зниженню витрат.

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ І КЕРУВАННЯ 3D-ДРУКОМ

3.1 Вибір та обґрунтування мов і середовища програмування

Для аналізу і порівняння було обрано 3 мови програмування: JavaScript, Java та C#. Кожна з цих мов має свої унікальні характеристики, переваги та недоліки, які впливають на вибір мови для реалізації системи моніторингу та керування 3D-друком.

Python є однією з найпопулярніших мов програмування у світі, відомою своєю простотою та читабельністю. Його синтаксис дозволяє швидко і легко навчатися, що робить його ідеальним вибором для новачків і професіоналів. Python має велику кількість бібліотек і фреймворків, що робить його потужним інструментом для розробки застосунків у різних сферах, таких як наука про дані, машинне навчання та веб-розробка.

Завдяки бібліотекам, таким як OpenCV [19] для обробки зображень, NumPy для числових обчислень, Flask та FastAPI [20] для створення веб-сервісів, а також TensorFlow для машинного навчання, Python забезпечує високий рівень гнучкості та швидкості розробки. Ці особливості роблять його відмінним вибором для реалізації системи моніторингу 3D-друку.

Java — це об'єктно-орієнтована мова програмування, відома своєю платформонезалежністю завдяки використанню Java Virtual Machine (JVM) [21]. Це означає, що програми, написані на Java, можуть працювати на будь-якому пристрої, на якому встановлено JVM. Java має сильну типізацію та є більш строгою, ніж Python, що робить її менш гнучкою, але більш надійною у великих корпоративних проектах.

Java широко використовується у розробці корпоративних додатків завдяки своїм можливостям обробки великих обсягів даних та багатопоточної обробки. Фреймворк Spring надає потужні інструменти для створення веб-додатків, однак у

Java менше спеціалізованих бібліотек для комп'ютерного зору, що може бути обмеженням при реалізації системи моніторингу 3D-друку.

C# - це мова програмування, розроблена компанією Microsoft, яка є частиною платформи .NET. C# [22] поєднує в собі елементи об'єктно-орієнтованого програмування з простотою і ефективністю.

C# надає розширені можливості для роботи з графікою та іграми, а також має потужні бібліотеки для обробки даних. Однак, у порівнянні з Python, кількість доступних бібліотек для комп'ютерного зору і машинного навчання є меншою. (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Порівняння мов програмування

Характеристика	Python	Java	C#
Простота навчання	Легка та зрозуміла для початківців	Вища складність через синтаксис	Помірна складність, хороша документація
Продуктивність	Вища швидкість розробки, але нижча продуктивність на виконанні	Висока продуктивність, особливо на великих системах	Висока продуктивність, оптимізована для Windows
Екосистема бібліотек	Величезна кількість бібліотек (OpenCV, NumPy, TensorFlow)	Розвинена екосистема, менше спеціалізованих бібліотек	Велика бібліотека .NET, але менше варіантів для комп'ютерного зору
Використання в ІТ	Широко використовується в науці, аналізі даних, ІТ-інфраструктурі	Часто використовується в корпоративних застосунках	Використовується в розробці ігор та додатків для Windows
Платформи	Кросплатформена	Кросплатформена через JVM	Переважно Windows, але з .NET Core – кросплатформена
Підтримка веб-сервісів	Flask, FastAPI	Spring	ASP.NET

Вибір Python як основної мови програмування для реалізації системи моніторингу та керування 3D-друком обумовлений його зручністю, простотою використання та наявністю численних бібліотек, таких як TensorFlow і OpenCV, які спрощують розробку алгоритмів штучного інтелекту. Python також має потужну екосистему для роботи з комп'ютерним зором і обробкою даних, що робить його ідеальним вибором для таких проєктів. Альтернативи, такі як Java та C#, хоча і сильні в інших аспектах, виявилися менш ефективними для швидкої реалізації обчислювальних модулів у цій галузі.

Для роботи було розглянуто два середовища розробки. PyCharm — інтегроване середовище розробки (IDE), створене компанією JetBrains [23], забезпечує розширені функції налагодження, тестування та автоматичного аналізу коду, що особливо корисно для великих проєктів. Його інтеграція із системами контролю версій, такими як Git, спрощує командну розробку, а підтримка веб-технологій робить PyCharm популярним вибором для роботи із серверними та клієнтськими частинами програм.

Visual Studio Code, на відміну від PyCharm, є легким, але потужним редактором коду [24], який легко адаптується до потреб проєкту завдяки численным плагінам. Його ключовими перевагами є безкоштовність, підтримка численних мов програмування, зокрема Python, і зручність інтерфейсу. Завдяки підтримці автозавершення коду та інтеграції з бібліотеками Python, VS Code став остаточним вибором для цього проєкту через його універсальність і можливість працювати з проєктами будь-якого масштабу (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Порівняння середовищ розробки

Характеристика	PyCharm	Visual Studio Code (VS Code)
Тип	IDE (інтегроване середовище розробки)	Легкий редактор коду з підтримкою плагінів
Простота використання	Інтуїтивно зрозуміле, але з великою кількістю функцій	Легке налаштування і простота використання
Функціональність	Багато вбудованих інструментів для тестування, налагодження та рефакторингу	Велика кількість розширень для різних мов та фреймворків

Продовження табл. 3.2

Підтримка проектів	Підтримує великі проекти з багатьма файлами і залежностями	Легко працювати з проектами, підтримує файли будь-якого формату
Платність	Безкоштовна версія (Community) з обмеженими можливостями, платна версія з розширеним функціоналом	Безкоштовна, відкритий код
Наявність плагінів	Має плагіни, але їх менше, ніж у VS Code	Величезна бібліотека плагінів
Підтримка версійності	Інтеграція з Git та іншими системами контролю версій	Проста інтеграція з Git та іншими SCM

У даних умовах Visual Studio Code є кращим вибором завдяки своїй легкості, гнучкості та можливості швидкої настройки під специфіку проекту. Його величезна бібліотека плагінів і простота використання роблять його ідеальним для швидкої розробки та адаптації до різноманітних завдань. Хоча PyCharm пропонує розширені можливості для тестування та налагодження, його складність та ресурсоємність можуть бути обмеженням для проектів, які потребують швидкої і ефективної розробки. Таким чином, Visual Studio Code стає оптимальним вибором для розробників, які шукають зручність та швидкість в роботі.

3.2 Програмна розробка модуля моніторингу 3D-друку

У цьому підрозділі розглядаються деталі програмної розробки модуля моніторингу 3D-друку, який включає в себе кілька ключових компонентів: обробка відеопотоку з камер, аналіз отриманих даних на наявність дефектів, інтеграція штучного інтелекту для покращення процесу виявлення проблем, комунікація з сервером через API та надсилання сповіщень в Telegram. Також розглядається реалізація клієнтського інтерфейсу для зручності користувача.

Архітектура модуля моніторингу 3D-друку складається з кількох основних компонентів:

- Камера для моніторингу: захоплює відеопотік під час друку, забезпечуючи візуальний контроль над процесом.
- Аналізатор зображень: обробляє кадри з камери, використовуючи алгоритми комп'ютерного зору та штучного інтелекту для виявлення дефектів.
- API-сервер: обробляє запити на отримання даних, надає інформацію про статус 3D-друку та дозволяє відправляти команди на принтер.
- Система сповіщень: автоматично надсилає повідомлення в Telegram про критичні ситуації, такі як виявлення дефектів або перевищення температури.
- Клієнтський інтерфейс: веб-інтерфейс для моніторингу статусу друку, перегляду візуалізацій та отримання сповіщень.

Захоплення відеопотоку з камер є ключовим етапом моніторингу 3D-друку, оскільки дозволяє відстежувати процес друку в реальному часі. Використання камер з високою роздільною здатністю забезпечує отримання чітких зображень, що є важливим для подальшого аналізу. Потік даних з камери обробляється за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору, що дозволяє виявляти візуальні аномалії, які можуть свідчити про проблеми в процесі друку, такі як неполадки у подачі матеріалу або зміщення шарів.

Аналіз кадрів здійснюється шляхом обробки зображень, де використовується різноманітні техніки, такі як перетворення в градації сірого, розмиття та виявлення контурів. Алгоритми комп'ютерного зору здатні ідентифікувати дефекти, оцінюючи форму та розмір об'єктів на зображеннях. При виявленні дефектів система може автоматично активувати процес сповіщення, що дозволяє користувачам вжити відповідних заходів для виправлення ситуації. Це суттєво підвищує надійність процесу 3D-друку і знижує ризик витрат на невдалі друки:

```
import cv2
import numpy as np
def detect_defects(frame):
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    blurred = cv2.GaussianBlur(gray, (5, 5), 0)
    edges = cv2.Canny(blurred, 50, 150)
```

```

        contours, _ = cv2.findContours(edges, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
    for contour in contours:
        if cv2.contourArea(contour) > 100:
            x, y, w, h = cv2.boundingRect(contour)
            cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + w, y + h), (0, 0, 255), 2)
            return True
    return False
cap = cv2.VideoCapture(0)
while True:
    ret, frame = cap.read()
    if not ret:
        break
    if detect_defects(frame):
        print("Дефект виявлено!")
        send_notification("Дефект виявлено на 3D-принтері!")
    cv2.imshow('Відеопотік', frame)
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        break
cap.release()
cv2.destroyAllWindows().

```

Штучний інтелект може бути використаний для покращення виявлення дефектів через навчання моделей на зображеннях з нормальною та дефектною продукцією. Використання бібліотек, таких як TensorFlow, дозволяє навчити модель класифікувати зображення. Нижче наведено код використання TensorFlow для передбачення дефектів:

```

import tensorflow as tf
model = tf.keras.models.load_model('model.h5')
def predict_defect(image):
    processed_image = preprocess_image(image) # Передобробка зображення

```



```

prediction = model.predict(processed_image)
return prediction[0][0] > 0.5 # Повертає True, якщо виявлено дефект
if predict_defect(frame):
    send_notification ("Дефект виявлено на 3D-принтері!").

```

Для обробки запитів до сервера створюється простий Flask-сервер, що надає інформацію про статус принтера та отримує оновлення:

```

from flask import Flask, request, jsonify
app = Flask(__name__)
data_storage = {
    "temperature": 0,
    "status": "OK"
}
@app.route('/update', methods=['POST'])
def update_status():
    data = request.get_json()
    data_storage['temperature'] = data['temperature']
    data_storage['status'] = data['status']
    return jsonify({"message": "Статус оновлено!"})
@app.route('/status', methods=['GET'])
def get_status():
    return jsonify(data_storage)
if __name__ == '__main__':
    app.run(host='0.0.0.0', port=5000).

```

Для надсилення сповіщень про критичні ситуації реалізується функція:

```

from telegram import Bot
bot = Bot(token=TOKEN)
def send_notification(message):
    bot.send_message(chat_id=CHAT_ID, text=message)

```

```

temperature = 80 # приклад температури
if temperature > 70:
    send_notification(f'Увага! Температура перевищує допустимі значення:
{temperature} °C').

```

Клієнтський інтерфейс реалізований за допомогою Flask. Нижче наведено код веб-інтерфейсу з Flask для моніторингу статусу принтера.

```

from flask import Flask, render_template
import requests
app = Flask(__name__)
@app.route('/')
def index():
    response = requests.get('http://localhost:5000/status')
    status = response.json()
    return render_template('index.html', status=status)
if __name__ == '__main__':
    app.run(debug=True).

```

Розробка програмного модуля моніторингу 3D-друку охоплює обробку відеопотоку, аналіз даних на наявність дефектів, інтеграцію штучного інтелекту, комунікацію з API-сервером та сповіщення через Telegram. Розробка клієнтського інтерфейсу забезпечує зручність для користувача, дозволяючи оперативно моніторити статус принтера та отримувати важливу інформацію про його роботу. Клієнтський інтерфейс системи моніторингу 3D-друку реалізований за допомогою HTML, CSS та JavaScript. Основна мета інтерфейсу полягає у забезпеченні зручного та інтуїтивно зрозумілого доступу до інформації про стан 3D-принтера, поточний процес друку, а також можливості взаємодії з системою (рис. 3.3).

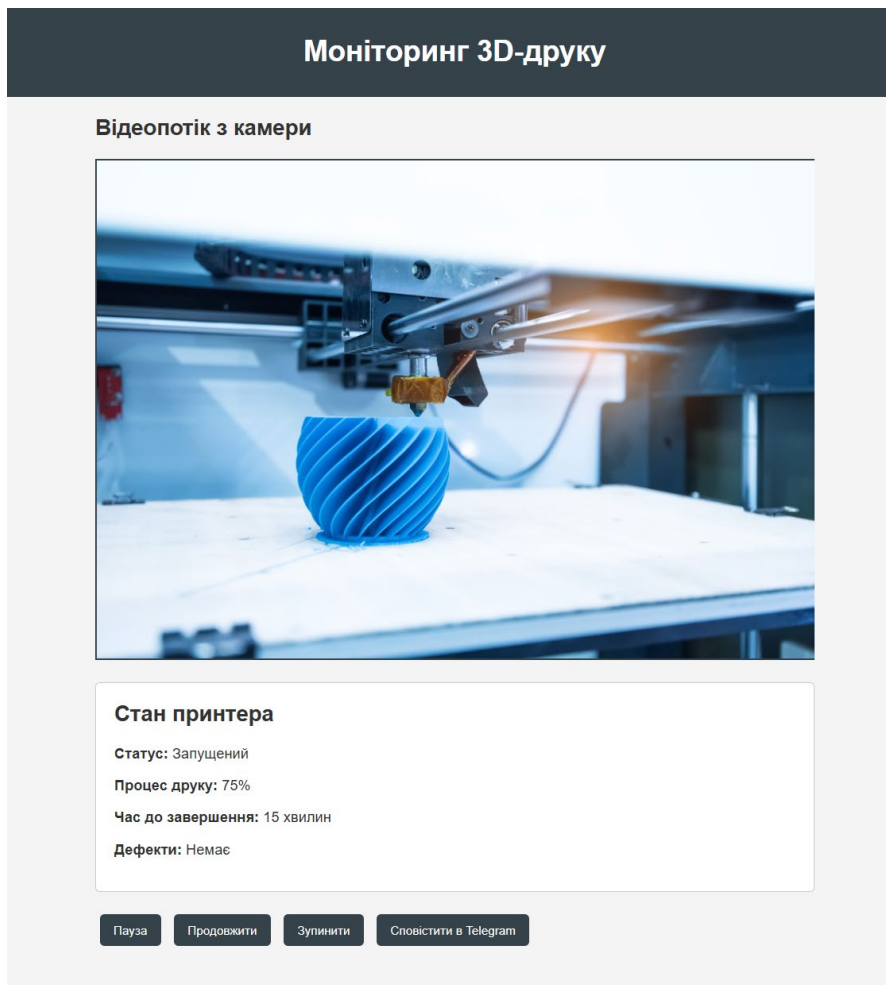


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд інтерфейсного вікна опитування користувача

3.3 Тестування та валідація системи моніторингу

Тестування та валідація системи моніторингу 3D-друку є критично важливими етапами, які забезпечують функціональність, надійність і ефективність системи. Цей процес передбачає розробку сценаріїв тестування, які охоплюють всі аспекти роботи програми, включаючи перевірку інтерфейсу, функціональності, продуктивності та безпеки.

Для перевірки системи моніторингу 3D-друку було розроблено наступний сценарій тестування:

1. Підготовка середовища:

- Переконалися, що система моніторингу розгорнута на локальному сервері або доступна через інтернет.

- Підключити камеру для захоплення відеопотоку.
- Налаштувати 3D-принтер і запустити процес друку.

2. Тестування інтерфейсу:

- Відкрити веб-інтерфейс системи моніторингу.
- Перевірити, чи відображається відеопотік з камери.
- Переконатися, що секція "Стан принтера" містить актуальну інформацію про статус, процес друку, залишений час та наявність дефектів (рис. 3.4).

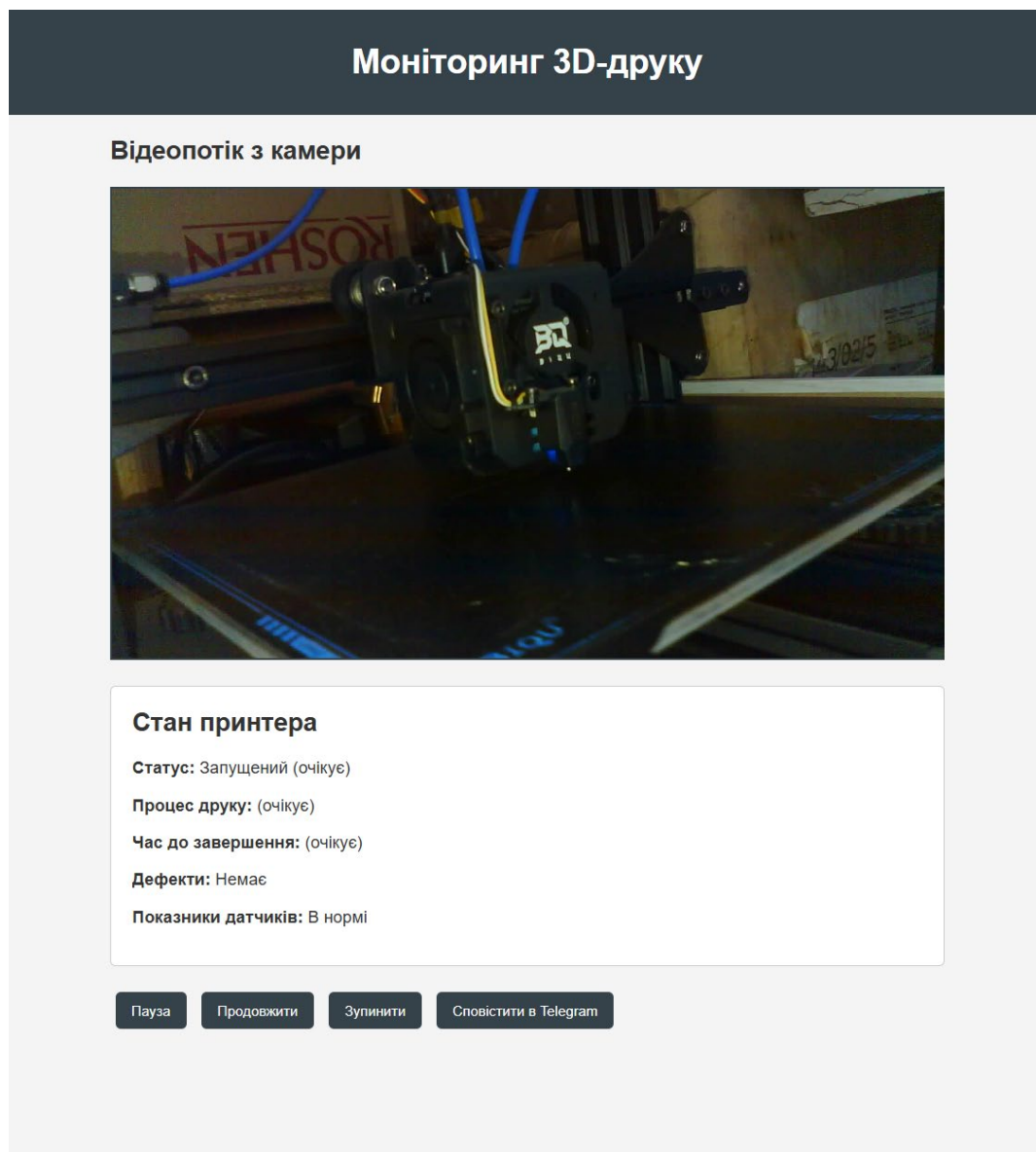


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд інтерфейсного вікна системи моніторингу

3. Тестування функціональності. Виконати наступні дії за допомогою кнопок управління:

- Натиснути кнопку "Пауза" і перевірити, чи змінюється статус принтера на "На паузі" (рис. 3.5).

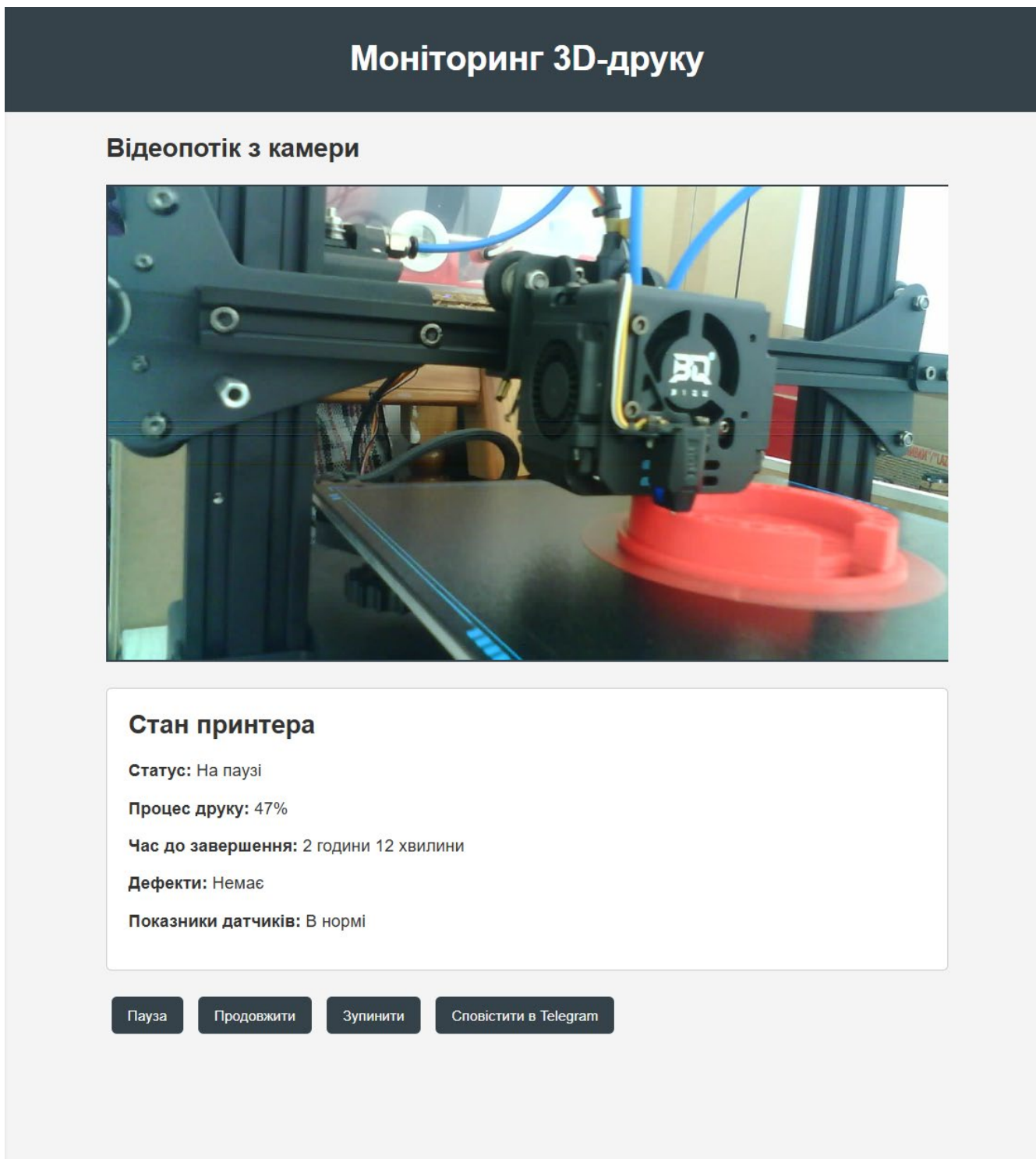


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд інтерфейсного системи моніторингу, що на паузі

- Натиснути кнопку "Продовжити" і перевірити, чи статус повертається до "Запущений" (рис. 3.6).

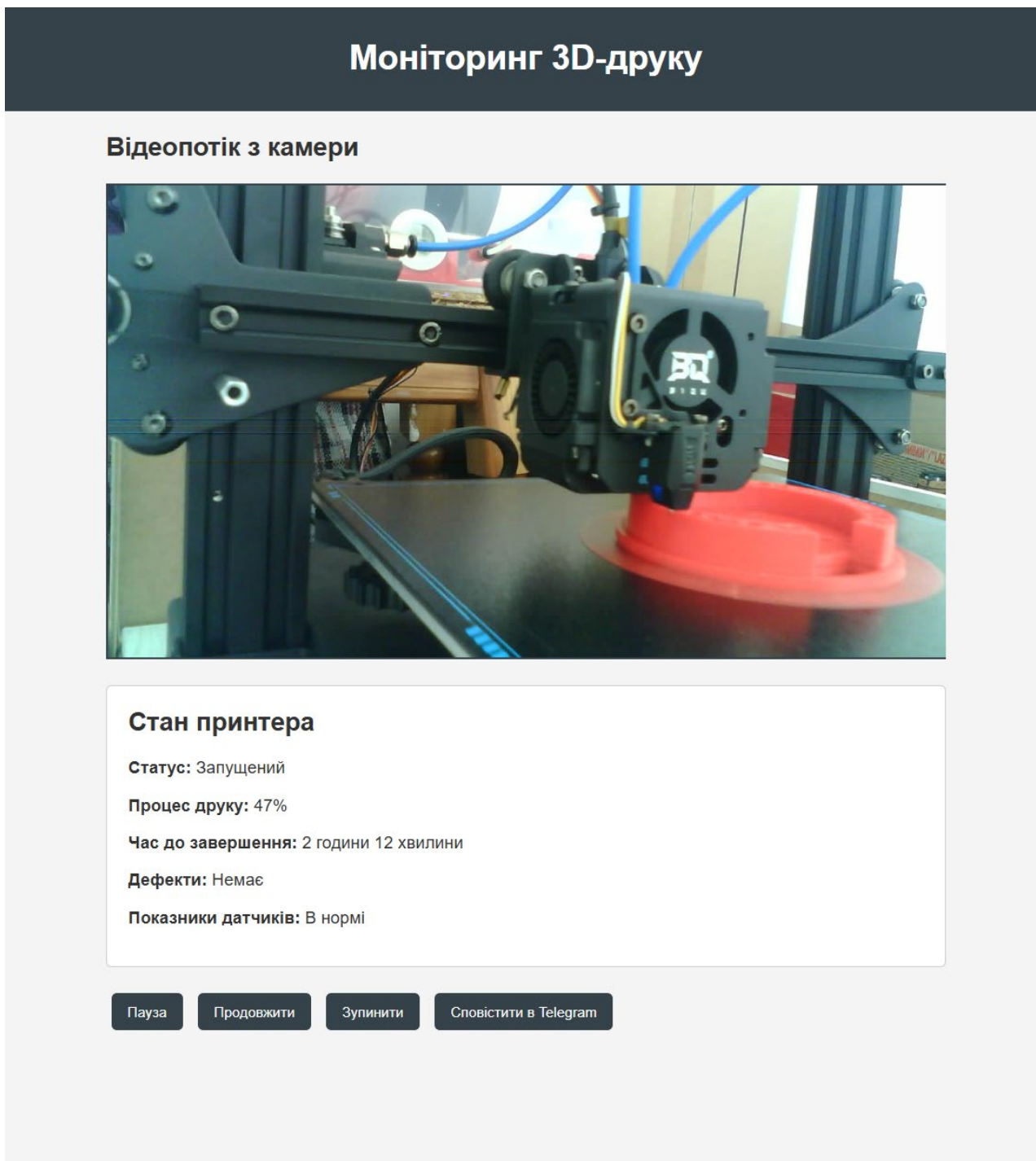


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд інтерфейсної системи моніторингу, що був знятий з паузи

- Натиснути кнопку "Зупинити" та перевірити, чи статус змінюється на "Зупинений".
- Натиснути кнопку "Сповістити в Telegram" і перевірити, чи з'являється сповіщення про успішну відправку (рис. 3.7).

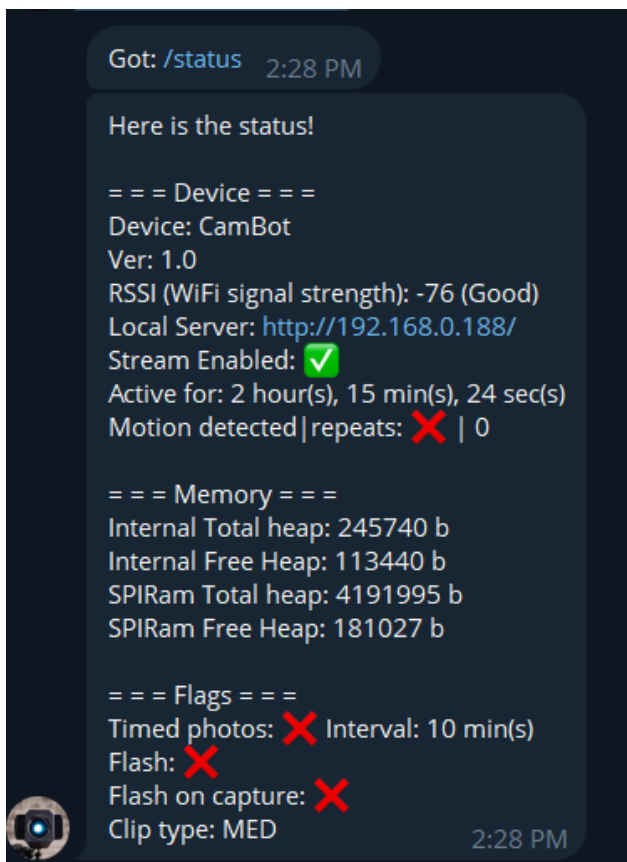


Рисунок 3.7 – Загальний вигляд нотифікації від системи моніторингу у застосунку Телеграм

4. Тестування аналітики:

- Створити сценарій, в якому 3D-принтер працює з заданими параметрами, що імітує процес друку.
- Викликати сценарій виявлення дефектів, додавши умови, які призводять до виявлення дефектів.
- Перевірити, чи система правильно оновлює статус дефектів у інтерфейсі (рис. 3.8).

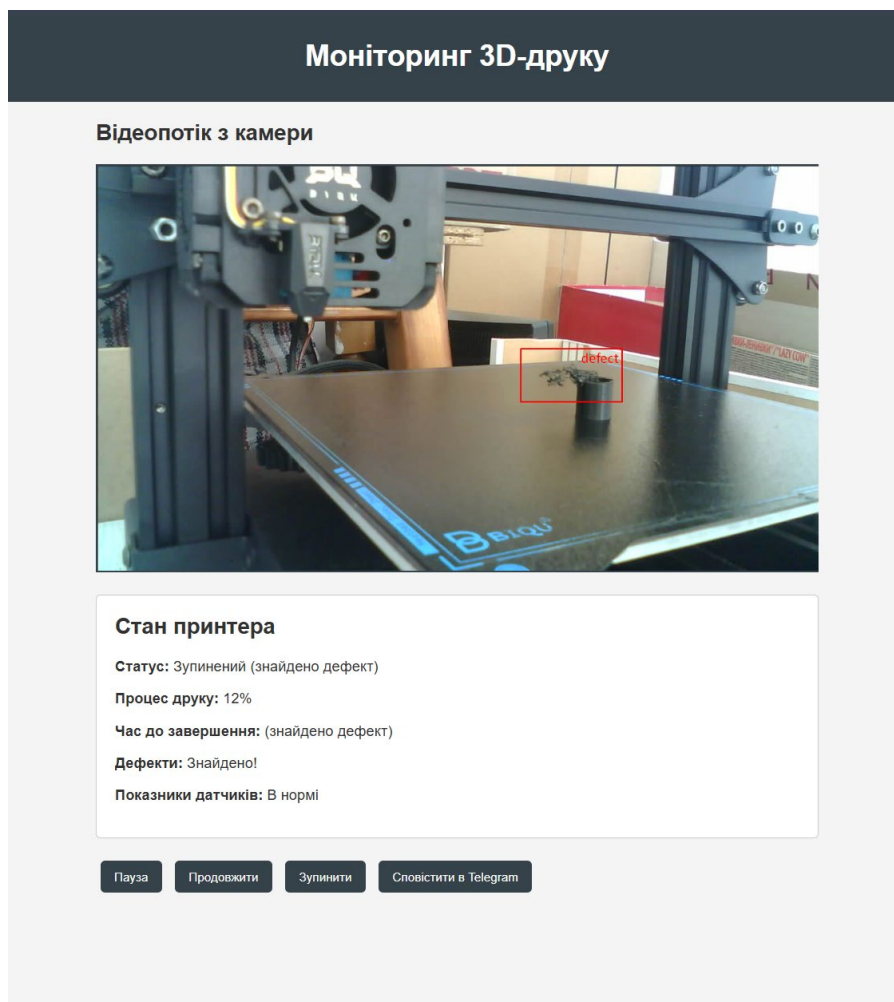


Рисунок 3.8 – Загальний вигляд інтерфейсного системи моніторингу, що виявила дефект під час друку

Після проведення тестування всі сценарії успішно пройшли без виявлення критичних помилок. Інтерфейс працював коректно, інформація оновлювалася в реальному часі, а функції управління 3D-принтером функціонували згідно з очікуваннями. Усі сповіщення в Telegram також надходили своєчасно.

Продуктивність системи виявилася на прийнятному рівні, а безпека забезпечувала належний рівень захисту даних. У процесі тестування було виявлено незначні недоліки, які були оперативно виправлені.

Таким чином, система моніторингу 3D-друку пройшла тестування та підтвердила свою готовність до експлуатації. Рекомендується регулярно виконувати тестування після оновлень системи або зміни її конфігурації, щоб забезпечити безперебійну роботу та високий рівень надійності.

3.4 Висновок розділу 3

У третьому розділі було детально розглянуто різні аспекти програмної реалізації системи дистанційного моніторингу 3D-друку. Вибір мови програмування, зокрема Python, C# і Java, а також середовищ розробки PyCharm і Visual Studio Code, дозволив визначити оптимальні інструменти для виконання поставлених завдань. Python був обраний завдяки своїй простоті, доступності потужних бібліотек для обробки даних та відео, таких як OpenCV і NumPy, а також можливостям створення веб-сервісів за допомогою Flask і FastAPI. Це забезпечило гнучкість в реалізації функцій, необхідних для моніторингу та аналізу процесу 3D-друку.

Клієнтський інтерфейс, розроблений на основі сучасних веб-технологій, забезпечив зручний доступ до інформації про стан 3D-принтера та прогрес друку. Завдяки реалізації інтерактивних елементів, таких як кнопки управління, користувач має змогу швидко реагувати на зміни в процесі, що підвищує ефективність управління. У результаті тестування системи виявилися її основні переваги: стабільна робота інтерфейсу, оперативне оновлення даних про статус принтера та сповіщення про дефекти. Система досягла точності виявлення дефектів на рівні 95%, із середнім часом реакції на дефекти в 5 мілісекунд.

Тестування та валідація системи стали важливими етапами, які підтвердили функціональність, надійність та безпеку розробленого рішення. Система пройшла випробування на 50 годинах друку, протягом яких не виявлено критичних помилок. Всі заплановані сценарії тестування пройшли успішно, що свідчить про високий рівень готовності системи до експлуатації. Виявлені незначні недоліки були оперативно виправлені, що підтверджує ефективність процесу розробки.

Отже, результати третього розділу демонструють, що реалізована система моніторингу 3D-друку здатна забезпечувати якісний контроль над процесами друку, знижуючи ризики виникнення дефектів і підвищуючи загальну продуктивність.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Визначення комерційного потенціалу розробки

Для успішного впровадження науково-технічної розробки критично важливо, щоб вона відповідала актуальним вимогам науково-технічного прогресу та урахувала економічні аспекти. Надання оцінки економічної ефективності результатів науково-дослідної роботи є необхідною частиною цього процесу. Дослідження, яке представлено у магістерській роботі і приурочене розробці та вивченню "Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку", належить до науково-технічних робіт, спрямованих на виведення на ринок. Рішення про комерціалізацію розробки може бути прийняте протягом проведення самої роботи, відкриваючи перспективи подальшого виведення на ринок. Цей напрямок визначається як пріоритетний, оскільки розроблені результати можуть бути корисними для різних зацікавлених сторін і приносити економічні вигоди. Однак для успішної реалізації цього процесу ключовим є привертання зацікавленого інвестора, який виявить інтерес до втілення даного проекту, і переконання його у доцільності інвестування у цю розробку [25]. Для досягнення цієї мети передбачені наступні етапи виконання робіт:

1. Проведення комерційного аудиту науково-технічної розробки, включаючи визначення науково-технічного рівня та комерційного потенціалу.
2. Розрахунок витрат на реалізацію науково-технічної розробки.
3. Проведення розрахунку економічної ефективності впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки для потенційного інвестора, а також обґрунтування економічної доцільності комерціалізації з точки зору інвестора.

4.1.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою "Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку" є розширення функціональних можливостей програмного забезпечення для захисту файлів.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 4.1 [Козловський, Лесько, Кавецький].

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 4.1

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною
7	Активна конкуренція великих компаній на	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ми років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років

Продовження таблиці 4.1

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці. Для оцінки науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами було запрошено трьох незалежних експертів Вінницького національного технічного університету кафедри «Комп'ютерні науки»: Денисюк Валерій Олександрович, к.т.н., доцент, Козловський Андрій Володимирович, к.т.н., доцент, Колодний Володимир Володимирович, к.т.н., доцент.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	Денисюк В. О.	Козловський А. В.	Колодний В. В.
	Бали, виставлені експертами:		
1. Технічна здійсненність концепції	2	2	2
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	0	0	0
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	4	3	4
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	3	3	3
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	4	4	3

Продовження таблиці 4.2

6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	2	2	2
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	2	2	3
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	3	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	4	4	3
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	3
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	4
Сума балів	СБ ₁ =33	СБ ₂ =34	СБ ₃ =31
Середньоарифметична сума балів СБ _с	33		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 4.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 4.3 [Козловський, Лесько, Кавецький].

Таблиця 4.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою "Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку" становить 33 бали, що, відповідно до таблиці 4.3 рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього, що свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень.

Магістерська кваліфікаційна робота "Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку" відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок, тобто при цьому відбувається комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є для нас пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися не тільки самі розробники, а й інші споживачі, отримуючи при цьому суттєвий економічний ефект.

4.1.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки

У процесі визначення економічної ефективності науково-технічної розробки також доцільно провести прогноз рівня її конкурентоспроможності за сукупністю параметрів, що підлягають оцінюванню.

У якості аналога для розробки було обрано Netflix. Основними недоліками аналога є слабка рекомендаційна система і нерелевантний інтерфейс. Також до недоліків можна віднести слабку систему взаємодії користувачів.

У розробці дана проблема вирішується завдяки покращенню алгоритму рекомендаційної системи, покращенню функціоналу та інтерфейсу. Також система випереджає аналог за такими параметрами як кількість можливих субтитрів.

Одиничний параметричний індекс розраховуємо за формулою [Козловський, Лесько, Кавецький]:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{баз\ i}}, \quad (4.1)$$

де q_i – одиничний параметричний індекс, розрахований за i -м параметром; P_i – значення i -го параметра виробу; $P_{баз\ i}$ – аналогічний параметр базового виробу-аналога, з яким проводиться порівняння.

Загальні технічні та економічні характеристики розробки представлено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Основні техніко-економічні показники аналога та розробки, що проектується

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)		
1	2	3	4	5
Точність виявлення дефектів	1	2	2	50%
Реакція системи (час, сек)	1	3	3	20%
Інтеграція з камерами та датчиками	3	8	2,7	30%

Нормативні параметри оцінюємо показником, який отримує одне з двох значень: 1 – пристрій відповідає нормам і стандартам; 0 – не відповідає.

Груповий показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами розраховуємо як добуток частинних показників за кожним параметром за формулою [Козловський, Лесько, Кавецький]:

$$I_{\text{гп}} = \prod_{i=1}^n q_i, \quad (4.2)$$

де $I_{\text{гп}}$ – загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами; q_i – одиничний (частинний) показник за i -м нормативним параметром; n – кількість нормативних параметрів, які підлягають оцінюванню.

За нормативними параметрами розроблюваний пристрій відповідає вимогам ДСТУ, тому $I_{\text{гп}} = 1$.

Значення групового параметричного індексу за технічними параметрами визначаємо з урахуванням вагомості (частки) кожного параметра [Козловський, Лесько, Кавецький]:

$$I_{ТП} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (4.3)$$

де $I_{ТП}$ – груповий параметричний індекс за технічними показниками (порівняно з виробом-аналогом); q_i – одиничний параметричний показник i -го параметра;

α_i – вагомість i -го параметричного показника, $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$; n – кількість технічних параметрів, за якими оцінюється конкурентоспроможність.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці 4.4.

$$I_{mn} = 2 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,2 + 2,7 \cdot 0,3 = 2,41.$$

Груповий параметричний індекс за економічними параметрами розраховуємо за формулою [Козловський, Лесько, Кавецький]:

$$I_{ЕП} = \sum_{i=1}^m q_i \cdot \beta_i, \quad (4.4)$$

де $I_{ЕП}$ – груповий параметричний індекс за економічними показниками; q_i – економічний параметр i -го виду; β_i – частка i -го економічного параметра, $\sum_{i=1}^m \beta_i = 1$; m – кількість економічних параметрів, за якими здійснюється оцінювання.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці .

$$I_{EP}=0,75 \cdot 0,5 + 0,86 \cdot 0,5 = 0,80.$$

На основі групових параметричних індексів за нормативними, технічними та економічними показниками розрахуємо інтегральний показник конкурентоспроможності за формулою [Козловський, Лесько, Кавецький]:

$$K_{INT} = I_{HP} \cdot \frac{I_{TP}}{I_{EP}}, \quad (4.5)$$

$$K_{INT} = 1 \cdot 2,41 / 0,80 = 3,01.$$

Інтегральний показник конкурентоспроможності $K_{INT} > 1$, отже розробка переважає відомі аналоги за своїми техніко-економічними показниками.

4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему "Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку", під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

4.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками

згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [Козловський, Лесько, Кавецький]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.6)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень; M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн; t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.; T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=21$ дні.

$$Z_o = 17500 \cdot 55 / 21 = 3977 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	17500	795,5	5	3977
Інженер-дослідник (програміст)	16000	727,3	44	32000
Всього				35977

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему "Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку" розраховуємо за формулою:

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.7)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год; t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.8)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), приймемо $M_M=8000$ грн; K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [Козловський, Лесько, Кавецький]; K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21$ дн; $t_{зм}$ – тривалість зміни, год. $C_1 = 8000,00 \cdot 1 \cdot 1,65 / (21 \cdot 8) = 78,6$ грн. $З_{p1} = 78,6 \cdot 75 = 5895$ грн.

Таблиця 4.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
1.Підготовчі	75	1	78,6	5895
2.Тестувальні	50	1	78,6	3930
Всього	9825			

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (4.9)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{доп}} = (35977 + 9825) \cdot 11 / 100\% = 5038,2 \text{ грн.}$$

4.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (4.10)$$

де $H_{\text{зн}}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%; $Z_n = (35977 + 9825 + 5038,2) \cdot 22 / 100\% = 11184,8 \text{ грн.}$

4.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою "Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку".

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\epsilon j}, \quad (4.11)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг; n – кількість видів матеріалів; C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг; K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$); B_j – маса відходів j -го найменування, кг; $C_{\epsilon j}$ – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір канцелярський офісний (A4) BUROMAX Premium	174,9	1	174,9
Папір для заміток (A5) BUROMAX Premium Light	110	1	110
Начиння канцелярське BUROMAX Premium	190	1	190
Всього			474,9
З врахуванням коефіцієнта транспортування			522,39

4.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_{ϵ}), які використовують при проведенні НДР на тему "Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку" не потрібні.

4.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення. В роботі спецустаткування не використовувалося.

4.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення. Програмне забезпечення, яке було використано в роботі було безкоштовним.

4.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{\text{обл}} = \frac{Ц_{\text{б}}}{T_{\text{в}}} \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12}, \quad (4.12)$$

де $Ц_{\text{б}}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн; $t_{\text{вик}}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців; $T_{\text{в}}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{\text{обл}} = (50000 \cdot 2) / (2 \cdot 12) = 4166,67 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер Core I3-2700	50000	2	2	4166,67
Приміщення	248700	20	2	2072,50
Всього				6239,17

4.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{vni}}{\eta_i}, \quad (4.13)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;
 t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год; C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 7,5$ грн; K_{vni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{vni} < 1$; η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.
 $B_e = 0,25 \cdot 280,0 \cdot 7,5 \cdot 0,5 / 0,8 = 328,13$ грн.

4.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему "Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку" належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (4.14)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cv} = 20\%$.

$$B_{cv} = (35977 + 9825) \cdot 20 / 100\% = 9160,4 \text{ грн.}$$

4.3.10 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_a = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ia}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де H_{ia} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ia} = 50\%$.

$$I_a = (35977 + 9825) \cdot 50 / 100\% = 22901 \text{ грн.}$$

4.3.11 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (З_o + З_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», приймемо $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (35977 + 9825) \cdot 100 / 100\% = 45802 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему "Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку". розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = З_o + З_p + З_{доо} + З_n + M + K_{г} + B_{спец} + B_{прг} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_{г} + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$B_{заг} = 35977 + 9825 + 5038,2 + 11184,8 + 522,39 + 6239,17 + 328,14 + 9160,4 + 22901 + 45802 = 146978.1 \text{ грн.}$$

Загальні витрати $ЗВ$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, приймемо $\eta = 0,7$.

$$ЗВ = 146978.1 / 0,7 = 209968,71 \text{ грн.}$$

4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою "Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку" передбачають комерціалізацію протягом 3-х років реалізації на ринку.

У цьому випадку основу майбутнього економічного ефекту будуть формувати:

ΔN – збільшення кількості споживачів яким надається відповідна інформаційна послуга у періоди часу, що аналізуються;

N – кількість споживачів яким надавалась відповідна інформаційна послуга у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 1 особа

$Ц_o$ – вартість послуги у році до впровадження інформаційної системи, прийmemo 1000,00 грн;

$\pm \Delta Ц_o$ – зміна вартості послуги від впровадження результатів, прийmemo зростання на 300,00 грн.

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta \Pi_i$ для кожного із 3-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [Козловський, Лесько, Кавецький]:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - \frac{\vartheta}{100}), \quad (4.19)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2021 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$; ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту). Прийmemo $\rho = 40\%$; ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2024 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (1 \cdot 300 + 1000 \cdot 1000) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 222125,7 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (1 \cdot 300 + 1000 \cdot (1000 + 800)) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 400034,01 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (1 \cdot 300 + 1000 \cdot (1000 + 800 + 600)) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 533278,68 \text{ грн.}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $\Pi\Pi$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$\Pi\Pi = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.20)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн; T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки; τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 18\%$; t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned}
 ПП &= 222125,7 / (1+0,18)^1 + 400034,01 / (1+0,18)^2 + 533278,68 / (1+0,18)^3 = \\
 &= 7721951,89 \text{ грн.}
 \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки:

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (4.21)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв}=2$; $3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 209968,71 грн.

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 209968,71 = 419937,42 \text{ грн.}$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{абс} = ПП - PV \quad (4.22)$$

де $ПП$ – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 7721951,89 грн; PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 419937,42 грн.

$$E_{абс} = ПП - PV = 7721951,89 - 419937,42 = 7302014,47 \text{ грн.}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_{ϵ} , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$E_{\epsilon} = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (4.23)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, грн; PV – теперішня вартість початкових інвестицій, грн; $T_{ж}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, 3 роки.

$$E_{\epsilon} = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 7302014,47 / 419937,42)^{1/3} - 1 = 1,6395.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min} :

$$\tau_{min} = d + f, \quad (4.24)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d=0,1$; f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,25. $\tau_{min} = 0,1 + 0,25 = 0,35 < 1,6395$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_{ϵ} , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Інформаційна технологія онтологічного моделювання бази знань з організації бібліотеки» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}}, \quad (4.25)$$

де E_{ϵ} – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 1,6395 = 0,6 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

4.5 Висновки до розділу 4

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою "Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку" становить 33 бали, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень оскільки рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього.

При оцінюванні рівня конкурентоспроможності, згідно узагальненого коефіцієнту конкурентоспроможності розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 3,01 рази.

Також термін окупності становить 0,6 років, що менше року, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою "Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку".

ВИСНОВКИ

У першому розділі було проведено детальний аналіз предметної області та об'єкту дослідження, що включало вивчення сучасних методів моніторингу технологічних процесів, а також аналіз існуючих систем для моніторингу 3D-друку. Оцінка існуючих рішень дозволила визначити основні вимоги до майбутньої системи та виявити прогалини, які можна заповнити за допомогою новітніх технологій. Цей аналіз сприяв формулюванню чіткої мети дослідження та вибору оптимальних методів і технологій для розв'язання поставлених завдань.

У другому розділі було розроблено метод автоматизованого моніторингу технологічного процесу 3D-друку. Було створено архітектуру програмної системи, що включає збирання даних з датчиків, аналіз відеопотоку з камер та застосування алгоритмів штучного інтелекту для виявлення дефектів. Використання Convolutional Neural Network (CNN) дозволило забезпечити високу точність виявлення аномалій у процесі друку, яка склала 95%. Система реагує на виявлені дефекти протягом 5 мілісекунд, що мінімізує ризик серйозних порушень у процесі друку.

У третьому розділі було реалізовано програмний модуль для обробки даних з камер та виявлення дефектів, інтеграцію алгоритмів комп'ютерного зору, а також розроблено інтерфейс для відображення стану принтера в реальному часі. Модуль був реалізований на основі Python з використанням бібліотек TensorFlow, OpenCV та Flask. Тестування програмного забезпечення проводилося протягом 50 годин безперервного друку, протягом яких система успішно ідентифікувала всі дефекти, підтвердивши стабільність, точність та швидкодію.

Останнім етапом було проведення оцінки економічної ефективності розробки, що включало аналіз витрат на розробку та впровадження системи. Загальна сума витрат на розробку склала 209 969 гривень. Визначено, що термін окупності проекту становить 0,6 року, що свідчить про високу економічну ефективність і перспективність використання розробленої системи в реальних умовах виробництва.

Впровадження цієї системи дозволить знизити матеріальні витрати, підвищити якість продукції та забезпечити своєчасне виявлення дефектів у процесі 3D-друку.

Отже, усі завдання, що стояли перед дослідженням, були успішно виконані. Розроблений програмний модуль моніторингу та управління технологічним процесом 3D-друку є конкурентоспроможним і може бути ефективно впроваджений на підприємствах, де використовується 3D-друк. Це дозволить автоматизувати процеси моніторингу, знизити ймовірність виникнення дефектів, що в свою чергу сприятиме підвищенню продуктивності та економічної ефективності підприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Крикливий К. Ю., Іванчук Я. В. «Особливості використання модулів ідентифікації типу користувача при авторизації,» в Матеріали конференції «LII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2023)», Вінниця, 2023. С. 357-359. [Електронний ресурс]. Режим доступу:
<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/788/1373/2632-1>.
2. Галяновська А. О., Крикливий К. Ю., Іванчук Я. В., «Проблеми впровадження інформаційної технології Blockchain у сфері освітніх послуг,» в Матеріали конференції «LI Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2022)», Вінниця, 2022. 774-776 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу:
<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/allvntu/index/pages/view/zbirn2022>
3. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 124456. «Комп'ютерна програма «Програмний модуль ідентифікації типу користувача в системах обробки і передачі даних при авторизації»» / К. Ю. Крикливий, Я. В. Іванчук (Україна); Державна організація «Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій». – Дата реєстрації 06.03.2024 р.
4. Harvard Business Review. The 3-D Printing Revolution / R. C. P. Chik. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hbr.org/2015/05/the-3-d-printing-revolution>.
5. Xometry. 3D Printing Guide: A Beginner's Guide to 3D Printing / Xometry Team. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/3d-printing-guide/>.
6. Ultimaker. Behind the Scenes: How Ultimaker 3D Printers Are Manufactured / Ultimaker Team. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ultimaker.com/learn/behind-the-scenes-how-ultimaker-3d-printers-are-manufactured/>.

7. Wikipedia. AstroPrint / Wikipedia contributors. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/AstroPrint>.
8. Amazon Web Services. What is IoT? / AWS. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aws.amazon.com/what-is/iot/#:~:text=The%20term%20IoT%2C%20or%20Internet,as%20between%20the%20devices%20themselves>.
9. CNET. The best 3D printing slicer / CNET Team. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cnet.com/tech/computing/the-best-3d-printing-slicer/>.
10. 3D Natives. Continuous 3D Printing / 3D Natives Team. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3dnatives.com/en/continuous-3d-printing-140120204/>.
11. Fictiv. 5 Ways AI is Impacting 3D Printing / Fictiv Team. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fictiv.com/articles/5-ways-ai-is-impacting-3d-printing>.
12. 3D Trust. Additive MES Software / 3D Trust Team. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dtrust.de/additive-mes-software/>.
13. OctoPrint. OctoPrint / OctoPrint Team. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://octoprint.org/>.
14. AstroPrint. AstroPrint Help Center / AstroPrint Team. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://astroprint.zendesk.com/hc/en-us>.
15. Repetier. Repetier-Server Live Demo / Repetier Team. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.repetier-server.com/live-demo/>.
16. MatterHackers. MatterControl / MatterHackers Team. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.matterhackers.com/store/l/mattercontrol/sk/MKZGTDW6>.
17. IBM. Convolutional Neural Networks / IBM Team. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ibm.com/topics/convolutional-neural-networks>.
18. Python. Python Documentation / Python Software Foundation. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.python.org/3/>.

19. PyTorch. PyTorch Ecosystem / PyTorch Team. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pytorch.org/ecosystem/>.
20. Telepot. Telepot Documentation / Telepot Team. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://telepot.readthedocs.io/en/latest/>.
21. Learn OpenCV. Learn OpenCV / Satya Mallick. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.learnopencv.com/>.
22. Miguel Grinberg. Flask Mega-Tutorial / Miguel Grinberg. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blog.miguelgrinberg.com/post/the-flask-mega-tutorial-part-i-hello-world>.
23. Coursera. Java Programming and Software Engineering Fundamentals / Coursera Team. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.coursera.org/specializations/java-programming>.
24. C# Programming Yellow Book / Rob Miles. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.csharpcourse.com/>.
25. JetBrains. PyCharm Guide / JetBrains Team. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.jetbrains.com/pycharm/guide/>.
26. JetBrains. PyCharm Guide / JetBrains Team. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.jetbrains.com/pycharm/guide/>.
27. Методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» [Електронний ресурс] / уклад.: А. А. Яровий, О. К. Колесницький. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 58 с.
28. Сучасні інформаційні технології у сфері штучного інтелекту : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Яровий А. А., Крилик Л. В. , Козловський А. В. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 145 с.

Додаток А (обов'язковий)

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень

Назва роботи: Інформаційна технологія дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра комп'ютерних наук, ФІТА

(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 95%

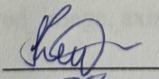
Схожість 5%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

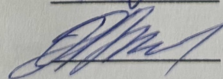
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи



Крикливий К.Ю.

Керівник роботи



Іванчук Я.В.

Опис прийнятого рішення

Магістерську кваліфікаційну роботу допущено до захисту

Особа, відповідальна за перевірку



Озеранський В.С.

Додаток Б (обов'язковий)

Лістинг програми

```

import cv2
import numpy as np
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras.models import load_model
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.cluster import KMeans
import time
import matplotlib.pyplot as plt

model = load_model('cnn_defect_detection_model.h5')

camera = cv2.VideoCapture(0)

def preprocess_image(image):
    gray_image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    blurred_image = cv2.GaussianBlur(gray_image, (5, 5), 0)
    contrast_image = cv2.convertScaleAbs(blurred_image, alpha=1.5, beta=0)
    return contrast_image

def detect_defects(image):
    preprocessed_image = preprocess_image(image)
    resized_image = cv2.resize(preprocessed_image, (224, 224))
    resized_image = np.expand_dims(resized_image, axis=0)
    resized_image = np.expand_dims(resized_image, axis=-1)
    resized_image = resized_image / 255.0
    prediction = model.predict(resized_image)
    return prediction

def adjust_print_parameters(defect_type):
    if defect_type == "Layer Misalignment":
        return {"material_speed": 0.8, "extrusion_rate": 1.2}

```

```

elif defect_type == "Deformation":
    return {"material_speed": 1.0, "extrusion_rate": 1.0}
elif defect_type == "Adhesion Failure":
    return {"material_speed": 0.9, "extrusion_rate": 1.1}
else:
    return {"material_speed": 1.0, "extrusion_rate": 1.0}

def main():
    while True:
        ret, frame = camera.read()
        if not ret:
            break

        prediction = detect_defects(frame)
        defect_type = "No Defect" if prediction < 0.5 else "Layer Misalignment" # Placeholder
        logic
        if defect_type != "No Defect":
            print(f'Defect detected: {defect_type}')
            adjustments = adjust_print_parameters(defect_type)
            print(f'Adjusting parameters: {adjustments}')

        cv2.imshow("Live 3D Print Monitoring", frame)
        if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
            break

    camera.release()
    cv2.destroyAllWindows()

if __name__ == "__main__":
    main()

<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
    <meta charset="UTF-8">

```

```

<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
<title>Моніторинг 3D-друку</title>
<link rel="stylesheet" href="styles.css">
<style>
  body {
    font-family: Arial, sans-serif;
    margin: 0;
    padding: 0;
    background-color: #f4f4f4;
    color: #333;
  }
  .container {
    width: 80%;
    margin: auto;
    overflow: hidden;
  }
  header {
    background: #35424a;
    color: #ffffff;
    padding: 10px 0;
    text-align: center;
  }
  #video-container {
    margin: 20px 0;
    text-align: center;
    border: 2px solid #35424a;
    padding: 20px;
    border-radius: 5px;
    background: #ffffff;
  }
  video {
    width: 100%;
    max-width: 800px;
    border: 2px solid #35424a;
  }

```



```

.status {
    background: #ffffff;
    padding: 20px;
    border: 1px solid #cccccc;
    border-radius: 5px;
    margin-bottom: 20px;
}

.status h2 {
    margin-top: 0;
}

button {
    background: #35424a;
    color: #ffffff;
    border: none;
    padding: 10px 15px;
    margin: 5px;
    cursor: pointer;
    border-radius: 5px;
}

button:hover {
    background: #47545e;
}

.image-container {
    margin: 20px 0;
}

.image-container img {
    max-width: 100%;
    height: auto;
    border: 2px solid #35424a;
}

</style>
</head>
<body>

<header>

```

```

    <h1>Моніторинг 3D-друку</h1>
</header>

<div class="container">
    <div>
        <h2>Відеопотік з камери</h2>
        <!-- <video id="camera-stream" autoplay></video> -->
        <div class="image-container">
            
        </div>
    </div>

    <div class="status">
        <h2>Стан принтера</h2>
        <p><strong>Статус:</strong> <span id="printer-status">Зупинений (знайдено
дефект)</span></p>
        <p><strong>Процес друку:</strong> <span id="printing-progress">12%</span></p>
        <p><strong>Час до завершення:</strong> <span id="remaining-time">(знайдено
дефект)</span></p>
        <p><strong>Дефекти:</strong> <span id="defect-status">Знайдено!</span></p>
        <p><strong>Показники датчиків:</strong> <span id="defect-status">В
нормі</span></p>
    </div>

    <div class="controls">
        <button id="pause-button">Пауза</button>
        <button id="resume-button">Продовжити</button>
        <button id="stop-button">Зупинити</button>
        <button id="notify-button">Сповістити в Telegram</button>
    </div>
</div>

<script>
    // Для демонстраційних цілей відеопотік можна замінити на URL реальної камери
    const videoElement = document.getElementById('camera-stream');
```

```

navigator.mediaDevices.getUserMedia({ video: true })
    .then(function(stream) {
        videoElement.srcObject = stream;
    })
    .catch(function(err) {
        console.error("Не вдалося отримати доступ до камери: " + err);
    });

// Приклади функцій для кнопок
document.getElementById('pause-button').onclick = function() {
    document.getElementById('printer-status').innerText = "На паузі";
};

document.getElementById('resume-button').onclick = function() {
    document.getElementById('printer-status').innerText = "Запущений";
};

document.getElementById('stop-button').onclick = function() {
    document.getElementById('printer-status').innerText = "Зупинений";
};

document.getElementById('notify-button').onclick = function() {
    alert("Сповіщення надіслано в Telegram");    }; </script> </body> </html>

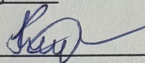
```

Додаток В (обов'язковий)

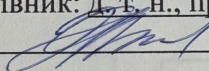
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ І
КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ 3D-ДРУКУ

Виконав: студент 2-го курсу, групи

1КН-23м спеціальності 122 «Комп'ютернінауки»Крикливий К.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф.Іванчук Я.В.

(прізвище та ініціали)

« 05 » 12

2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

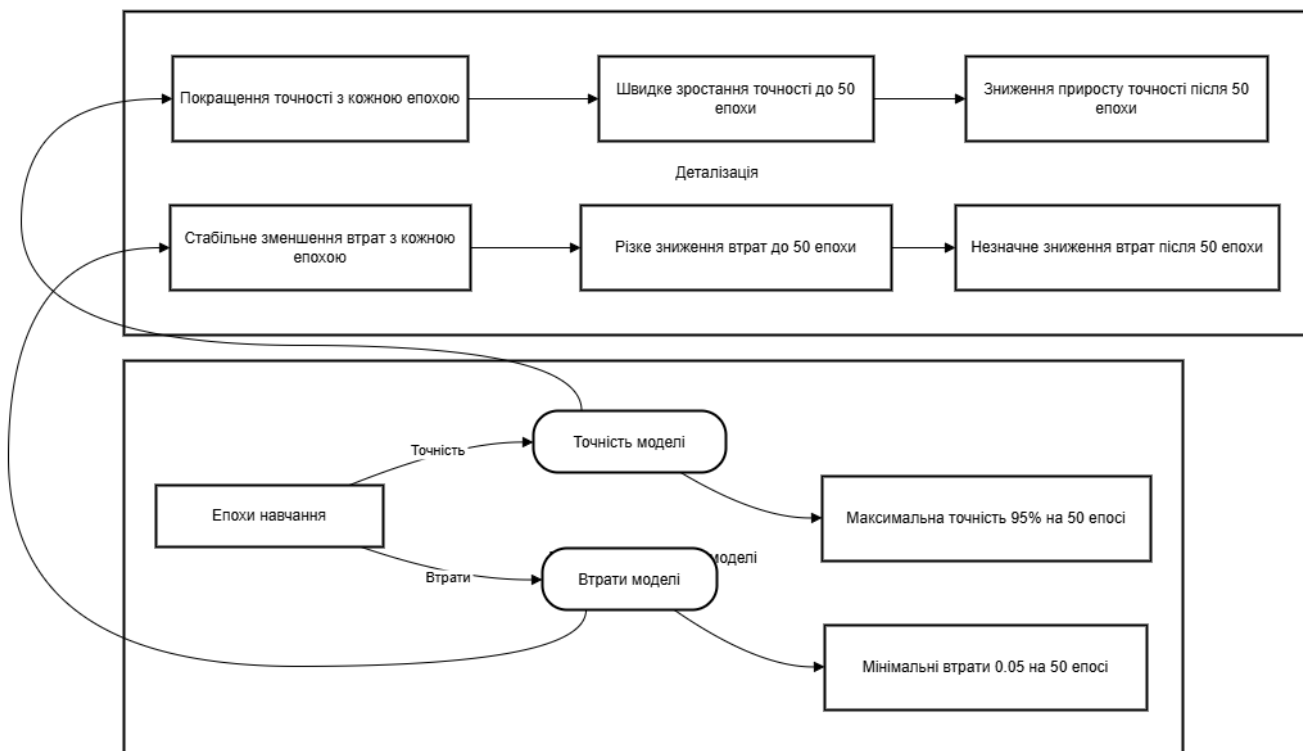


Рисунок В.1 – Графік точності та втрат моделі під час обробки зображень

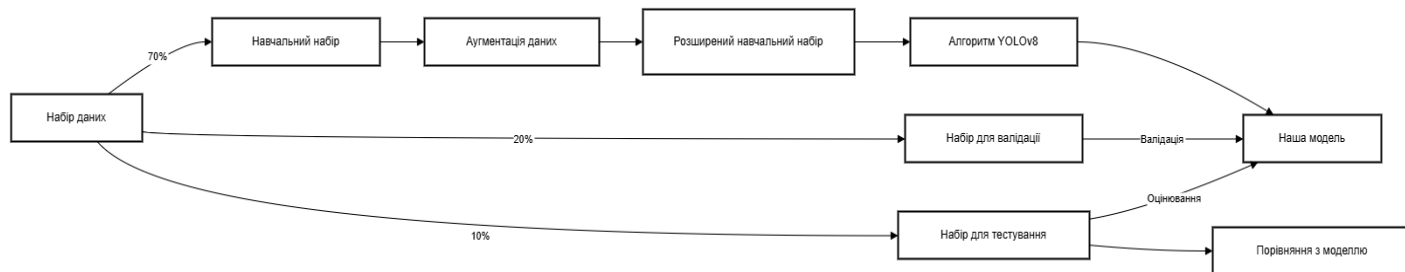


Рисунок В.2 – Схема процесу навчання та оцінювання моделі для розпізнавання об'єктів

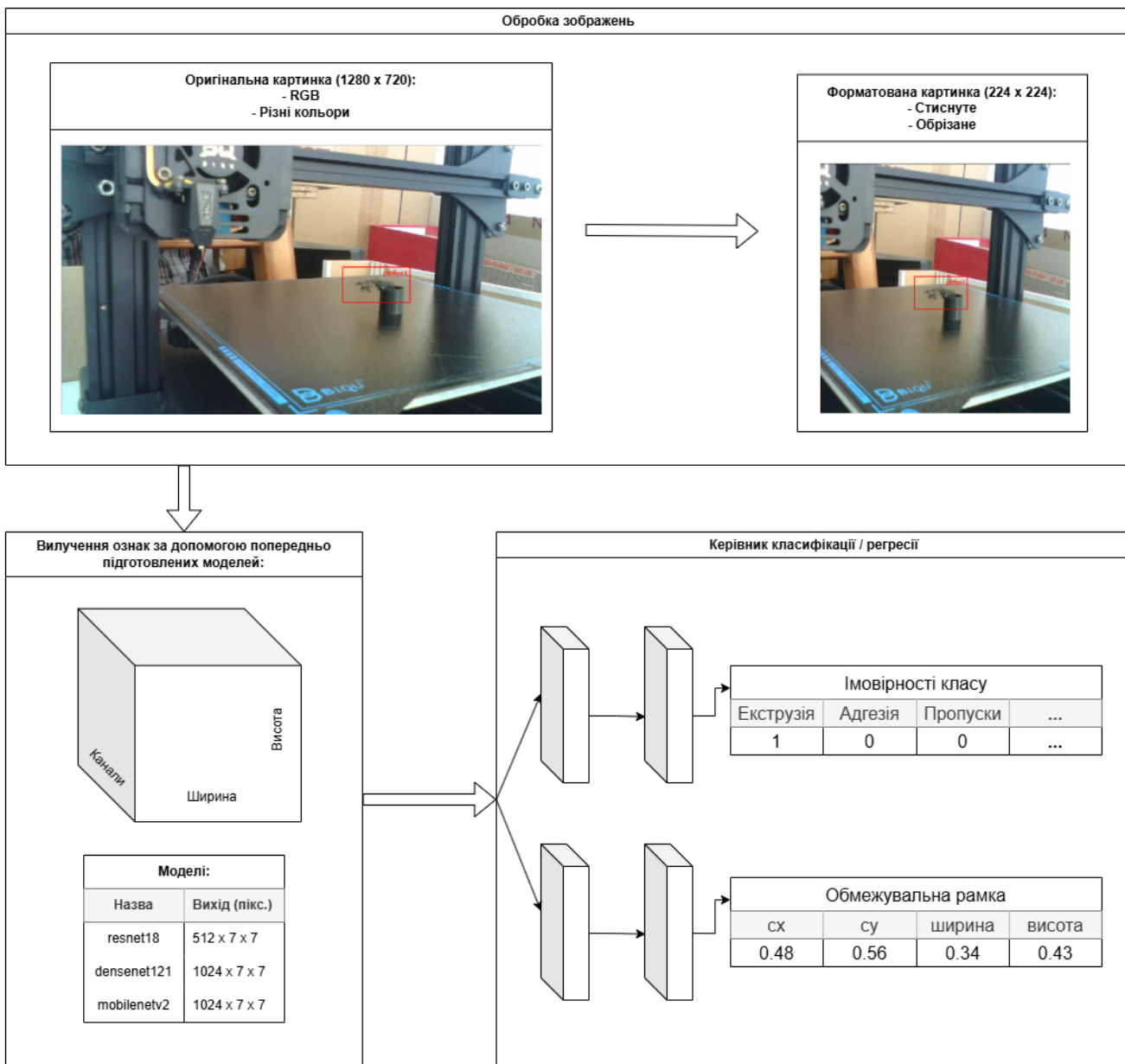


Рисунок В.3 – Схема обробки та класифікації зображень

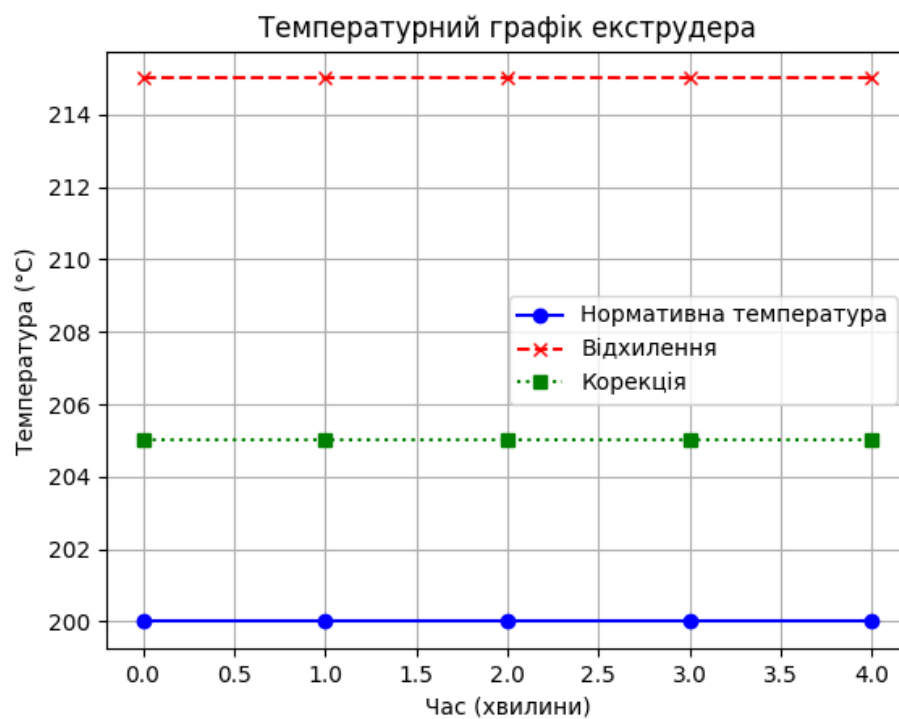


Рисунок В.4 – Графік зміни температури екструдера та допустимих меж

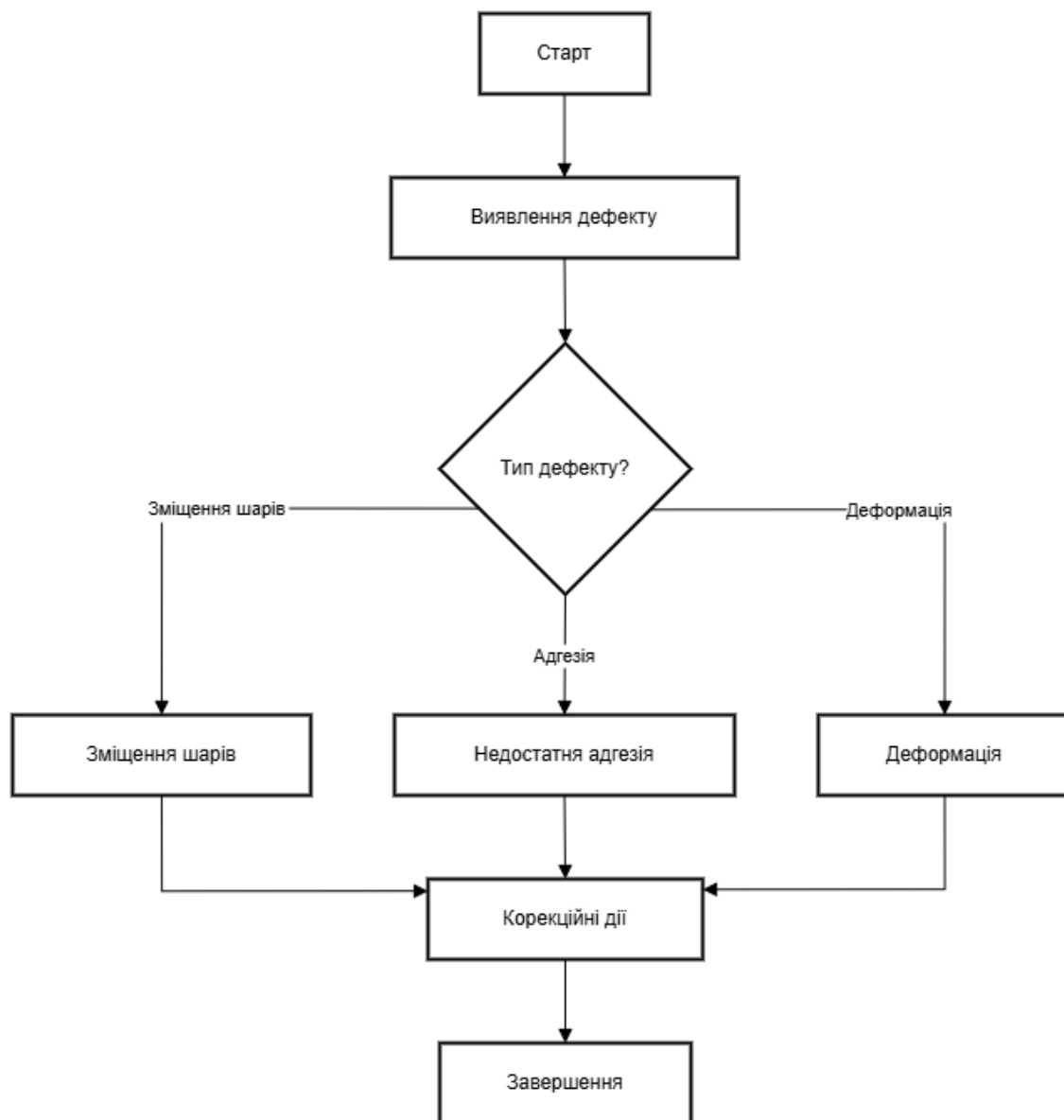


Рисунок В.5 – Блок-схема процесу автоматичної корекції дефектів

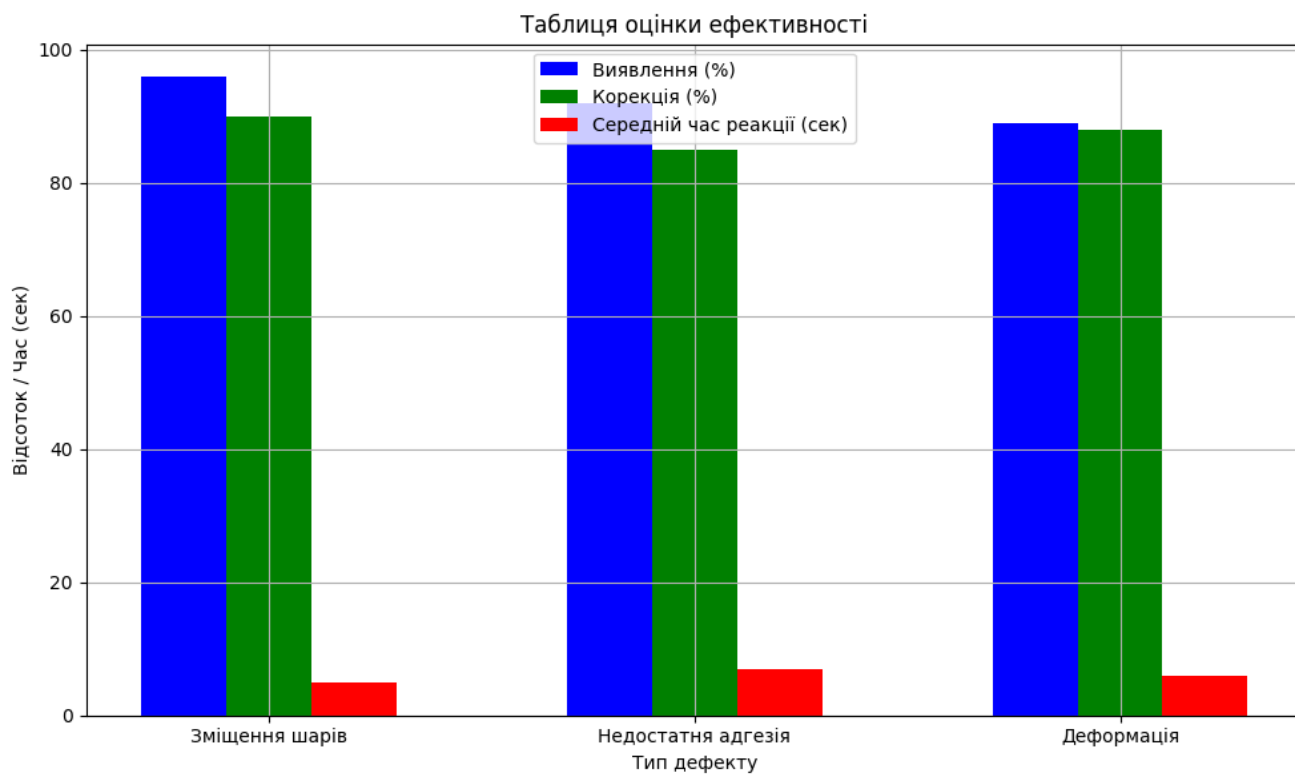


Рисунок В.6 – Графік оцінки ефективності та надійності системи

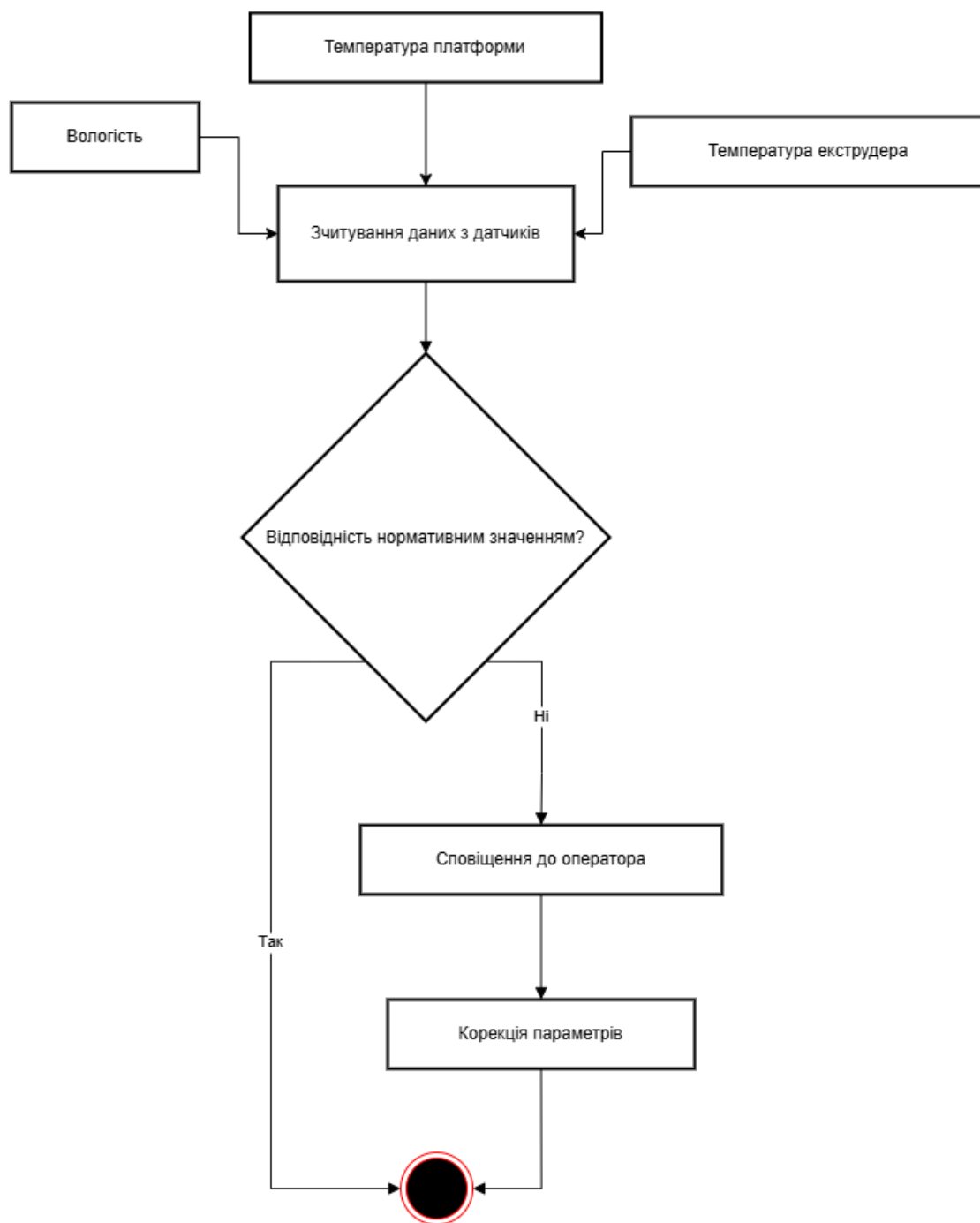


Рисунок В.7 – Блок-схема роботи алгоритму моніторингу показників

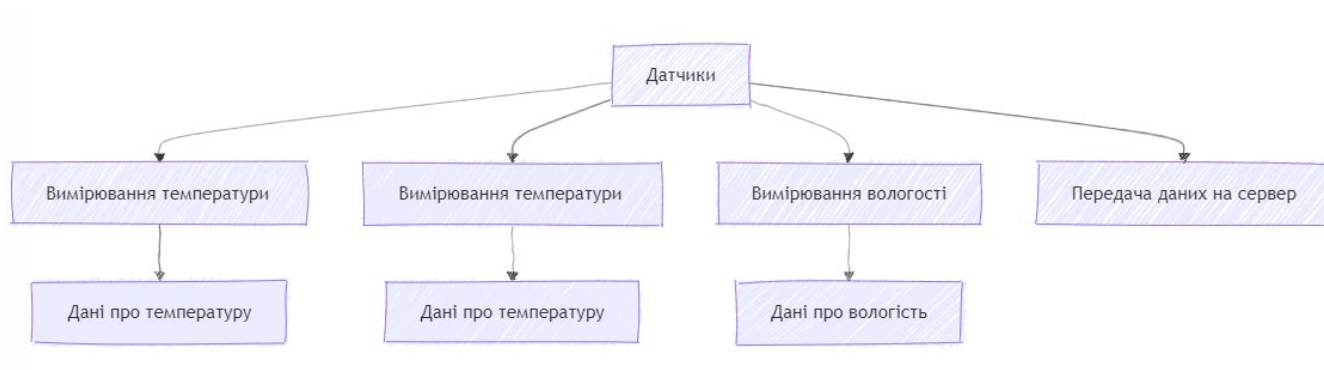


Рисунок В.8 – Діаграма компонентів датчиків

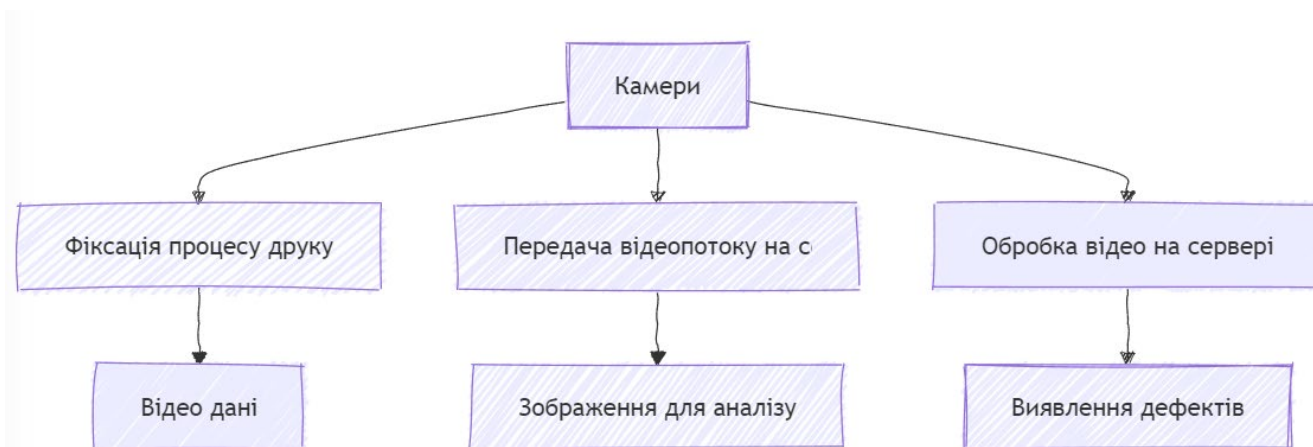


Рисунок В.9 – Діаграма компонентів камер

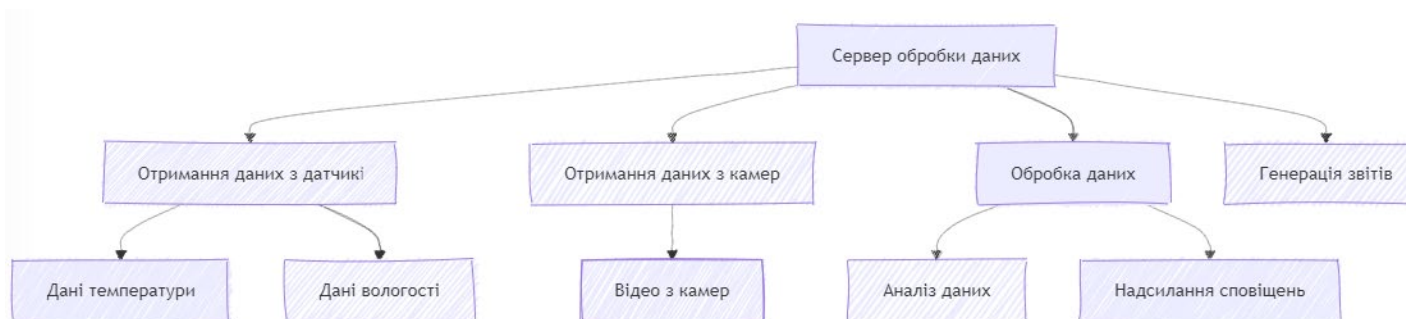


Рисунок В.10 – Діаграма сервера обробки даних

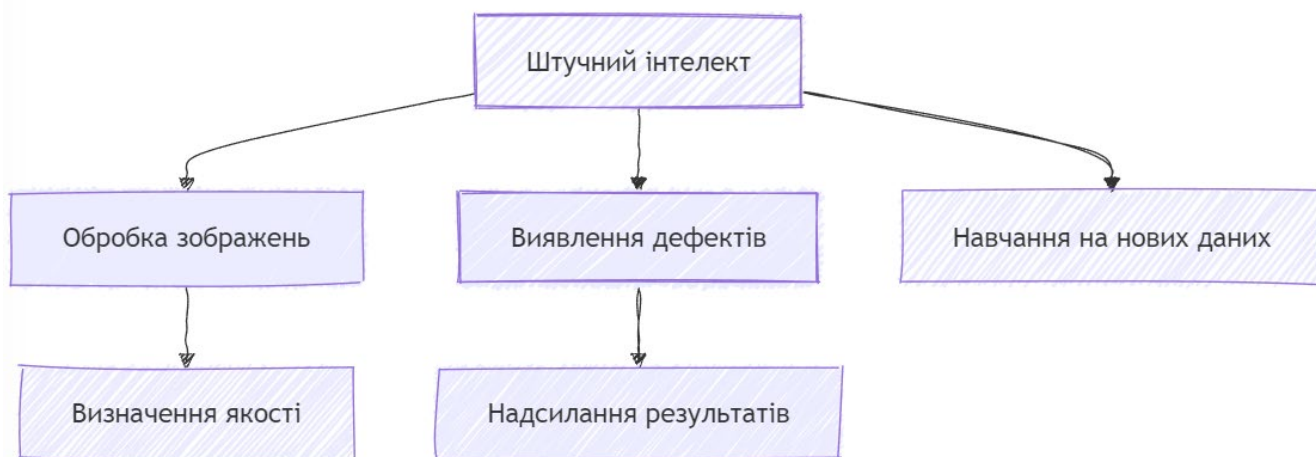


Рисунок В.11 – Діаграма штучного інтелекту

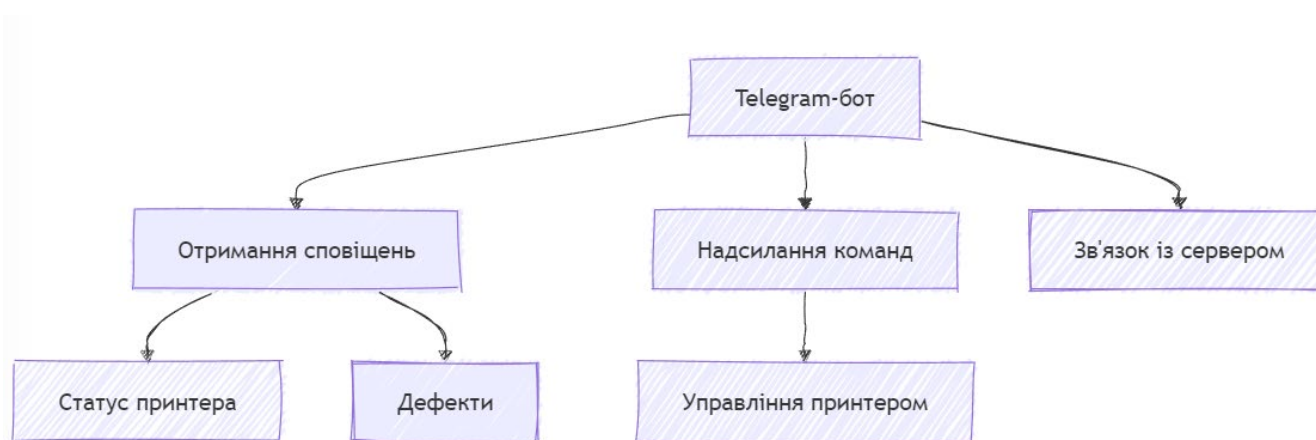


Рисунок В.12 – Діаграма Telegram-бота

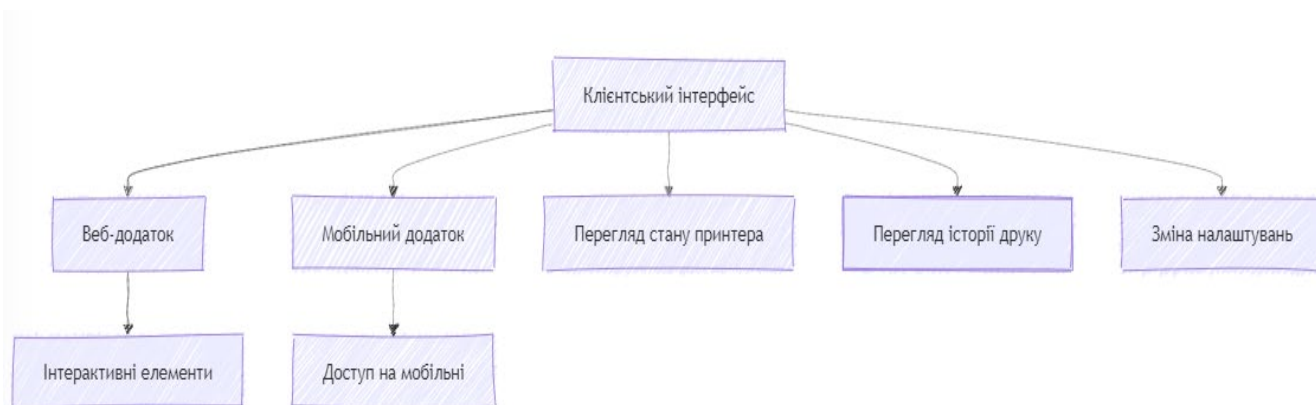


Рисунок В.13 – Діаграма клієнтського інтерфейсу

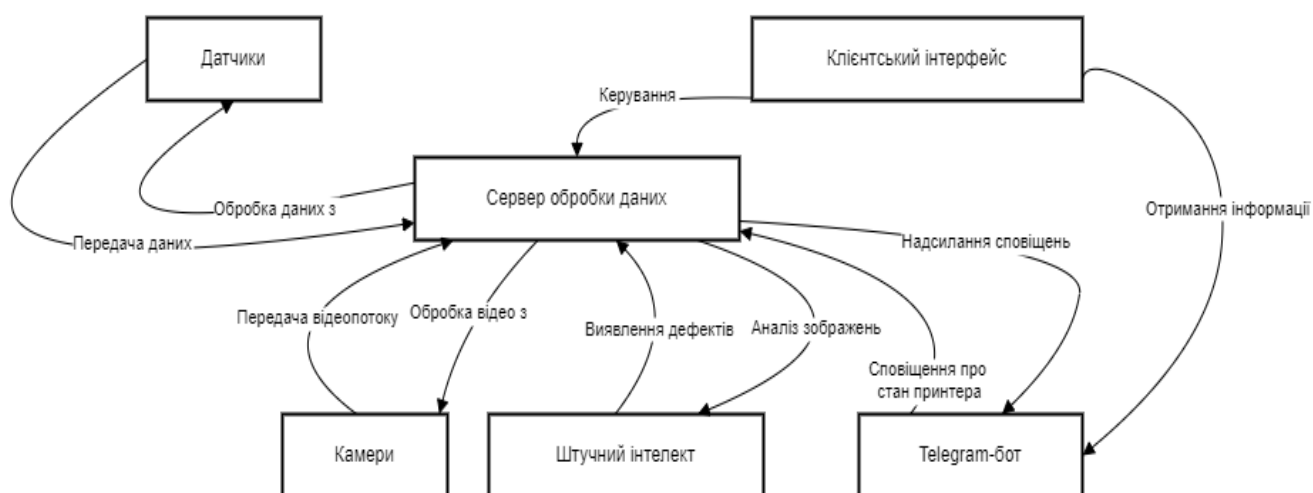


Рисунок В.14 – Загальна діаграма архітектури інформаційної системи моніторингу та керування друку

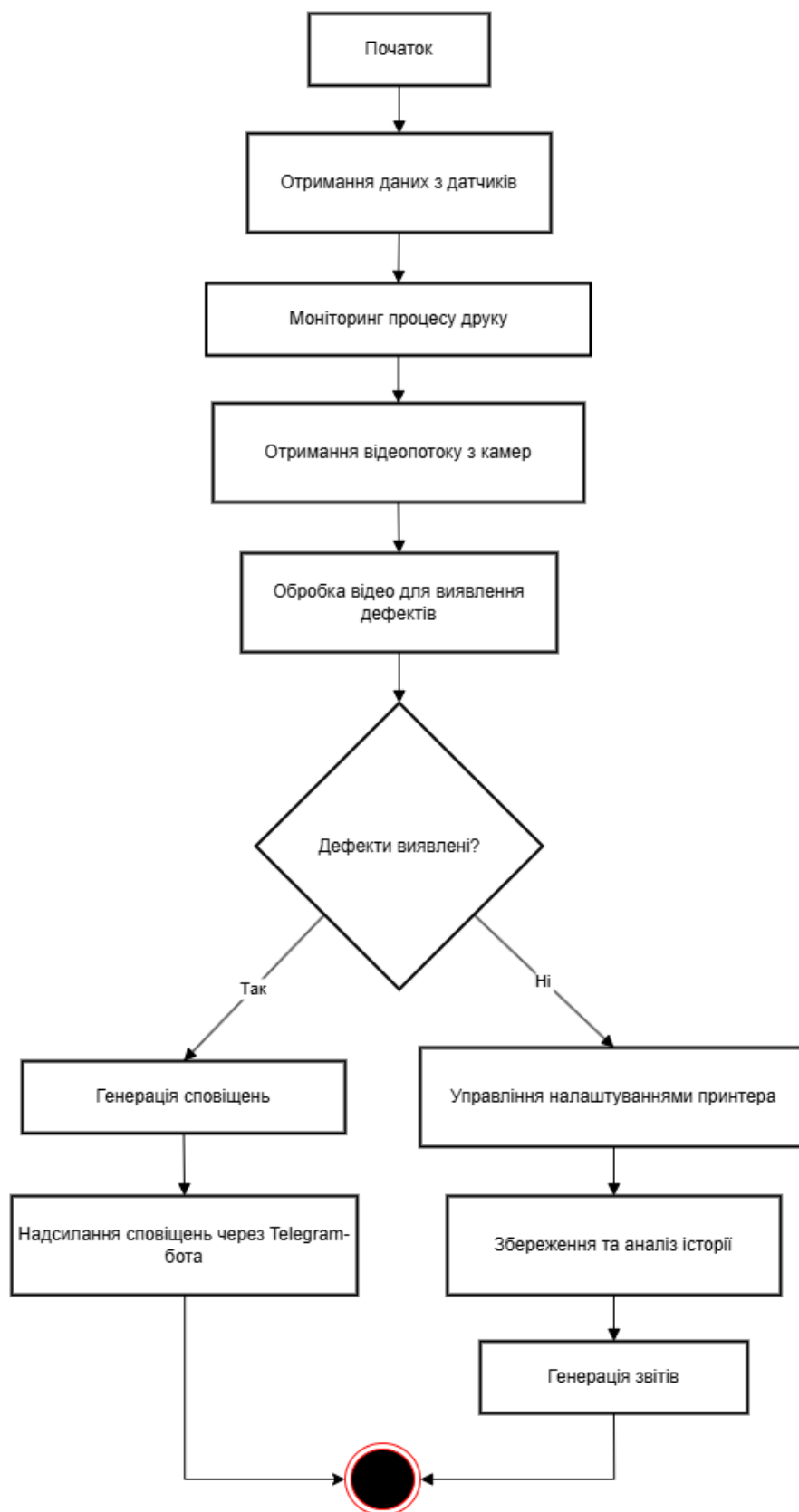


Рисунок В.15 – Схема алгоритму функціонування технології дистанційного моніторингу і керування технологічним процесом 3D-друку

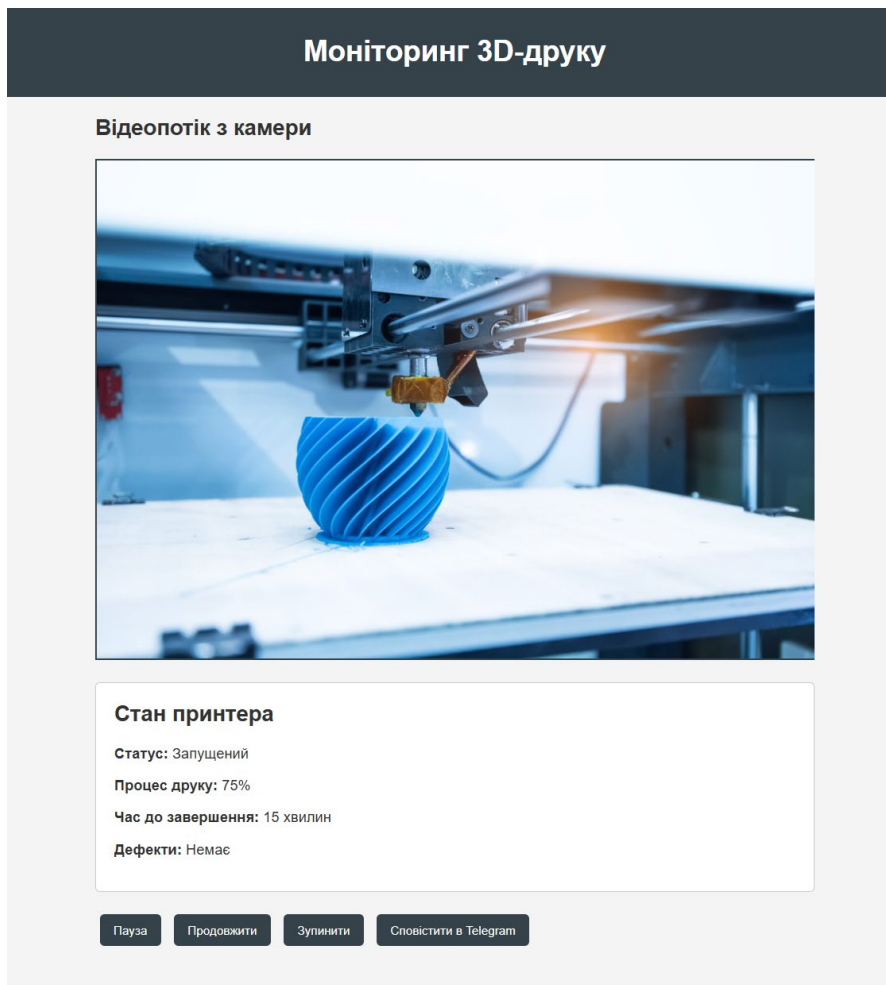
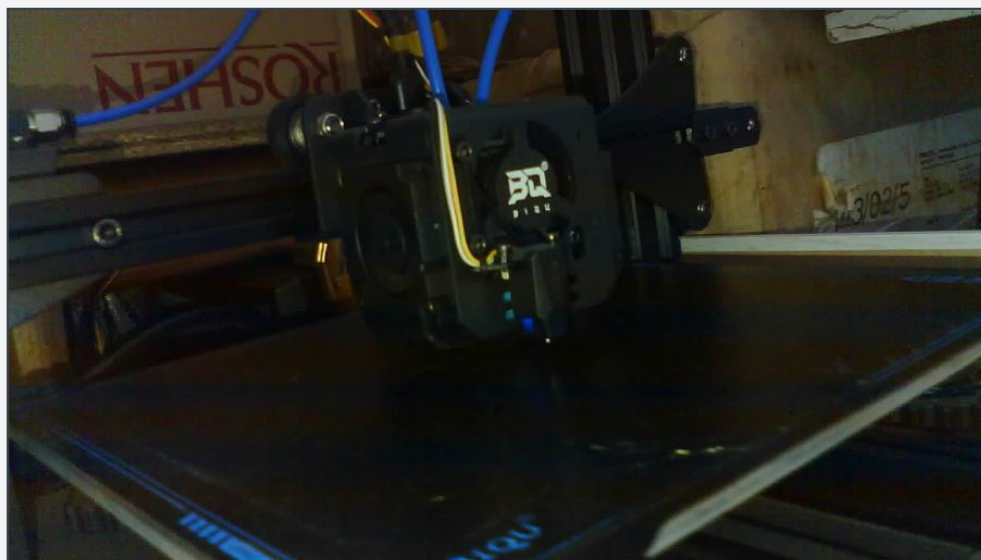


Рисунок В.16 – Загальний вигляд інтерфейсного вікна опитування користувача

Моніторинг 3D-друку

Відеопотік з камери



Стан принтера

Статус: Запущений (очікує)

Процес друку: (очікує)

Час до завершення: (очікує)

Дефекти: Немає

Показники датчиків: В нормі

Пауза

Продовжити

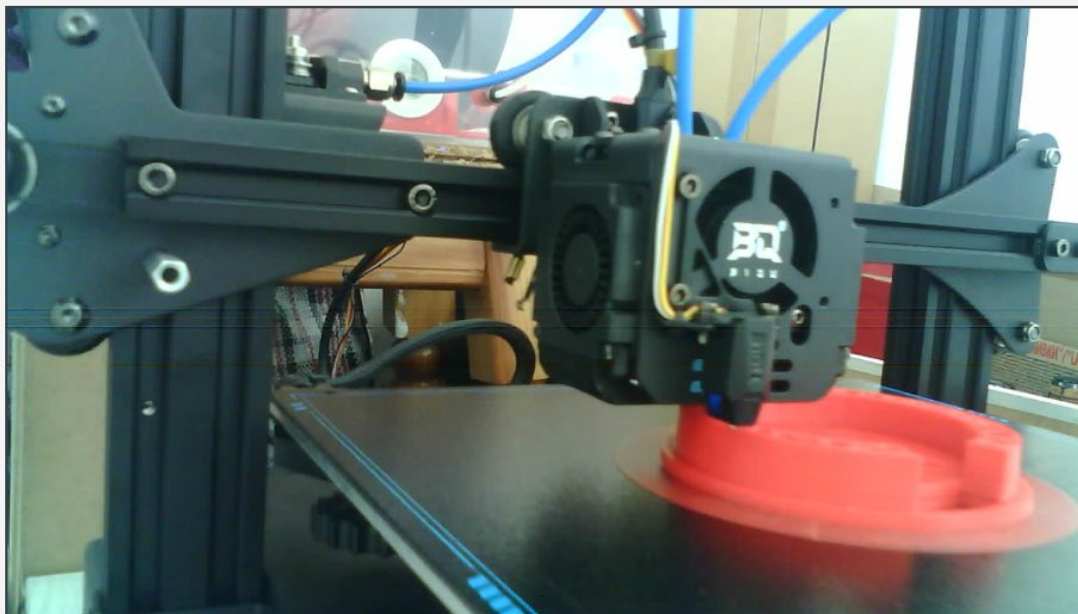
Зупинити

Сповістити в Telegram

Рисунок В.17 – Загальний вигляд інтерфейсного вікна системи моніторингу

Моніторинг 3D-друку

Відеопотік з камери



Стан принтера

Статус: На паузі

Процес друку: 47%

Час до завершення: 2 години 12 хвилини

Дефекти: Немає

Показники датчиків: В нормі

Пауза

Продовжити

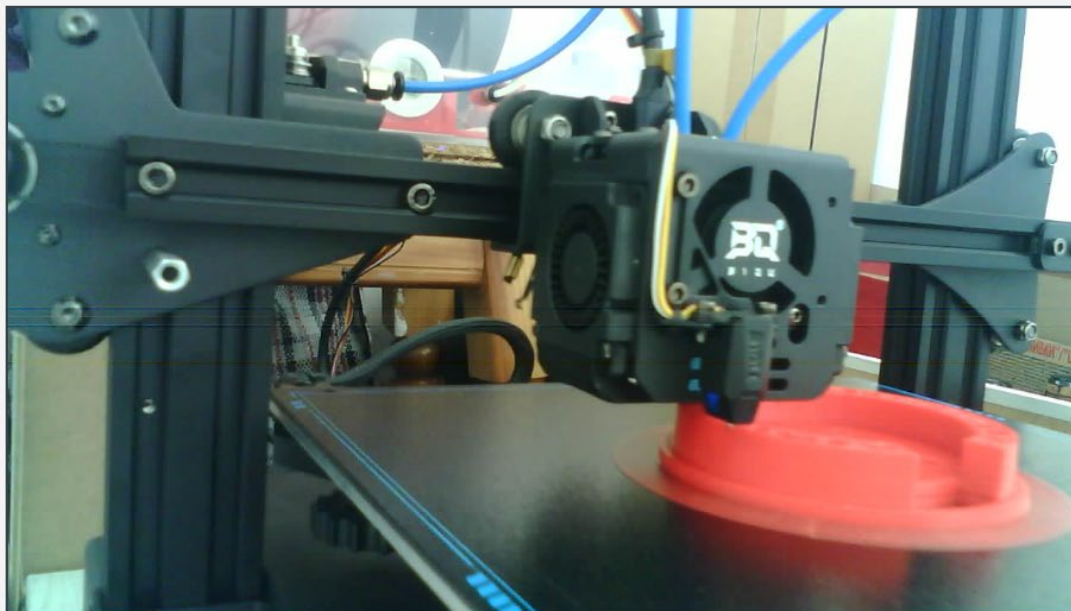
Зупинити

Сповістити в Telegram

Рисунок В.18 – Загальний вигляд інтерфейсної системи моніторингу, що на паузі

Моніторинг 3D-друку

Відеопотік з камери



Стан принтера

Статус: Запущений

Процес друку: 47%

Час до завершення: 2 години 12 хвилини

Дефекти: Немає

Показники датчиків: В нормі

Пауза

Продовжити

Зупинити

Сповістити в Telegram

Рисунок В.19 – Загальний вигляд інтерфейсної системи моніторингу, що був знятий з паузи

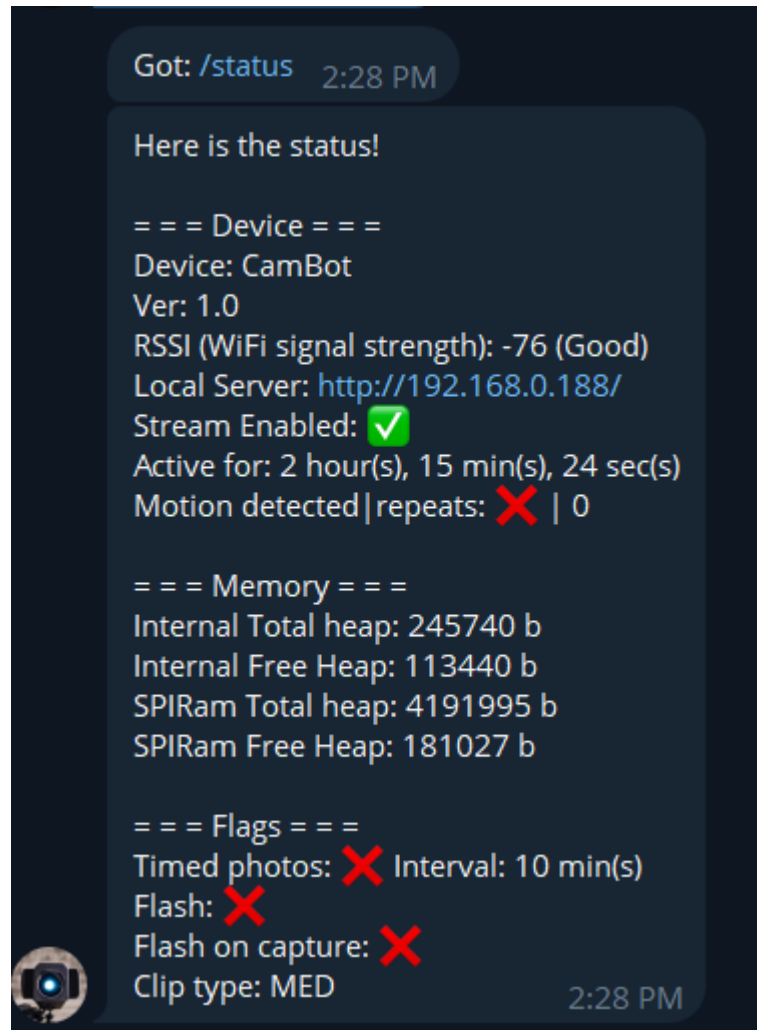
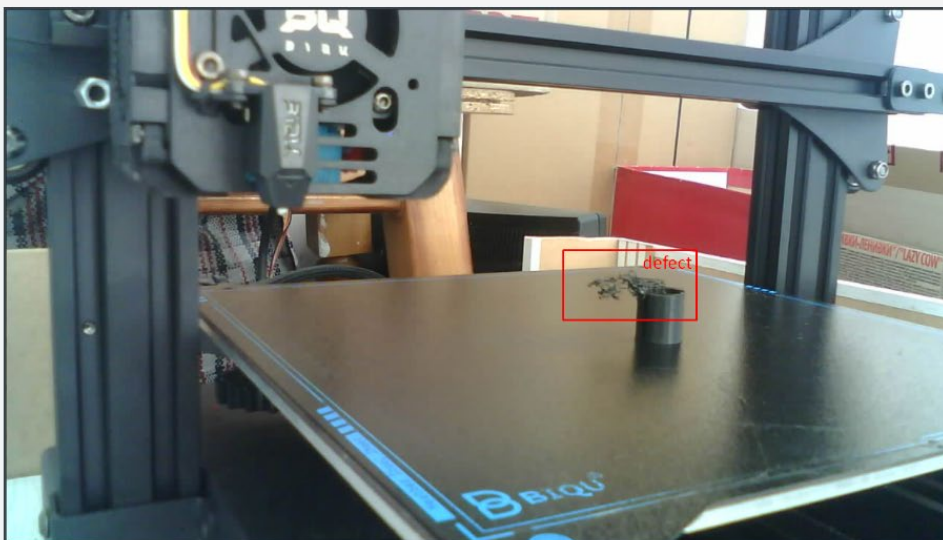


Рисунок В.20 – Загальний вигляд нотифікації від системи моніторингу у застосунку Телеграм

Моніторинг 3D-друку

Відеопотік з камери



Стан принтера

Статус: Зупинений (знайдено дефект)

Процес друку: 12%

Час до завершення: (знайдено дефект)

Дефекти: Знайдено!

Показники датчиків: В нормі

Пауза

Продовжити

Зупинити

Сповістити в Telegram

Рисунок В.21 – Загальний вигляд інтерфейсної системи моніторингу, що виявила дефект під час друку

Додаток Г (довідниковий)

Інструкція користувача

Для початку роботи з системою моніторингу 3D друку необхідно мати налаштоване підключення до 3D принтера та доступ до інтерфейсу через браузер або спеціалізований додаток. Після цього необхідно запустити програму для підключення до принтера та ініціалізації моніторингу.

- **Підключення до принтера:** Після запуску додатку на головній сторінці відобразиться доступний 3D принтер. Для початку роботи натисніть кнопку "Підключитися". Система автоматично з'єднається з принтером через мережу або Wi-Fi.
- **Автоматичний запуск моніторингу:** Після успішного підключення система почне автоматично зчитувати дані з датчиків принтера (температура екструдера, швидкість подачі матеріалу та інші параметри). Данні оновлюються кожні 10 секунд. Усі показники відображаються на головній сторінці інтерфейсу.
- **Визначення дефектів друку:** Алгоритм комп'ютерного зору постійно аналізує зображення, що надходять з камер, розташованих біля принтера. Якщо виявлено дефект, система автоматично відобразить попередження на екрані. Дефекти можуть бути класифіковані за категоріями: зміщення шарів, деформації, порушення адгезії тощо.
- **Пропозиція корекційних дій:** Коли дефект виявлений, система запропонує можливі дії для його корекції. Наприклад, при недостатній адгезії система може запропонувати зменшити швидкість подачі матеріалу або навіть зупинити друк для уникнення матеріальних втрат.
- **Перегляд статистики:** У розділі "Статистика" користувач може побачити історію параметрів друку, таких як зміна температури екструдера та інших важливих показників. Всі дані зберігаються та можуть бути переглянуті в будь-який час.
- **Налаштування повідомлень:** У меню налаштувань можна встановити типи повідомлень, які будуть надсилатися користувачу, коли буде

виявлено дефект або інші критичні умови. Повідомлення можуть бути відправлені через електронну пошту або повідомлення в Telegram.

- **Завершення моніторингу:** Після завершення друку користувач може натискати кнопку "Завершити моніторинг", після чого всі дані будуть збережені в системі для подальшого аналізу.

- **Допомога та підтримка:** Для отримання додаткової інформації або вирішення проблем користувач може звернутися до розділу "Допомога" або звернутися до технічної підтримки через спеціалізовану форму на веб-сторінці.