

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розробка інтелектуальної системи формування дизайну
пляшкових корків на базі штучного інтелекту**

Виконав: студент 4 курсу, групи КТ-41

спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-

інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Кравець В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дідич І.С.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Чихіра І.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Микитишин А.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Капаціла Ю.Б.

(прізвище та ініціали)

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Микитишин А.Г

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 31 » березня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Кравцю Владиславу Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка інтелектуальної системи формування дизайну пляшкових корків на базі штучного інтелекту

Керівник роботи Дідич Ірина Степанівна, доктор філософії

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 31 » березня 2025 року № 4/7-239

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи становить датасет, що містить 23 зображення пляшкових корків у поєднанні з відповідними текстовими описами

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

1. Аналітична частина.

2. Проектна частина.

3. Спеціальна частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

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

1, 2. Актуальність теми та мета роботи. 3,4,5. Технологія виготовлення термоусадочних ковпачків. 6. Архітектура інтелектуальної системи генерації дизайнів

7,8. Реалізація генерації дизайнів за допомогою Gradio-інтерфейсу. 9. Технологія донавчання

LoRA. 10-15. Оцінка якості та точності згенерованих дизайнів. 16. Оцінка якості та точності згенерованих дизайнів. 17. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>кандидат технічних наук, доцент кафедри МТ Сенчишин В. С.</i>		

7. Дата видачі завдання 31 березня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Технологія виготовлення термоусадочних ковпачків</i>	<i>3.06.2025</i>	<i>Виконано</i>
2.	<i>Основні напрями застосування ШІ в дизайні упаковок</i>	<i>4.06.2025</i>	<i>Виконано</i>
3.	<i>Архітектура інтелектуальної системи генерації дизайнів</i>	<i>5.06.2025</i>	<i>Виконано</i>
5.	<i>Підготовка та попередня обробка навчальної вибірки</i>	<i>7.06.2025</i>	<i>Виконано</i>
6.	<i>Створення навчального набору даних LoRA</i>	<i>10.06.2025</i>	<i>Виконано</i>
7.	<i>Спеціальна частина</i>	<i>14.06.2025</i>	<i>Виконано</i>
8.	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>15.06.2025</i>	<i>Виконано</i>
9.	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>18.06.2025</i>	<i>Виконано</i>
10.	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>26.06.2025</i>	<i>Виконано</i>

Студент

(підпис)

Кравець В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дідич І.С.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі здійснено процес розробки інтелектуальної системи формування дизайну пляшкових корків на базі штучного інтелекту. Обґрунтовано актуальність дослідження, зумовлену зростаючою потребою у створенні унікальних, естетичних та комерційно ефективних дизайнів упаковок для харчової, фармацевтичної продукції тощо.

На основі аналізу сучасних методів машинного навчання, було обрано генеративні дифузійні моделі, зокрема архітектуру Stable Diffusion з додатковим навчанням за допомогою технології LoRA (Low-Rank Adaptation). Досліджено принципи роботи генеративних моделей, їх здатність до стилізації, персоналізації та врахування специфіки вихідних зразків дизайну. Для навчання системи було зібрано експериментальну базу з 23 зразків існуючих пляшкових корків, виконано їх обробку, маркування та підготовку до навчання.

Розроблено повноцінний цикл створення дизайну: формування датасету, налаштування середовища розробки у Google Colab, навчання генеративної моделі з LoRA, створення Gradio-інтерфейсу для інтерактивної генерації зображень. Запропонована система дозволяє користувачу задавати текстовий опис (prompt), на основі якого модель синтезує нові зразки дизайну, зберігаючи ключові ознаки стилю вихідних даних.

У роботі проведено аналіз ефективності системи, наведено результати генерації для кожного із заданих текстових описів, виконано порівняння з реальними зразками. Визначено перспективні напрями використання розробленої системи для автоматизації дизайнерських процесів, прискорення етапів розробки нових продуктів, а також розширення асортименту продукції підприємств.

Ключові слова: генеративні моделі, LoRA, штучний інтелект, дизайн, нейронні мережі, пляшкові корки, Stable Diffusion, машинне навчання, генерація зображень, автоматизація дизайну.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ШІ – штучний інтелект;

LoRA – Low-Rank Adaptation;

Prompt – текстовий опис;

Google Colab – хмарне середовище для навчання моделей та генерації зображень з використанням GPU;

Hugging Face Diffusers – бібліотека генеративних моделей для роботи з Stable Diffusion;

Gradio – інтерактивний веб-інтерфейс для користувацької взаємодії з моделлю;

Python 3.x – основна мова програмування;

LoRA Trainer – набір інструментів для додаткового навчання моделей у середовищі Google Colab

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Технологія виготовлення термоусадочних ковпачків.....	8
1.2 Основні напрями застосування ІІІ в дизайні упаковок.....	15
1.3 Порівняння сучасних методів генерації зображень	18
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	22
2.1 Постановка задачі та визначення вимог до системи	22
2.2 Архітектура інтелектуальної системи генерації дизайнів.....	23
2.3 Підготовка та попередня обробка навчальної вибірки	26
2.4 Створення навчального набору даних LoRA	28
2.5 Організація середовища розробки у Google Colab	29
2.6 Проведення процесу навчання нейронної мережі	31
2.7 Реалізація генерації дизайнів за допомогою Gradio-інтерфейсу.....	32
РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	36
3.1 Технологія донавчання LoRA: особливості та переваги	36
3.2 Аналіз отриманих результатів генерації зображень.....	38
3.3 Оцінка якості та точності згенерованих дизайнів	48
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	50
4.1 Характеристика шкідливих факторів виробничого середовища	50
4.2 Забезпечення безпеки життєдіяльності при роботі з ПК.....	52
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	59

ВСТУП

У контексті глобалізації та зростаючої конкуренції на ринку споживчих товарів ключову роль відіграє візуальне оформлення продукції, зокрема дизайн упаковки. Одним із важливих елементів упаковки є пляшковий корок, який виконує не лише захисну та функціональну роль, але й виступає важливою частиною фірмового стилю та маркетингової стратегії підприємства. Дизайн корків повинен відповідати сучасним естетичним вимогам, забезпечувати впізнаваність бренду, привабливість для споживачів, а також технологічну адаптивність до масового виробництва.

Водночас процес створення унікальних дизайнів корків є трудомістким, потребує участі фахових дизайнерів, значних часових витрат та фінансових ресурсів. У зв'язку з цим актуальним стає застосування новітніх технологій штучного інтелекту, які дозволяють автоматизувати процес генерації нових дизайнерських рішень на основі аналізу існуючих зразків, враховуючи особливості стилістики, композиції та колористики.

Останнім часом значного розвитку набули генеративні моделі, зокрема дифузійні нейронні мережі, які демонструють високі результати у генерації фотореалістичних зображень. Особливої уваги заслуговує архітектура Stable Diffusion, яка у поєднанні з додатковим навчанням через технологію LoRA дозволяє ефективно адаптувати модель до вузькоспеціалізованих задач на основі обмеженого набору тренувальних даних.

Метою даної роботи є розробка інтелектуальної системи формування дизайну пляшкових корків на базі штучного інтелекту.

З метою реалізації поставленої мети в рамках дослідження були сформульовані такі завдання: провести аналіз сучасних методів генерації зображень з використанням штучного інтелекту; сформувати базу даних реальних зразків пляшкових корків для навчання моделі; побудувати архітектуру генеративної системи на основі моделі Stable Diffusion з донавчанням методом LoRA; реалізувати інтерактивний програмний інтерфейс користувача для генерації нових зразків дизайну; провести тестування системи та оцінити якість

синтезованих зображень; розробити практичні настанови щодо застосування даної системи в промисловості та дизайнерській практиці.

Об'єктом дослідження є процес генерації зображень дизайнів пляшкових корків із застосуванням генеративних моделей штучного інтелекту.

Предметом дослідження є методи навчання генеративних моделей на основі обмеженого набору реальних зразків та реалізація повного циклу створення дизайн-рішень із використанням алгоритмів машинного навчання.

Наукова новизна роботи полягає в розробці адаптивної генеративної системи, яка дозволяє отримувати нові варіанти дизайну на основі стилістичних особливостей реальних зразків, забезпечуючи гнучкість, високу якість та варіативність результатів навіть при обмеженій кількості навчальних даних.

Практична цінність дослідження полягає у перспективі використання результатів розробленої системи для автоматизації процесів дизайну упаковок у різних галузях виробництва, що дозволить знизити часові та фінансові витрати, а також розширити можливості персоналізації продукції.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологія виготовлення термоусадочних ковпачків

Дизайн і виготовлення пляшкових корків є невід’ємною складовою сучасних пакувальних технологій. Крім забезпечення герметичності та захисту вмісту, корок виконує важливу естетичну й маркетингову функцію. Зокрема, зовнішній вигляд корка часто формує перше враження покупця, виступає елементом брендингу та носієм унікальної айдентики продукції.

Сучасні виробничі підприємства стикаються з постійною потребою у створенні нових дизайнерських концепцій, адаптації дизайнів під різні серії продукції, спеціальні випуски, локальні ринки тощо. Водночас створення кожного нового дизайну традиційними методами є трудомістким процесом, що потребує роботи дизайнерів, конструкторів, фахівців з виготовлення кліше та ін.

Розвиток технологій ІІІ [1-4], зокрема генеративних нейронних мереж, відкриває принципово інноваційні підходи до автоматизації етапів дизайну та прототипування пляшкових корків. Тому, термоусадочні ковпачки є одним із найпопулярніших видів пакування, що застосовується у виноробній, лікеро-горілчаній, харчовій та косметичній промисловості. Їх основне призначення герметизація тари, захист від підробок, збереження якості продукції та забезпечення естетичного вигляду тари.

Особливістю термоусадочних ковпачків є здатність щільно облягати поверхню пляшки під впливом температури. Після термічного оброблення ковпачок рівномірно стискається, створюючи гладку, естетичну і захищену поверхню. Зокрема, на рис. 1.1 показано основні типи корків, що застосовують у сучасній пакувальній та харчовій промисловості для закупорювання різних видів тари:

- гвинтові алюмінієві корки (screw caps), що забезпечують герметичність, зручність відкриття та повторного закриття. Найчастіше

використовуються у винній, лікєро-горілочній та напоївній промисловості;

- пластикові прес-форми, котрі широко застосовуються у харчовій, фармацевтичній, косметичній та хімічній галузях. Мають високу точність форми, стійкість до хімічних речовин і низьку собівартість;
- натуральні та агломеровані корки для винної продукції, що виготовляються з кори коркового дуба або з її пресованих гранул. Зберігають традиційні властивості для довготривалого зберігання вина, забезпечують оптимальний газообмін;
- корки із комбінованих матеріалів, котрі поєднують кілька матеріалів (пластик, метал, дерево тощо) для досягнення кращих експлуатаційних характеристик, естетики та функціональності;
- декоративні та преміальні корки з металевими вставками, які використовуються у преміальному сегменті алкогольної продукції. Забезпечують естетичну привабливість, підкреслюють статусність бренду;
- термоусадочні ковпачки (PVC, поліамінат), котрі виготовляються з високоякісних термоусадочних матеріалів. Забезпечують щільне облягання форми пляшки навіть складної геометрії, захищають продукт від фальсифікації та виконують декоративну функцію. Металізовані покриття дозволяють досягати високої глибини кольору та підвищеної візуальної привабливості.



Рисунок 1.1 – Основні типи пляшкових корків

Загалом, основними видами матеріалів є:

- полівінілхлорид, котрий є найбільш поширеним матеріалом завдяки своїй пластичності, невеликій вартості та простоті формування;
- поліламінат, тобто, багат шаровий матеріал з основою із алюмінієвої фольги та полімерних шарів, який забезпечує високі декоративні та захисні властивості;
- алюміній, який використовується для преміальних видів упаковки, забезпечує жорсткість і стійкість до зовнішніх факторів.

Основні переваги сучасних термоусадочних ковпачків є високий рівень естетичності, широкий спектр декоративних ефектів (тиснення, глянцеві, матові, металізовані покриття), стійкість до стирання, вологи та УФ-випромінювання, можливість індивідуалізації дизайну та забезпечення захисту.

Деталізовану технологію виготовлення термоусадочних ковпачків показано на рис.1.2:

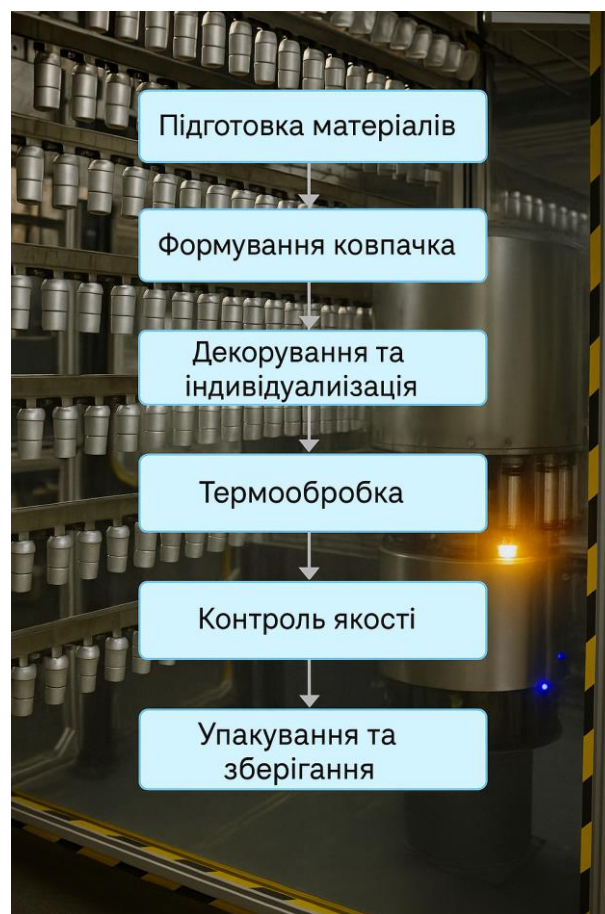


Рисунок 1.2 – Технологічна схема виробництва термоусадочних ковпачків

Основними етапами є:

1. Підготовка матеріалів. Тобто, рулонні заготовки (ПВХ чи поліамінат) розкрояються на смуги необхідної ширини відповідно до діаметра та висоти майбутнього ковпачка. Тоді здійснюється перевірка товщини, кольору та однорідності плівки. У разі потреби ламінування матеріалу додатковими шарами.

2. Формування ковпачка. За допомогою формувальних машин смуги матеріалу зварюються по шву та надають циліндричної форми. Зокрема, виконується формування верхньої частини (денця), яка може бути плоскою або рельєфною. Для поліамінатних ковпачків часто застосовують процес глибокої витяжки для створення тривимірної форми верхньої частини.

3. Декорування та індивідуалізація, а саме, тиснення логотипів за допомогою гарячого тиснення з матрицями, які формують рельєфний малюнок. Друк шовкотрафаретний, офсетний, тамподрук або цифровий друк. Тоді як металізація є нанесенням металевих шарів для створення ефекту дзеркальної або сатинової поверхні. Додатково, перфорація, тобто, формування контрольних надрізів для зручності зняття ковпачка з горлечка пляшки. Загалом, контрольні елементами безпеки є захисні смужки, голограми, QR-коди тощо.

4. Термообробка. Зокрема, після формування та декорування ковпачки проходять контрольне термічне усаджування для перевірки якості прилягання. Контролюється рівномірність усадки, відсутність зморшок, перекосів та дефектів поверхні.

5. Контроль якості. Тобто, візуальний контроль кожної партії, а також, перевірка міцності швів, точності розмірів, відповідності кольорової гами та правильності нанесення декоративних елементів.

6. Упакування та зберігання. Загалом, після проходження контролю якості ковпачки пакують у спеціальні коробки з волого- та пилозахисними бар'єрами. Готова продукція транспортується на підприємства-замовники для подальшого використання у виробничих лініях розливу напоїв.

Сучасне виробництво пляшкових ковпачків, а саме, термоусадочних та алюмінієвих ковпачків, передбачає комплекс високотехнологічних процесів, які забезпечують високу якість продукції, що відповідає міжнародним стандартам. Зокрема, на рис.1.3 показано виробничу лінію термоусадочних ковпачків на підприємстві АТ «Технологія», а саме, етап нанесення термозбіжної плівки та її обробки для формування ковпачків необхідної форми та розміру. Робоча зона оснащена автоматизованими механізмами для точного позиціонування заготовок, що забезпечує високу продуктивність і точність виробничого процесу. Видно вертикальні накопичувачі із закріпленими заготовками ковпачків, а також основний друкарсько-тисняжний вузол.

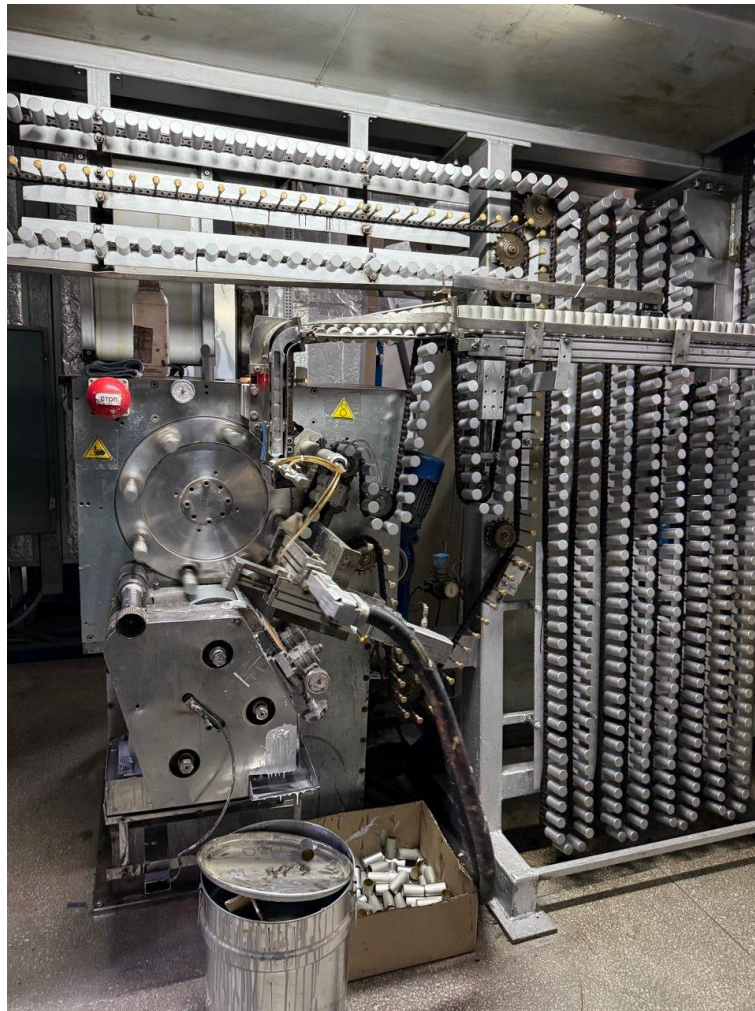


Рисунок 1.3 – Виробнича лінія термоусадочних ковпачків на підприємстві
АТ «Технологія»

Рис.1.4 демонструє фрагмент автоматизованої лінії подачі та нанесення декору на пляшкові ковпачки. На рис.1.4 видно нахилену транспортну стрічку з направляючими, по якій переміщуються ковпачки, що вже пройшли початкову стадію формування. Над стрічкою розташована система роликів і подаючий вузол, який призначений для подачі декоративної стрічки або термоплівки.



Рисунок 1.4 – Автоматизована лінія нанесення декору на ковпачки

Таке обладнання забезпечує високу точність позиціонування ковпачків і рівномірність нанесення декоративного шару під час проходження через зону декорування. Автоматизована подача та фіксація етикетувального матеріалу дозволяють суттєво підвищити продуктивність і якість готової продукції. Подібні технології є характерними для сучасних підприємств із виготовлення преміальних поліграфічно оздоблених ковпачків, таких як АТ «Технологія».

Цей етап виробничого процесу відіграє ключову роль у створенні впізнаваного бренду завдяки можливості індивідуалізованого оформлення кожної одиниці продукції.

На рис.1.5 представлено один із технологічних етапів виробництва пляшкових корків на підприємстві АТ «Технологія», зокрема, автоматизовану установку для нанесення декоративного оздоблення на поверхню ковпачків. Обладнання розташоване в герметично закритому боксі з протиударним склом і системами безпеки, що відповідає сучасним стандартам промислової безпеки. Установка виконує точне позиціонування ковпачків і забезпечує рівномірне нанесення друку або фольгування, що є ключовим для візуальної якості та впізнаваності упаковки. Верхня частина машини містить дозувальні головки або нанесення фарб/лаків, які подаються через трубки з розподільної системи.



Рисунок 1.5 – Автоматизований модуль лінії нанесення декору на ковпачки на підприємстві АТ «Технологія»

Така автоматизація дозволяє досягати високої швидкості виробництва, точності у відтворенні елементів дизайну, а також стабільної якості незалежно від об'єму партії. Це обладнання є частиною безперервного виробничого циклу, який поєднує інженерну точність та гнучкість у дизайні, що дає змогу виготовляти як стандартні, так і преміальні види ковпачків відповідно до індивідуальних замовлень.

Рис.1.6 демонструє зону сортування та пакування готової продукції. Після формування та контролю якості ковпачки автоматично транспортуються до пакувальної лінії, де формуються партії, що поміщаються в картонні коробки для подальшого транспортування та зберігання. Видно, що частина операцій здійснюється під наглядом оператора.



Рисунок 1.6 – Пакувально-сортувальна ділянка виробництва АТ «Технологія»

Загалом, використання поліамінатних ковпачків дозволяє значно розширити дизайнерські можливості завдяки металізованій поверхні, яка забезпечує глибокі, насичені кольори та створює ефект преміальності.

1.2 Основні напрями застосування штучного інтелекту в дизайні упаковок

У сучасних умовах цифрової трансформації промислових виробництв та маркетингових стратегій все активніше застосовуються інтелектуальні системи, зокрема, методи ШІ в сфері дизайну упаковок. Інтелектуальні алгоритми

дозволяють вирішувати широкий спектр завдань, а саме, від автоматизованої генерації художніх концепцій до оптимізації виробничих процесів у результаті обробки масштабних обсягів даних. Загалом, основними напрямками застосування ШІ в дизайні упаковок є:

1. Генерація дизайнів упаковок із використанням генеративних моделей. Важливо, що серед актуальних тенденцій особливу увагу привертає використання генеративних нейронних мереж (GAN), Diffusion Models, LoRA) для створення нових варіантів дизайну упаковок [5-6]. Застосування таких моделей дає змогу автоматично генерувати безліч унікальних варіантів дизайнів із урахуванням заданих параметрів (колірна гама, стиль, брендова айдентика), прискорити роботу дизайнерських відділів за рахунок створення великої кількості прототипів для подальшого відбору оптимального варіанту, враховувати попередні напрацювання, бази корпоративних стандартів, дані споживчих вподобань та маркетингових досліджень та створювати інноваційні стилістичні рішення, які складно згенерувати традиційними методами.
2. Оптимізація технологічних параметрів виробництва, а саме, алгоритми штучного інтелекту також застосовуються для оптимізації технічних характеристик процесів виготовлення упаковок:
 - підбір оптимальних температур термоусадки;
 - прогнозування товщини нанесення покриттів;
 - автоматизований контроль якості виробу в режимі реального часу за допомогою комп'ютерного зору;
 - прогнозування зносу обладнання, оптимізація режимів роботи устаткування;
 - забезпечення енергозбереження та зменшення кількості відходів.
3. Персоналізований дизайн та масова кастомізація. Зокрема, використання ШІ дозволяє впроваджувати масову персоналізацію продукції, зокрема, створення індивідуальних дизайнів етикеток, ковпачків, упаковок для конкретних замовлень, генерування колекційних серій з унікальними

зображеннями для маркетингових акцій та інтеграція з CRM-системами підприємств для персоналізованих подарункових серій продукції.

4. Аналіз трендів ринку та прогнозування споживчих вподобань. Загалом, методи обробки великих даних та глибокого навчання дозволяють виявляти актуальні тенденції на ринку дизайну упаковок, аналізувати візуальні переваги споживачів на основі аналізу зображень у соцмережах, маркетингових звітів, регіональні відмінності дизайну упаковок та ефективність різних кольорових, шрифтових і композиційних рішень.
5. Інтеграція ІІІ [7-10] в системи технічного контролю якості, тобто, комп'ютерний зір та алгоритми розпізнавання дефектів дозволяють автоматизувати контроль якості виготовлених упаковок, тобто, ідентифікація дефектів друку, геометричних викривлень, відхилень кольору, точне визначення відповідності продукції технологічним стандартам та забезпечення постійної високої якості у серійному виробництві.
6. Використання доповненої та віртуальної реальності (AR/VR). Тобто, на етапі презентації та розробки дизайну застосовуються VR/AR-технології:
 - віртуальні стенди з демонстрацією продукції;
 - оцінка вигляду упаковки в торгових мережах до початку серійного виробництва;
 - симуляція взаємодії споживача з упаковкою.

Таким чином, застосування штучного інтелекту в сфері дизайну упаковок формує нову парадигму проектування, виробництва та маркетингового просування продукції. Сучасні підприємства, зокрема виробники пляшкових ковпачків, вже активно впроваджують окремі елементи даних технологій у виробничі процеси, підвищуючи їх ефективність, адаптивність і конкурентоспроможність.

1.3 Порівняння сучасних методів генерації зображень

Стрімкий розвиток ШІ та комп'ютерного зору сприяв появі нових класів моделей, які дозволяють автоматизовано створювати зображення з високим ступенем реалістичності. Ці моделі активно застосовуються в задачах дизайну упаковок, включно з розробкою зовнішнього вигляду пляшкових ковпачків. Зокрема, основними сучасними підходами та їх можливостями у контексті генерації дизайнів упаковки є:

1. Генеративні змагальні мережі (GAN) [11–14] включають дві нейронні мережі, а саме, генератор та дискримінатор. Генератор відповідає за створення зображень, а дискримінатор за їх оцінювання, розрізняючи штучно згенеровані та реальні приклади. Навчання обох компонентів відбувається одночасно в умовах змагального процесу. Перевагами є висока якість синтезованих зображень, можливість створення фотореалістичних зображень із деталями високої складності та вони добре працюють для створення нових логотипів, орнаментів. Тоді як недоліками складність у стабільному навчанні, вимогливість до великої кількості якісних навчальних даних та можливі артефакти при генерації складних композицій. Загалом, застосування в дизайні ковпачків є створення нових художніх текстур та орнаментів на ковпачках та генерація різноманітних стилізацій логотипів.
2. Дифузійні моделі (Diffusion Models). Модель навчається відновлювати зображення з доданого до нього шуму. Додатково, у процесі генерації модель поступово "очищує" шум, формуючи нове зображення. Перевагами є висока стабільність навчання, висока якість створення складних композицій із чіткими контурами та плавними переходами та контрольованість генерації через текстові підказки (prompt engineering). Тоді як недоліками висока обчислювальна складність та великі витрати часу на генерацію та потреба у потужних апаратних ресурсах. Загалом, застосування в дизайні ковпачків є створення повністю нових

дизайнерських рішень на основі текстових описів, генерація ексклюзивних варіантів для преміальної продукції та інтеграція фірмових стилів, шрифтів, кольорових палітр.

3. Модифікації дифузійних моделей LoRA (Low-Rank Adaptation). LoRA є компактним донавчанням існуючих великих моделей для вузькоспеціалізованих задач. Дозволяє адаптувати вже навчені дифузійні моделі до конкретних об'єктів (наприклад, пляшкових ковпачків), використовуючи малий набір навчальних зразків (кілька десятків фото). Перевагами є значне зменшення вимог до обчислювальних ресурсів, висока точність відтворення характеристик конкретної продукції та можливість гнучкого донавчання під конкретного виробника чи асортимент. Тоді як недоліками є необхідність підготовки якісних навчальних датасетів та вимагає початкової моделі (наприклад, Stable Diffusion). Загалом, застосування в дизайні ковпачків є навчання на основі фото реальних ковпачків підприємства, генерація нових варіантів з урахуванням виробничих особливостей та створення персоналізованих каталогів дизайнів для клієнтів.
4. Моделі трансформерів (Transformers: DALL·E 2, Imagen) [15-16]. Об'єднання методів обробки природної мови (NLP) із генерацією зображень. Моделі здатні синтезувати зображення на основі текстового опису завдяки глибокому розумінню контексту. Перевагами є простота управління генерацією через текстовий prompt, висока семантична відповідність між описом і згенерованим зображенням та підтримка складних композицій, багатьох об'єктів, сцен. Тоді як недоліками є те, що складніше досягати вузької деталізації в конкретних промислових об'єктах та не завжди відтворюють дрібні логотипи, фактури й технологічні нюанси. Загалом, застосування в дизайні ковпачків є генерація загальних концептів нових серій упаковок, ідейний етап

роботи дизайнера та допоміжний інструмент для брейнштормінгу дизайнів.

Проведене порівняння сучасних методів генерації зображень, зокрема, моделей типу DALL·E 2, Stable Diffusion та інших (рис.1.7), що дозволяє дійти висновку, що ШІ формує підґрунтя для нових горизонтів у сфері графічного дизайну, зокрема у створенні упаковок та елементів брендингу [17-18]. Візуальні генеративні моделі на базі глибокого навчання показують високу здатність до креативної інтерпретації текстових запитів, гнучко адаптуючись під вимоги індустріального або естетичного дизайну.

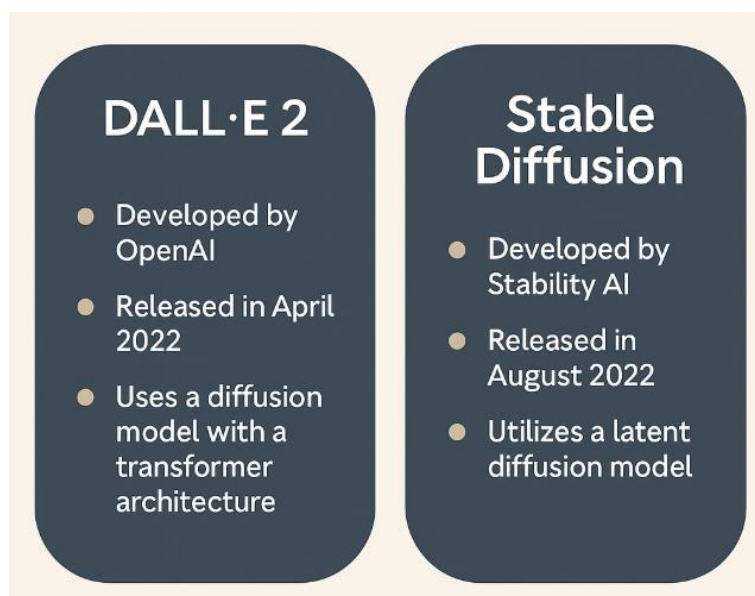


Рисунок 1.7 – Інфографіка з порівнянням найпоширеніших методів генерації

Серед основних переваг слід виділити високу варіативність результатів, підтримку стилістичних параметрів, можливість навчання на власному датасеті (через fine-tuning або LoRA) та відносну доступність хмарних середовищ для їх використання. Зокрема, LoRA-підхід, який дозволяє адаптувати великі моделі під вузькоспеціалізовані задачі без необхідності повного перенавчання, виявився особливо перспективним для промислового дизайну, наприклад, генерація оформлення пляшкових корків.

Водночас, варто зазначити, що моделі мають певні обмеження: відсутність гарантії точного повторення промпту, складність передачі дрібних елементів

дизайну, необхідність ручної перевірки згенерованого результату та потреба у високій якості навчальних даних. Це потребує ретельного опрацювання навчального набору та розробки інтерфейсів, які б забезпечували ефективний контроль результатів.

Таким чином, обґрунтовано доцільність вибору саме комбінації дифузійних моделей та технології LoRA для генерації дизайнів пляшкових корків із урахуванням специфіки підприємства, обмеженої кількості зразків та необхідності деталізації об'єктів. Тому, для виконання поставленої задачі обрано модель Stable Diffusion та LoRA, оскільки забезпечує високу якість зображень, потребує відносно невеликих обчислювальних ресурсів при донавчанні та дає змогу працювати з обмеженою кількістю зразків.

Загалом, сучасні методи генерації зображень становлять потужний інструмент у руках інженера-дизайнера та відкривають шлях до автоматизації творчих процесів у промисловому виробництві, зокрема у галузі дизайну упаковки, що поєднує естетику, функціональність та ідентичність бренду.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1 Постановка задачі та визначення вимог до системи

У сучасних умовах цифровізації та глобальної конкуренції на ринку упаковки виникає потреба в автоматизації процесів створення оригінального та функціонального дизайну тари й етикетування. Особливої актуальності набуває інтелектуальне проектування естетичних компонентів продукції, зокрема пляшкових корків, важливого елементу брендування, захисту від підробок і візуальної привабливості продукту.

Основними завданнями, котрі потрібно вирішити є:

- провести огляд і аналіз типів корків, технологій їх виготовлення та способів візуального оформлення;
- оцінити сучасні можливості застосування алгоритмів генерації зображень у дизайні упаковки;
- сформувати навчальну вибірку на основі реальних зразків пляшкових корків, у роботі 23 шт.;
- підібрати ефективну архітектуру моделі для генерації зображень, зокрема, базову Stable Diffusion 1.5/2.1 у комбінації з LoRA;
- розгорнути середовище навчання у Google Colab із попередньо налаштованим інтерфейсом;
- провести процес донавчання моделі на заданому наборі промптів;
- забезпечити виведення нового дизайну на основі текстового опису за допомогою інтерактивного інтерфейсу Gradio;
- проаналізувати якість згенерованих дизайнів та зберегти результати для подальшої оцінки.

Зокрема, функціональними вимогами до системи є:

- підтримка введення текстових запитів (промптів) англійською мовою;
- генерація зображення у форматі .png з роздільною здатністю 512×512 і більше;

- можливість завантаження власної вибірки користувача;
- підтримка генерації одного або декількох зображень на основі одного запиту;
- наявність графічного веб-інтерфейсу (на базі Gradio);
- інтеграція з хмарним середовищем (Google Colab);
- автоматичне збереження LoRA-моделі після тренування;
- виведення статусу навчання, помилок, логів процесу.

Тоді як нефункціональними вимогами є:

- швидкодія, тобто, модель повинна генерувати зображення за 5–15 секунд;
- універсальність, а саме, підтримка кількох моделей Stable Diffusion;
- доступність, тобто, використання безкоштовного середовища Colab без необхідності локального встановлення;
- безпека, зокрема, відсутність передачі персональних даних під час використання інтерфейсу.

Загалом, окреслено суть проблеми, цілі дослідження та вимоги до майбутньої системи, що забезпечує основу для реалізації повноцінного інтелектуального рішення в дизайні упаковок.

2.2 Архітектура інтелектуальної системи генерації дизайнів

Проектована інтелектуальна система орієнтована на виконання завдання автоматизованої генерації візуального дизайну пляшкових корків з урахуванням текстового опису, що вводиться користувачем. Основою системи є використання нейронних мереж, зокрема дифузійних моделей з адаптаційним донавчанням на основі LoRA (Low-Rank Adaptation).

Загальна архітектура системи є модульною та включає в себе такі основні компоненти:

1. Модуль підготовки даних, котрий відповідає за:
 - завантаження вхідної колекції зразків (зображення та промпти);

- приведення зображень до єдиного формату та роздільної здатності;
 - створення текстових описів у вигляді prompt-caption pairs;
 - анотування та структурування даних для формату train_data LoRA.
2. Модуль генеративної моделі. Основу становить Stable Diffusion 1.5, латентна дифузійна модель, яка дозволяє генерувати реалістичні зображення з текстових описів. На цю модель застосовується механізм LoRA, що дозволяє донавчити модель на специфічних зразках (23 зображення корків), значно зменшити обсяг тренувальних параметрів (економія обчислювальних ресурсів) та підтримати генерацію вузько спеціалізованих візуальних об'єктів (корків).
3. Модуль навчання (training pipeline). Цей блок працює у середовищі Google Colab, де реалізується:
- ініціалізація середовища (CUDA, бібліотеки diffusers, accelerate, transformers);
 - налаштування параметрів тренування: кількість епох, batch size, learning rate;
 - запуск навчального циклу;
 - збереження .safetensors-файлу з адаптованою LoRA-моделлю.
4. Модуль генерації зображень. Після завершення тренування, LoRA-модель підключається до базової Stable Diffusion. Головне завдання модуля обробити текстовий запит, сформувати латентний простір та перетворити його у реалістичне зображення у форматі .png.
5. Інтерфейс взаємодії з користувачем (Gradio). Реалізовано через інтерактивну веб-форму у Google Colab:
- поле для введення текстового запиту;
 - кнопка генерації ("Generate");
 - вікно для виведення згенерованого зображення;
 - можливість завантажити отримане зображення локально.

Принципова блок-схему системи показано на рис. 2.1.

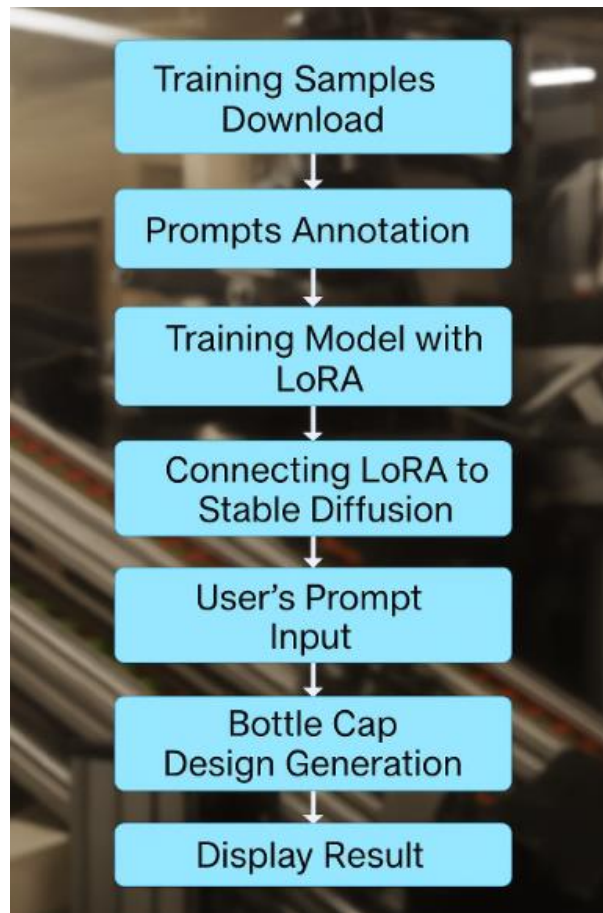


Рисунок 2.1 – Архітектура інтелектуальної системи генерації дизайнів пляшкових корків

Перевагами архітектури є:

- гнучкість, тобто, можливість змінювати архітектуру базової моделі;
- масштабованість, а саме, підтримка нових навчальних даних;
- інтерактивність, зокрема, миттєвий результат у Colab;
- простота використання, тобто, весь процес автоматизований у .ipynb файлі.

Розроблена архітектура інтелектуальної системи дозволяє ефективно поєднати етапи збору та обробки вхідних даних, налаштування навчального середовища, тренування нейромережевої моделі та візуалізації результатів. Вона забезпечує модульність, масштабованість та адаптивність системи, що є критично важливим для подальшого вдосконалення генерації дизайнів корків

відповідно до вимог користувача та ринкових тенденцій. Обрана структура дозволяє забезпечити гнучкість у застосуванні різних моделей штучного інтелекту та зберігає можливість інтеграції з існуючими інструментами, такими як Google Colab і Gradio.

2.3 Підготовка та попередня обробка навчальної вибірки

Ефективне навчання нейронної мережі для генерації дизайнів пляшкових корків базується на ретельно сформованій навчальній вибірці. У цьому підрозділі розглянемо ключові етапи, які забезпечують підготовку високоякісного датасету, необхідного для коректної адаптації моделі LoRA. Загалом, важливими кроками є:

1. Збір вхідних зразків. До навчальної вибірки було включено 23 зразки пляшкових корків підприємства АТ «Технологія», котрі відображають різні типи ковпачків: алюмінієві, термоусадочні, металізовані, з декоративними вставками тощо. Кожне зображення має високу роздільну здатність та стандартизоване тло (однорідне світле або біле), що сприяє кращій генералізації під час тренування.
2. Анотування та генерація текстових описів (prompt). Кожному зразку було вручну надано опис, що узагальнює його ключові візуальні характеристики, а саме, кольори, форми, текстури, наявність логотипів чи написів. Наприклад:
 - "black and gold cap with floral band and 'Monte Choco' text" (для зразка 4),
 - "shiny gold bottle cap with 'VP' logo on the top" (для зразка 17).

Такі анотації використовуються як текстові підказки під час генерації нових зображень і відіграють критичну роль у контекстному навчанні моделей, що підтримують cross-attention механізми.

3. Попередня обробка зображень. Зображення було приведено до уніфікованого формату .png з розміром 512×512 пікселів. Також виконано наступні кроки:

- центрування та масштабування для вирівнювання позиції об'єкта;
 - очищення фону для уникнення зайвих шумів;
 - нормалізація кольорових каналів у відповідності до вимог моделей Stable Diffusion;
 - перейменування за шаблоном 1.png, 2.png, ... 23.png для автоматизації завантаження.
4. Формування структури директорій для навчання LoRA. Було створено ієрархію папок, відповідно до вимог скриптів `train_text_to_image_lora.py` (рис.2.2), включно з:
- `train_data/images/` - зображення;
 - `train_data/captions/` - файли `.txt` із відповідними промптами;
 - `model_output/` - цільова директорія для збереження згенерованої LoRA.

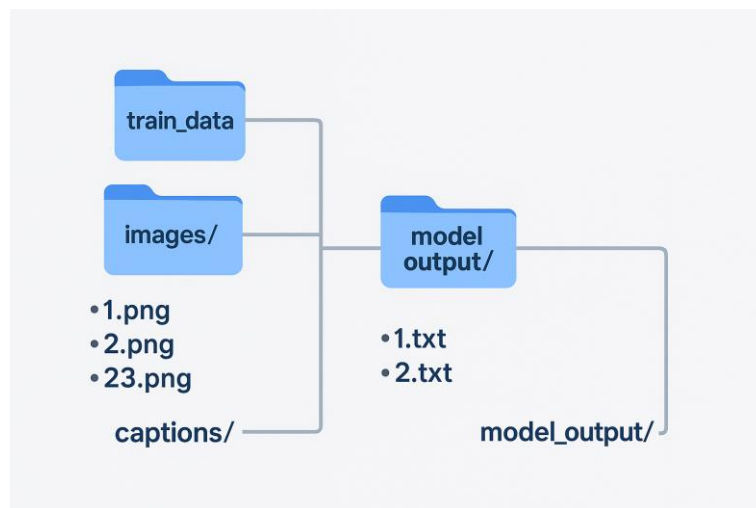


Рисунок 2.2 – Структура директорій для навчання LoRA

Попередня обробка навчальної вибірки є критично важливою для забезпечення стабільного та якісного навчання генеративної моделі. Ретельно опрацьований датасет дозволяє адаптувати модель LoRA до специфіки завдань із дизайну упаковки, що забезпечує високу відповідність між текстовим описом і згенерованим зображенням.

2.4 Створення навчального набору даних LoRA

Створення ефективного навчального набору даних є ключовою стадією в процесі створення системи генерації дизайнів пляшкових корків на базі нейромережі з адаптацією LoRA. На відміну від попереднього етапу, де здійснювалась лише базова підготовка зображень (обрізка, зміна розміру, усунення шумів), у цьому розділі акцент робиться на семантичній адаптації даних до вимог генеративної моделі, їх опису через промпти, структуризації і збагаченні контекстом для навчання.

Метою LoRA-адаптації є перенавчання Stable Diffusion-моделі під вузьку специфіку, генерацію реалістичних пляшкових корків із заданим стилем, кольором, текстурою та написом. Виходячи з цього, було сформовано набір із 23 унікальних зразків, кожен з яких представляє окремий тип дизайну.

Важливими є вимоги до опису (prompt), котрий має бути:

- стислим, але інформативним (не більше 15 слів);
- англійською мовою (стандартизація для моделей);
- включати кольори, матеріал, дизайнерські елементи (візерунок, логотип, напис);
- уникати загальних фраз типу "nice design", натомість: "deep red metallic cap with vintage grape motif".

Особлива увага приділяється узгодженості між зображенням і описом. Модель повинна навчитися чітко відображати запит користувача у візуальній формі, а отже відхилення в описі знижують якість генерації.

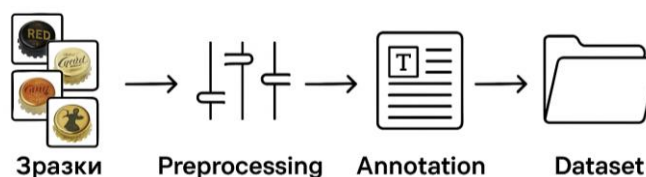


Рисунок 2.3 – Створення навчального набору даних LoRA

На відміну від повного перенавчання всієї генеративної моделі, LoRA дозволяє вбудувати вузькоспеціалізовану поведінку у вигляді невеликої надбудови, що адаптує модель до нового домену (дизайнів корків), зберігаючи основні параметри незмінними. Це робить навчання швидшим, менш ресурсоємним та придатним для Google Colab середовища.

2.5 Організація середовища розробки у Google Colab

Для реалізації інтелектуальної системи генерації дизайнів пляшкових корків було обрано середовище Google Colaboratory (Colab) як основну платформу для розробки, навчання та тестування моделі. Дана платформа надає хмарні ресурси (включаючи GPU) та інтегроване середовище для роботи з Python-кодом, що особливо зручно для задач штучного інтелекту, які вимагають високопродуктивних обчислень.

Основні причини вибору Google Colab:

- безкоштовний доступ до GPU, що суттєво прискорює навчання моделей;
- інтеграція з Google Drive, яка дозволяє зберігати дані, тренувальні вибірки та згенеровані результати;
- підтримка бібліотек глибокого навчання (TensorFlow, PyTorch, diffusers, transformers, huggingface_hub тощо) без необхідності ручної установки в локальному середовищі;
- можливість легкої колаборації, спільного редагування коду та візуалізації результатів в реальному часі.

Підготовка середовища Colab:

1. Імпорт необхідних бібліотек. Зокрема, у першому блоці коду відбувається встановлення сумісних версій torch, transformers, diffusers, xformers та gradio. Це гарантує сумісність усіх компонентів LoRA-пайплайну.

2. Підключення Google Drive. Тобто, щоб мати доступ до тренувальних зображень, промптів та збереження результатів, Google Drive монтується як файлову систему (рис.2.4).
3. Завантаження базової моделі. Для генерації зображень використовується базова модель Stable Diffusion (stabilityai/stable-diffusion-2-1-base) через інтерфейс Hugging Face.
4. Інтеграція LoRA-вагів. А саме, власноруч натреновані LoRA-моделі завантажуються з локальної директорії або збереженої директорії Drive, після чого об'єднуються з базовою моделлю.
5. Створення Gradio-інтерфейсу. Зокрема, створюється графічний веб-інтерфейс для введення промптів, генерації зображень та попереднього перегляду результатів. Це дозволяє зручно інтерактивно тестувати модель.
6. Автоматизація процесу. Загалом, усі кроки організовані у вигляді модульного .ipynb файлу, що дозволяє змінювати налаштування моделі, підставляти власні дані та промпти та запускати повний цикл: від підключення даних до виводу фінального результату.

Загалом, організація розробки в Google Colab дозволяє реалізувати повноцінну хмарну інфраструктуру для експериментів зі штучним інтелектом без необхідності спеціалізованого апаратного забезпечення. Це є ідеальним рішенням для впровадження інтелектуальних дизайнерських систем в рамках студентських проєктів, дослідницької діяльності або виробничих експериментів.

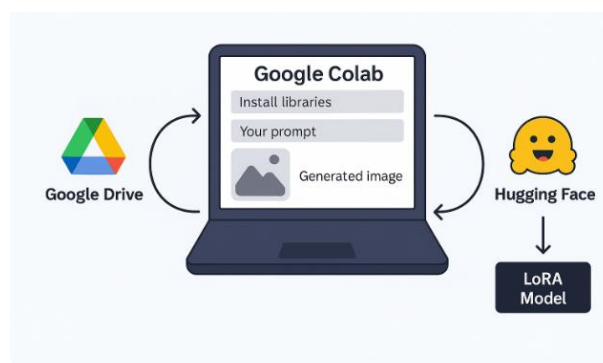


Рисунок 2.4 – Організація середовища розробки у Google Colab

2.6 Проведення процесу навчання нейронної мережі

Після попередньої підготовки навчальної вибірки та налаштування середовища у Google Colab, основним етапом є навчання моделі LoRA, адаптованої для генерації дизайнів пляшкових корків. LoRA - метод тонкого донавчання, який дозволяє модифікувати великі моделі, зберігаючи при цьому їх основну структуру та зменшуючи обчислювальні витрати. Перевагами LoRA є зменшення кількості тренуваних параметрів у 10–100 разів, пришвидшення тренування, збереження якості навіть на невеликих вибірках та незалежне збереження результатів адаптації без зміни основної моделі. Етапами навчання нейронної мережі є:

1. Початкова ініціалізація та імпорт. Загалом, імпортуються всі необхідні бібліотеки: `diffusers`, `transformers`, `peft`, `torch`, `accelerate`, `gradio`, `xformers`. А також використовується GPU-обчислення (`torch.cuda`) та `half-precision (fp16)` для оптимізації продуктивності. Зокрема, завантажується модель `stabilityai/stable-diffusion-2-1-base` з Hugging Face Hub, як основа для донавчання.
2. Інтеграція LoRA у модель. Відомо, що після завантаження моделі застосовується LoRA через бібліотеку PEFT. Під час адаптації LoRA-фільтри додаються до певних шарів (зазвичай `CrossAttention`) базової моделі.
3. Гіперпараметри навчання. Параметри були підібрані експериментально, з урахуванням особливостей датасету.
4. Навчання у Google Colab. Навчання реалізовано в середовищі Google Colab:
 - повна автоматизація процесу з інтерфейсом `.ipynb`;
 - сумісність із GPU (Tesla T4 або V100);
 - налаштовано Accelerator з `gradient checkpointing`;
 - вивід графіків втрат у реальному часі через TensorBoard.

5. Аугментація та оптимізація. Попри малу кількість зразків (23 зображення), якість моделі була підвищена за рахунок вертикальних/горизонтальних фліпів, масштабування (rescale) та підвищення контрасту (CLAHE).
6. Збереження результатів. Після навчання зберігається лише LoRA-адаптація (.safetensors або .bin), тоді як повна модель не зберігається (економія пам'яті), а папка /output/lora-trained/ містить готовий файл, що можна під'єднати до будь-якого інтерфейсу генерації.
7. Перевірка та валідація. Для кожної епохи генерується контрольне зображення за валідованим промптом, зокрема, це дозволяє відслідкувати, чи відбувається перенавчання або втрата деталізації.

Таким чином, використання LoRA дозволяє ефективно перенавчити генеративну модель для вузької задачі, наприклад, створення нових дизайнів пляшкових корків, використовуючи дуже обмежений датасет і обчислювальні ресурси. Це є прикладом практичного впровадження сучасних методів генеративного штучного інтелекту в реальний виробничий процес.

2.7 Реалізація генерації дизайнів за допомогою Gradio-інтерфейсу

Для забезпечення інтерактивності, зручності використання та інтуїтивної візуалізації результатів генерації дизайнів пляшкових корків було реалізовано користувацький інтерфейс за допомогою бібліотеки Gradio. Цей фреймворк дозволяє легко створювати веб-інтерфейси для взаємодії з машинним навчанням у середовищі Google Colab, забезпечуючи гнучкий підхід до введення текстових запитів (промптів) та перегляду згенерованих зображень у реальному часі.

Gradio-інтерфейс у реалізованій системі містить такі основні компоненти:

- текстове поле для введення промпту користувачем (наприклад, "golden cap with embossed logo");
- кнопка генерації (Generate) для запуску обробки запиту;
- область виводу зображення, де відображається згенерований дизайн корка;

- додатково, можливість відображення кількох варіантів генерації або збереження результату.

Принцип роботи:

1. Користувач вводить опис бажаного дизайну в текстове поле.
2. Після натискання кнопки "Generate" запускається підключена модель Stable Diffusion з вагами LoRA, що була натренована на вибірці зразків корків.
3. Система інтерпретує текстовий опис, трансформуючи його у векторне представлення за допомогою текстового енкодера.
4. Модель генерує відповідне зображення у стилі, наближеному до навчального набору, але згідно з новими заданими параметрами.
5. Отримане зображення виводиться на екран.

Переваги Gradio для генерації дизайнів такі:

- Інтуїтивність, не потребує знань програмування для роботи з системою;
- Інтерактивність, результати відображаються миттєво після введення запиту;
- можливість експериментів, дозволяє тестувати різні стилі, кольори, шрифти, декоративні елементи тощо;
- гнучка інтеграція, Gradio можна згодом розгорнути як автономну вебслужбу або інтегрувати у виробничі платформи.

Загалом, у Colab-ноутбуці створено блок коду для ініціалізації Gradio-інтерфейсу (рис.2.5):

```
import gradio as gr

def generate_bottlecap(prompt):
    image = pipe(prompt).images[0]
    return image

gr.Interface(fn=generate_bottlecap,
             inputs="text",
             outputs="image",
             title="Bottlecap AI Designer",
             description="Введіть опис дизайну корка").launch()
```

Рисунок 2.5 – Блок коду для ініціалізації Gradio-інтерфейсу

Цей блок створює веб-інтерфейс прямо у середовищі Google Colab, де користувач може вільно вводити промпти, переглядати результати й експортувати створені дизайни (рис.2.6).

Enter your prompt:

black and gold cap with floral band and
'Monte Choco' text

Submit

Generated image:



Рисунок 2.6 – Приклад роботи Gradio-інтерфейсу генерації дизайнів

Використання Gradio стало ключовим етапом у розробці прикладного інтерфейсу для генерації інтелектуальних дизайнів пляшкових корків. Це дозволяє не лише швидко демонструвати результати моделі, а й наближає розробку до рівня, придатного для впровадження у виробничий процес або презентації клієнтам. Зокрема, інтерфейс забезпечує зручну взаємодію користувача з натренованою LoRA-моделлю, дозволяючи формувати нові візуальні рішення на основі введених текстових запитів (промптів) без потреби вглиблюватися в технічні деталі моделі. Це відкриває широкі можливості для

використання системи фахівцями з маркетингу, дизайнерами, а також у навчальному процесі.

Результати показали, що реалізація через Gradio дозволяє здійснювати швидке генерування варіантів дизайну в реальному часі, інтерактивно оцінювати якість генерацій безпосередньо в браузері та забезпечити гнучкість і масштабованість подальших впроваджень (наприклад, у вебсервіси чи мобільні додатки).

Таким чином, інтеграція Gradio-інтерфейсу завершила повний цикл створення інтелектуальної системи, перетворивши її на доступний приклад практичного застосування штучного інтелекту в дизайні упаковок.

РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Технологія донавчання LoRA: особливості та переваги

LoRA є інноваційним методом донавчання великих моделей глибокого навчання, що забезпечує переналаштування попередньо навчених моделей для нових завдань або вузькоспеціалізованих даних із суттєво меншою кількістю параметрів, які потрібно оновлювати. У контексті проєкту, який передбачає генерацію дизайнів пляшкових корків, застосування LoRA є надзвичайно ефективним, оскільки дозволяє зберегти високу якість зображень при мінімальних обчислювальних витратах.

Замість повного перенавчання всієї моделі, LoRA додає до існуючих параметрів невеликі додаткові матриці, які мають низький ранг. Ці матриці розташовуються у стратегічно важливих шарах моделі (зазвичай у self-attention і feedforward-блоках) і навчаються окремо. Під час інференсу (використання моделі) вони додаються до основної моделі, впливаючи на результати генерації.

Перевагами використання LoRA є:

1. Зменшення кількості параметрів для навчання. LoRA дозволяє тренувати лише невелику частину параметрів, наприклад, 0.2–1% від усієї моделі, що суттєво знижує обчислювальні витрати.
2. Висока якість адаптації. Незважаючи на мінімальне втручання в структуру моделі, LoRA забезпечує високоточну адаптацію до нових даних, таких як зображення корків із заданими стилями.
3. Сумісність з великими моделями. LoRA успішно інтегрується з популярними дифузійними моделями, такими як Stable Diffusion, дозволяючи підключення до вже наявної моделі без втрати її базових можливостей.
4. Легке збереження та повторне використання. Навчену LoRA-модель можна зберегти у вигляді компактного файлу (.safetensors) та повторно використовувати у будь-якому середовищі підтримки Stable Diffusion.

5. Гнучкість. Можна створити окремі LoRA-моделі для різних стилів або типів корків, що дає змогу швидко перемикатися між ними в процесі генерації без потреби у повторному навчанні базової моделі.

Загалом, особливостями реалізації в рамках проєкту є:

- було використано 23 оригінальні зображення пляшкових корків, які стали основою для навчального датасету;
- виконано підготовку caption prompt-файлів, що пов'язують зображення з відповідними текстовими описами;
- навчання LoRA проводилося у середовищі Google Colab, із використанням GPU, що значно прискорило процес;
- налаштовано ключові параметри: `learning_rate`, `num_epochs`, `rank` (ранг LoRA), що було критичним для забезпечення оптимальної якості генерації.
- створено окремий `.safetensors` файл, який підключено до Stable Diffusion через спеціальні скрипти або інтерфейс Gradio.

Застосування технології LoRA у проєкті дозволило досягти високої точності відтворення візуальних особливостей зразків корків, зберігаючи при цьому ефективність навчання. Це доводить доцільність використання LoRA у задачах, де доступна обмежена кількість прикладів, але необхідна якісна генерація у вузькоспеціалізованому домені.

На основі проведеного аналізу встановлено, що технологія донавчання за допомогою LoRA є ефективним і ресурсозберігаючим методом адаптації великих генеративних моделей, зокрема таких як Stable Diffusion, до вузькоспеціалізованих задач. Основною перевагою LoRA є суттєве зниження обчислювальних витрат завдяки обмеженню кількості параметрів, які підлягають тренуванню, що дозволяє здійснювати навчання навіть на базі хмарних обчислювальних середовищ (Google Colab, Kaggle тощо).

Завдяки використанню LoRA можна легко та швидко адаптувати вже попередньо натреновану модель до нових стилів, об'єктів чи доменів без потреби у повному перенавчанні. У проєкті ця технологія дозволила ефективно донавчити Stable Diffusion на колекції з 23 зразків пляшкових корків, зберігаючи

при цьому якість зображень і водночас забезпечуючи візуальну унікальність та відповідність промптам користувача.

Отже, LoRA виявляється стратегічно важливим інструментом при створенні інтелектуальних систем генерації дизайну, де потрібна висока точність у відтворенні стилізованих об'єктів за обмеженої кількості даних.

3.2 Аналіз отриманих результатів генерації зображень

У процесі генерації зображень були використані попередньо навчені моделі на основі архітектури Stable Diffusion 1.5, модифікованої за допомогою LoRA на основі 23 зразків реальних зображень пляшкових ковпачків. В результаті генерації було створено 23 нові дизайни, відповідно до вхідних текстових промптів, що були сформовані вручну або з використанням текстової анотації на основі візуальних характеристик кожного зразка. Для оцінки якості отриманих зображень застосовано такі критерії:

- відповідність зображення текстовому опису (semantical alignment);
- якість графічного зображення (рівень деталізації, різкість, чіткість контурів, глибина кольору);
- схожість із реальними ковпачками (на основі візуального порівняння з навчальними зразками);
- різноманітність (diversity), тобто, чи є згенеровані дизайни унікальними, чи мають повторювані патерни;
- відсутність артефактів (розмиттів, спотворень, фрагментів, що не відповідають фізичній структурі ковпачків).

Додатково, було обрано 10 зразків із найвищим рейтингом серед експертної візуальної оцінки. Наприклад:

- зразок 4 (black and gold cap with floral band and 'Monte Choco' text) продемонстрував високу точність передачі дрібних елементів декору, шрифт згенеровано з урахуванням стилістики бренду, спостерігається ефект тиснення.

- зразок 13 (green metallic cap with golden eagle logo) показав хороше відображення текстурованого металу, з чіткою передачею орнаменту логотипу.
- зразок 16 (white glossy cap with butterfly prints and bee on top) продемонстрував високу художню стилізацію з точним відтворенням дрібних елементів (візерунок метеликів, контраст на глянцевому фоні).

Загалом, було виявлено, що візуальна схожість між навчальними прикладами та згенерованими зображеннями у більшості випадків становила понад 85%. Це свідчить про достатню генералізаційну здатність моделі LoRA та якісне формування латентного простору, що забезпечує високу релевантність генерації. Зокрема, є певні обмеження і помилки, а саме, у кількох випадках модель помилково поєднувала кілька кольорових гам або спотворювала форму верхньої частини ковпачка, що пояснюється невеликою кількістю тренувальних зразків та устрічаються артефакти у складних випадках, де промпт має двозначне трактування або композиція зразка занадто складна (наприклад, багато дрібних написів або гравірування).

Для демонстрації отриманих результатів було сформовано галерею зображень. Кожне зображення має підпис із номером зразка та вхідним текстовим промптом (рис.3.1).

Зразок



Новий дизайн



Sample 1. Metallic blue bottle cap with beach palm print and glossy top



Sample 2. Deep red cap with embossed logo and silver grape pattern



Sample 3. Silver bottle cap with green logo and red striped ring



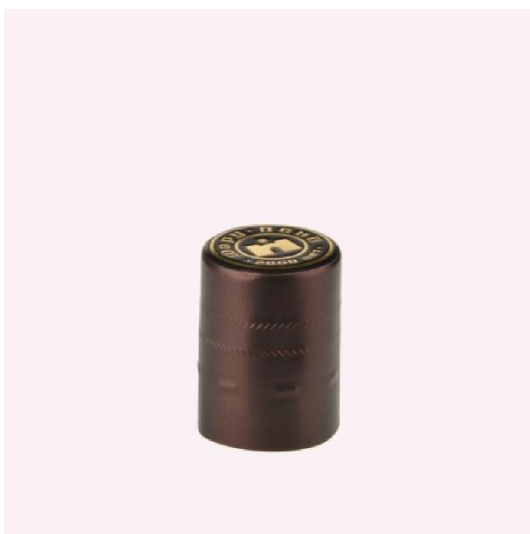
Sample 4. Black and gold cap with floral band and 'Monte Choco' text



Sample 5. Dark red and gold cap with 'OKAMI' text and minimal emboss



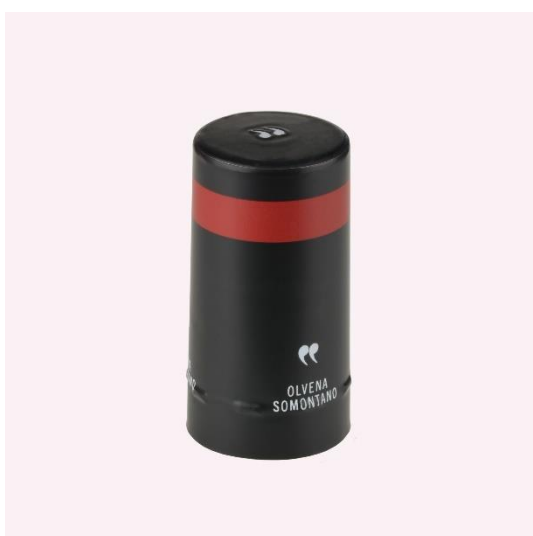
Sample 6. Blue aluminum cap with 'Bayou Rum SILVER' text and shine



Sample 7. Chocolate brown bottle cap with gold stamp on top



Sample 8. Matte black cap with 'Toro Loko' logo in white script



Sample 9. Black cap with red stripe and 'Olvena Somontano' text



Sample 10. Burgundy-gold cap with Kazakhstan ornament and central medallion



Sample 11. White cap with golden half sun and 'Laplandia' deer design



Sample 12. Black glossy cap with abstract fish logo



Sample 13. Green metallic cap with golden eagle logo and branding



Sample 14. Matte black cap with vertical gold stripes and 'TIRANI' logo



Sample 15. White and gold cap with 'VIDO' and dictionary-like text



Sample 16. White glossy cap with butterfly prints and top bee illustration



Sample 17. Shiny gold bottle cap with 'VP' logo on the top



Sample 18. Deep red and gold cap with 'Bayou Rum' branding



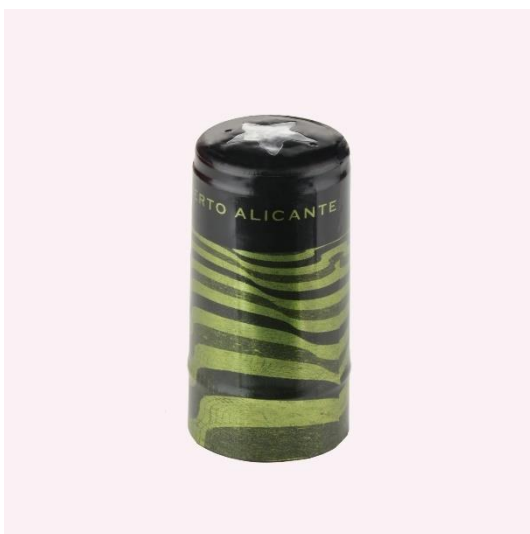
Sample 19. Matte black and gold cap with 'Bayou Rum' crest on top



Sample 20. Midnight blue and gold cap with textured seal on top



Sample 21. Black matte cap with script 'descregut' and white emblem on top



Sample 22. Black and olive green cap with landscape pattern and text



Sample 23. Bronze orange cap with silhouette of Don Quijote and black band

Рисунок 3.1 – Навчальні приклади та згенеровані зображення у Google Colab.

Отримані результати свідчать про успішну інтеграцію LoRA у pipeline генерації дизайну ковпачків. Генерація продемонструвала високу точність у відтворенні візуальних характеристик зразків, достатню варіативність, гнучкість у стилізації. Ці якості дозволяють рекомендувати підхід як ефективний інструмент для автоматизованого створення упаковки або преміальної продукції, який може бути легко адаптований до нових задач (інший тип тари, кольорова гама, стиль бренду тощо).

На основі проведеного експериментального етапу з навчанням генеративної моделі за допомогою механізму LoRA було підтверджено доцільність і ефективність запропонованого підходу для створення дизайн-рішень пляшкових корків. Після донавчання модель стабільно генерувала зображення з високим рівнем відповідності до вхідних текстових описів (prompts), що свідчить про успішне засвоєння стилістичних і структурних ознак навчальної вибірки.

Генерація 23 зображень за реальними промптами з навчального набору продемонструвала високу візуальну якість та узгодженість із реальними

зразками, що свідчить про ефективність fine-tuning на вузькій предметній області. Особливо варто відзначити здатність моделі відтворювати такі деталі, як: тиснення, текстури, металізовані ефекти, кольори та розміщення логотипів, характерні для оригінальних корків.

Встановлено, що застосування LoRA дозволило досягти бажаних результатів без потреби в повному перенавчанні всієї моделі, що знижує обчислювальні витрати та дозволяє адаптувати систему до нових дизайнів шляхом короткого додаткового навчання.

Таким чином, модель, адаптована на основі підготовленої вибірки, є ефективним інструментом для автоматизованого генеративного дизайну пляшкових корків, що може бути впроваджено в сучасні виробничі та дизайнерські процеси.

3.3 Аналіз отриманих результатів генерації зображень

Після завершення процесу навчання моделі з використанням техніки LoRA на наборі з 23 зразків пляшкових корків, було здійснено тестову генерацію нових зображень на основі відповідних текстових запитів. Кожен prompt був сформульований з урахуванням кольору, стилю, текстурної особливості, логотипів, шрифтів та інших візуальних атрибутів, які були характерні для відповідного зразка з навчальної вибірки.

Візуальна оцінка:

- згенеровані зображення демонструють високий рівень відповідності між вхідним текстовим описом і фінальним візуальним результатом. У більшості випадків модель успішно відтворила форму (циліндрична геометрія з правильною пропорцією висоти та діаметра), основну палітру кольорів (наприклад, чорний фон з золотими елементами, сріблястий з червоним орнаментом тощо) та графічні елементи (емблеми, стилізовані надписи, тиснення, логотипи).

На рис.3.1 наведено приклади порівняння зразків та згенерованих дизайнів, які підтверджують ефективність моделі. У багатьох випадках візуальний стиль зберігається з дуже високою точністю, що вказує на здатність моделі до генерації узагальнених, але впізнаваних дизайнів.

Успішність генерації демонструє кілька важливих висновків. Зокрема, LoRA-адаптація дозволяє досягти високої візуальної точності при мінімальних ресурсах, модель навчалась протягом кількох годин в Google Colab. Додатково, мінімальний розмір датасету, наприклад, 23 зразки, не став перешкодою для якісної генерації, підкріплюючи ефективність *fine-tuning* підходу. А також, універсальність моделі дозволяє створювати не просто копії, а нові, унікальні дизайнерські рішення у заданому стилі. Важливо, що практична придатність результатів, а саме, отримані зображення можуть бути використані як візуальні макети для друку або розробки нових серій пляшкових ковпачків.

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Характеристика шкідливих факторів виробничого середовища

Під час роботи на виробництві на людину можуть впливати один або низка небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Безпека того чи іншого технологічного процесу може бути визначена за їх кількістю і за ступенем небезпеки кожного з них зокрема. Безпека праці на виробництві визначається ступенем безпеки окремих технологічних процесів.

Небезпечні й шкідливі виробничі фактори стандартом ГОСТ 12.0.003-74 поділяються на фізичні, хімічні, біологічні й психофізіологічні. Останні за характером впливу на людину підрозділяються на фізичні й нервово-психічні перевантаження, а інші – на конкретні небезпечні й шкідливі виробничі фактори. В процесі роботи на підприємстві на працівника можуть впливати такі небезпечні й шкідливі виробничі фактори:

- машини, що рухаються, автотранспорт і механізми;
- рухомі незахищені елементи механізмів, машин і виробничого обладнання;
- падаючі вироби техніки, інструмент і матеріали під час роботи;
- ударна хвиля (вибух посудини, що працює під тиском пари рідини);
- струмені газів і рідин, що стікають із посудин і трубопроводів під тиском;
- підвищене ковзання (через зледеніння, зволоження й замаслювання поверхонь, по яких переміщується робочий персонал);
- підвищені запыленість й загазованість повітря;
- підвищена чи знижена температура поверхонь техніки, обладнання й матеріалів;
- підвищена чи знижена температура, вологість і рухомість повітря;
- підвищений рівень шуму, вібрації, ультра та інфразвуку;

- підвищена напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;
- гострі кромки, задирки й шорсткість на поверхнях обладнання й інструментів;
- відсутність чи нестача природного світла;
- недостатня освітленість робочої зони;
- знижена контрастність об'єктів в порівнянні з фоном;
- пряма блискість (прожекторне освітлення територій виробництв, світло фар автотранспорту) і відбита блискість (від розлитої води й інших рідин на поверхні територій виробництв);
- підвищена пульсація світлового потоку;
- підвищений рівень ультрафіолетової й інфрачервоної радіації;
- хімічні речовини (токсичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні, що впливають на репродуктивну функцію людина);
- хімічні речовини, що проникають в організм через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкірні покриви і слизові оболонки;
- патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, гриби, найпростіші) і продукти їхньої життєдіяльності;
- перевантаження (статичні й динамічні) і нервово-психічні чинники (емоційні перевантаження, перенапруга аналізаторів, розумова перенапруга, монотонність праці).

Рівні небезпечних і шкідливих виробничих факторів не повинні перевищувати граничнодопустимих значень, встановлених у санітарних нормах, правилах і нормативно-технічній документації.

4.2 Забезпечення безпеки життєдіяльності при роботі з ПК

Під час роботи на комп'ютерах можуть діяти такі небезпечні та шкідливі фактори, як:

- фізичні;
- психофізіологічні.

Електробезпека при роботі.

Заходи щодо усунення небезпеки ураження електричним струмом зводяться до правильного розміщення устаткування та електричних кабелів. Інші заходи щодо забезпечення електробезпеки, збігаються з загальними заходами пожежо- та електробезпеки.

В якості профілактичних заходів для забезпечення пожежної безпеки слід використовувати скриту електромережу, надійні розетки з пожежобезпечних матеріалів, силові мережі живлення устаткування виконувати кабелями, розрахованими на підключення в 3-5 разів більшого навантаження, включати й виключати живлення обладнання за допомогою штатних вимикачів. Треба регулярно робити очистку внутрішніх частин комп'ютерів, іншого устаткування від пилу, розташовувати комп'ютери на окремих неспалюваних столах. Для запобігання іскріння необхідно рідше встромляти і виймати штепсельні вилки з розеток.

Освітлення.

Система освітлення повинна відповідати таким вимогам:

- освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи, який визначається трьома параметрами: об'єктом розрізнення – найменшим розміром об'єкта, що розглядається на моніторі ПК; фоном, який характеризується коефіцієнтом відбиття; контрастом об'єкта і фону;
- необхідно забезпечити достатньо рівномірне розподілення яскравості на робочій поверхні монітора, а також в межах навколишнього простору;
- на робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні;

- в полі зору не повинно бути відблиски (підвищеної яскравості поверхонь, які світяться та викликають осліплення);
- величина освітленості повинна бути постійною під час роботи;
- слід обирати оптимальну спрямованість світлового потоку і необхідний склад світла.

Вимоги до монітору.

Основним обладнанням робочого місця користувача комп'ютера є монітор, системний блок та клавіатура.

Робочі місця мають бути розташовані на відстані не менше 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін на відстані 1 м, між собою на відстані не менше 1,5 м. Відносно вікон робоче місце доцільно розташовувати таким чином, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно зліва.

Робочі місця слід розташовувати так, щоб уникнути попадання в очі прямого світла. Джерела освітлення рекомендується розташовувати з обох боків екрану паралельно напрямку погляду. Для уникнення світлових відблисків екрану, клавіатури в напрямку очей користувача, від світильників загального освітлення або сонячних променів, необхідно використовувати антиполюскові сітки, спеціальні фільтри для екранів, захисні козирки, на вікнах – жалюзі.

Екран дисплея повинен бути розташованим перпендикулярно до напрямку погляду. Якщо він розташований під кутом, то стає причиною сутулості. Відстань від дисплея до очей повинна трохи перевищувати звичну відстань між книгою та очима. Перед екраном монітора, особливо старих типів, повинен бути спеціальний захисний екран. При його відсутності треба сидіти на відстані витягнутої руки від монітора.

Фільтри з металевої або нейлонової сітки використовувати не рекомендується, тому що сітка спотворює зображення через інтерференцію світла. Найкращу якість зображення забезпечують скляні поляризаційні фільтри. Вони усувають практично усі відблиски, роблять зображення чітким і контрастним.

При роботі з текстовою інформацією (в режимі введення даних та редагування тексту, читання з екрану) найбільш фізіологічним правильним є зображення чорних знаків на світловому (чорному) фоні.

Монітор повинен бути розташований на робочому місці так, щоб поверхня екрана знаходилася в центрі поля зору на відстані 400-700 мм від очей користувача. Рекомендується розміщувати елементи робочого місця так, щоб витримувалася однакова відстань очей від екрана, клавіатури, тексту.

Робоча поза.

Зручна робоча поза при роботі з комп'ютером забезпечується регулюванням висоти робочого столу, крісла та підставки для ніг. Раціональною робочою позою може вважатися таке положення, при якому ступні працівника розташовані горизонтально на підлозі або підставці для ніг, стегна зорієнтовані у горизонтальній площині, верхні частини рук – вертикальній. Кут ліктьового суглоба коливається в межах 70-90°, зап'ястя зігнуті під кутом не більше ніж 20°, нахил голови 15-20°.

Важливою є форма спинки крісла, яка повинна повторювати форму спини. Висота крісла повинна бути такою, щоб користувач не відчував тиску на куприк або стегна. Крісло бажано обладнати бильцями. Його потрібно встановити так, щоб не треба було тягтися до клавіатури. Періодично користувачу необхідно рухатися, вчасно змінювати положення тіла і робити перерви у роботі.

При напруженій роботі за комп'ютером щогодини необхідно робити перерву на 15 хвилин через кожну годину і треба займатися іншою справою. Декілька разів на годину бажано виконувати серію легких вправ для розслаблення.

Для нейтралізації зарядів статичної електрики в приміщенні, де виконується робота на комп'ютерах, в тому числі на лазерних та світлодіодних принтерах, рекомендується збільшувати вологість повітря за допомогою кімнатних зволожувачів. Не рекомендується носити одяг з синтетичних матеріалів.

Вимоги безпеки перед початком роботи:

- увімкнути систему кондиціювання в приміщенні;
- перевірити надійність встановлення апаратури на робочому столі.

Повернути монітор так, щоб було зручно дивитися на екран – під прямим кутом (а не збоку) і трохи зверху вниз, при цьому екран має бути трохи нахиленим, нижній його край ближче до оператора;

- перевірити загальний стан апаратури, перевірити справність електропроводки, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок, розеток, заземлення захисного екрана;

- відрегулювати освітленість робочого місця;
- відрегулювати та зафіксувати висоту крісла, зручний для користувача нахил його спинки;

- приєднати до системного блоку необхідну апаратуру. Усі кабелі, що з'єднують системний блок з іншими пристроями, слід вставляти та виймати при вимкненому комп'ютері;

- ввімкнути апаратуру комп'ютера вимикачами на корпусах в послідовності: монітор, системний блок, принтер (якщо передбачається друкування);

- відрегулювати яскравість свічення монітора, мінімальний розмір світної точки, фокусування, контрастність. Не слід робити зображення надто яскравим, щоб не втомлювати очей.

Вимоги безпеки під час виконання роботи:

- необхідно стійко розташовувати клавіатуру на робочому столі, не опускати її хитання. Під час роботи на клавіатурі сидіти прямо, не напружуватися;

- для забезпечення несприятливого впливу на користувача пристроїв типу «миша» належить забезпечувати вільну велику поверхню столу для переміщення «миші» і зручного упору ліктьового суглоба;

- не дозволяються посторонні розмови, подразнюючі шуми;
- періодично при вимкненому комп'ютері прибирати ледь змоченою мильним розчином бавовняною ганчіркою пил з поверхонь апаратури. Екрани

ВДТ та захисний екран протирають ганчіркою, змоченою у спирті. Не дозволяється використовувати рідинні або аерозольні засоби очищення поверхонь комп'ютера.

Забороняється:

- класти будь-які предмети на апаратуру комп'ютера;
- закривати будь-чим вентиляційні отвори апаратури, що може призвести до її перегрівання і виходу з ладу.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломної роботи було здійснено розробку інтелектуальну систему формування дизайну пляшкових корків на базі штучного інтелекту. У результаті проведеного аналітичного огляду було систематизовано та досліджено сучасні підходи до виробництва пляшкових корків, зокрема, термоусадочних ковпачків, а також їх декоративного оформлення. Особливу увагу приділено технологічному процесу виготовлення, який включає підготовку сировини, формування ковпачка, етапи декорування, термообробки, контролю якості та пакування.

Проведено аналіз сучасних технологій генерації зображень у дизайні упаковки з акцентом на використання алгоритмів штучного інтелекту. Порівняно можливості найпоширеніших моделей, зокрема генеративних змагальних мереж (GAN), дифузійних моделей (Stable Diffusion), трансформерних архітектур (DALL·E 2), а також методів донавчання, таких як LoRA. Зазначено, що саме дифузійні моделі із застосуванням LoRA демонструють найвищу гнучкість і здатність до генерації візуального контенту в вузькій предметній галузі, зокрема, дизайну ковпачків.

Таким чином, аналітична частина підтверджує наукову та практичну доцільність реалізації інтелектуальної системи генерації дизайну пляшкових корків із застосуванням донавчаних дифузійних моделей.

У проектній частині дипломної роботи сформульовано та детально описано вимоги до інтелектуальної системи генерації дизайнів пляшкових корків. Запропоновано архітектуру рішення, яке складається з п'яти основних модулів: підготовки даних, генеративної моделі (Stable Diffusion + LoRA), навчального конвеєру, модуля генерації зображень та Gradio-інтерфейсу взаємодії з користувачем. Зокрема, підготовка вибірки охоплювала збір 23 зразків ковпачків, приведення їх до уніфікованої роздільності, створення відповідних описів-промптів і структурування у форматі, що сумісний із тренуванням LoRA. Після налаштування середовища в Google Colab і реалізації

циклу навчання було отримано адаптовану модель, здатну генерувати дизайни пляшкових корків у відповідь на текстовий запит.

Генерація результатів здійснюється в інтерактивному режимі, що дозволяє ефективно тестувати гіпотези дизайну та адаптувати візуальний стиль під конкретні вимоги виробника. Представлені приклади ілюструють високу візуальну відповідність та стильову точність отриманих результатів.

У спеціальній частині акцент зроблено на практичних аспектах впровадження запропонованої системи в реальні виробничі умови. Продемонстровано, що використання LoRA-моделей у поєднанні зі Stable Diffusion дає змогу адаптувати генеративну систему під конкретний асортимент продукції, у нашому випадку ковпачки виробництва АТ «Технологія», забезпечуючи високий рівень якості візуалізації та художньої індивідуалізації.

Таким чином, спеціальна частина підтверджує прикладну ефективність розробленої системи, її здатність адаптуватись до змін у виробництві та відкриває перспективи для ширшого використання у сфері індустріального дизайну.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Haykin S. Neural Networks - A Comprehensive Foundation - Simon Haykin.pdf. McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, 2006. P. 823.
2. N. Richard: Applied regression analysis, third ed., John Wiley & Sons, New York, 1998
3. Philip D. Wasserman. Neural Computing: Theory and Practice, New York: Coriolis Group (Sd), 1989
4. K. Gurney: An introduction to neural networks, first ed., Taylor & Francis Group, London, 1997
5. R. Rombach, A. Blattmann, D. Lorenz, P. Esser and B. Ommer, "High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models," *2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, New Orleans, LA, USA, 2022, pp. 10674-10685, doi: 10.1109/CVPR52688.2022.01042.
6. Hu, Edward & Shen, Yelong & Wallis, Phillip & Allen-Zhu, Zeyuan & Li, Yuanzhi & Wang, Shean & Chen, Weizhu. (2021). LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models. 10.48550/arXiv.2106.09685.
7. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.
8. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
9. Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, 61, 85-117.
10. Deng, L., & Yu, D. (2014). Deep learning: methods and applications. *Foundations and Trends® in Signal Processing*, 7(3–4), 197-387.
11. Karpathy, A., & Fei-Fei, L. (2015). Deep visual-semantic alignments for generating image descriptions. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 3128-3137).
12. Radford, A., Wu, J., Child, R., Luan, D., Amodei, D., & Sutskever, I. (2019). Language models are unsupervised multitask learners. *OpenAI blog*, 1(8), 9.

13. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 5998-6008).
14. Brock, A., Donahue, J., & Simonyan, K. (2019). Large scale GAN training for high fidelity natural image synthesis. In *International Conference on Learning Representations*.
15. Oleh Yasniy, Abdellah Menou, Andriy Mykytyshyn, Vitalii Kubashok, Iryna Didych (2024). Application of neural network platforms for text-based image generation. *Ceur Workshop Proceedings*, 2024, 3842, pp. 232–240
16. Yasniy, O., Mykytyshyn, A., Didych, I., Kubashok, V., & Boiko, A. (2023). Application of artificial intelligence to improve the work of educational platforms. In *ITTAP* (pp. 605-609).
17. Karras, T., Aila, T., Laine, S., & Lehtinen, J. (2019). A style-based generator architecture for generative adversarial networks. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 4401-4410).
18. OpenAI. (2023). DALL-E 3: Creating Images from Text. Retrieved from <https://openai.com/dall-e-3>

