
¹Oksana Bilinska,

²Khrystyna Kulchytska,

³Yuriy Surovyi

e-mail: oksanabilinska@gmail.com

orcid: 0009-0007-8126-1374

e-mail: khrystyna.b.kulchytska@lpnu.ua

orcid: 0000-0002-6184-988X

e-mail: yuriisurovyi@gmail.com

orcid: 0009-0003-0640-6597

¹Оксана Білінська,

²Христина Кульчицька,

³Юрій Суровий

УДК 74+004.8

ТРЕНУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ СТИЛІЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

TRAINING A NEURAL NETWORK FOR IMAGE STYLING

Keywords: image stylization, neural network training, T. Shevchenko's drawing dataset.

Ключові слова: стилізація зображень, тренування нейромережі, датасет малюнків Т. Г. Шевченка.

¹ Ph.D. in Architecture, Associate Professor of the Department of Design and Fundamentals of Architecture, Lviv Polytechnic National University, Lviv

¹ канд. арх., доцент кафедри дизайну та основ архітектури, Національний університет «Львівська політехніка», Львів

² Ph.D. in Architecture, Associate Professor of the Department of Design and Fundamentals of Architecture, Lviv Polytechnic National University, Lviv

² канд. арх., доцент кафедри дизайну та основ архітектури, Національний університет «Львівська політехніка», Львів

³ Master of the Department of Media Technologies, Publishing and Graphic Systems Ukrainian Academy of Printing

³ магістр кафедри медіатехнологій та видавничо-графічних систем Українська академія друкарства

<https://doi.org/10.23939/sa2024.01.016>

Abstract

Improving the visualization of projects and portfolios of designers and architects can be achieved by enhancing the illustrativeness and stylization of images using artificial intelligence. The use of neural networks for content generation significantly speeds up the work of designers.

Among all the neural networks for image generation, MidJourney shows the best results. After analyzing the licenses and subscription costs of services as well as the models they employ, the Stable Diffusion deep learning neural network was chosen. The Stable Diffusion neural network is open-source, unlike DALL-E and Midjourney, allowing for unlimited content generation. The stylized images were generated in Stable Diffusion using Dreambooth based on the Google Collab platform. The creation of a custom model was conducted in two stages. The first stage involved preparing images for training the Stable Diffusion neural network. The second stage was the direct training of the neural network based on the Google Collab platform. Kobzar's graphic drawings served as the training dataset. Initially, 77 drawings with the same theme were selected for model training. 30 of these were used to train the model after corrections in Adobe Photoshop and Topaz Photo AI. Adjustments included cropping, background removal, printing raster, noise reduction, sharpening, and scaling images. The originality of the work lies in the fact that the trained model was used to create stylized creative images, utilizing excerpts from the poet's poems describing nature and events in a very realistic way. The generated images have successfully passed the Turing test, indicating a realistic reproduction of the style of Taras Shevchenko's drawings and the utilization of the author's poetic text as a prompt. The use of neural networks for generating and styling images as virtual assistants for designers and architects speeds up the creative process and enables the creation of works of any complexity.

Анотація

У роботі запропоновано покращити візуалізацію робіт дизайнерів та архітекторів завдяки підвищенню ілюстративності та стилізованості зображень за допомогою програм на основі штучного інтелекту. Використання нейронних мереж для генерації контенту значно прискорює роботу дизайнерів.

Серед усіх нейронних мереж для генерації зображень найкращі результати показує MidJourney. На підставі аналізу вартості ліцензій і підписки на послуги, а також моделей, які вони використовують, була обрана нейронна мережа глибокого навчання Stable Diffusion. Нейронна мережа Stable Diffusion має відкритий вихідний код, на відміну від DALL-E та Midjourney, що дозволяє генерувати необмежений вміст. Стилiзовані зображення були створені в Stable Diffusion за допомогою Dreambooth на основі платформи Google Collab. Створення індивідуальної моделі проходило в два етапи. Перший етап включав підготовку зображень для навчання нейронної мережі Stable Diffusion. Другим етапом було безпосереднє навчання нейронної мережі на базі платформи Google Collab. Навчальним матеріалом слугували графічні малюнки Кобзаря. Спочатку для навчання моделі було відібрано 77 малюнків на одну тему, 30 з них були використані для навчання моделі після виправлення в Adobe Photoshop і Topaz Photo AI. Налаштування включали кадрування, видалення фону, друк растру, зменшення шуму, різкість і масштабування зображень. Оригінальність роботи полягає в тому, що на тренованій моделі створено стилізовані творчі образи, використовуючи уривки з віршів поета, які дуже реалістично описують природу та події. Згенеровані зображення успішно пройшли тест Тюрінга, що свідчить про реалістичне відтворення стилю малюнків Тараса Шевченка та використання авторського поетичного тексту як підказки. Використання нейронних мереж для генерації та стилізації зображень як віртуальних помічників для дизайнерів та архітекторів прискорює творчий процес і дозволяє створювати роботи будь-якої складності.

Постановка проблеми

При розробленні дизайну будь-якого об'єкта, оформленні портфоліо, візуалізації презентацій проєктів в архітектурі виникає необхідність у дотриманні певного (визначеного) стилю роботи. Зображення, які застосовують для оформлення роботи, часто беруть з різних джерел. Для їх стилізації застосовують програми на основі штучного інтелекту, де вже є заздалегідь визначені стилі. Проблема значно ускладнюється, якщо потрібно стилізувати зображення в індивідуальному стилі та манері автора проєкту, портфоліо чи видання. Завдяки застосуванню нейронних мереж виникає унікальна можливість для дизайнерів та архітекторів отримати віртуальних цифрових помічників, які прискорять творчий процес і допоможуть генерувати зображення у власному стилі будь-якої складності. Отже, ілюстрування розробок в архітектурі та дизайні за допомогою зображень в індивідуальному стилі є необхідною умовою успішного представлення робіт.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Методам та прийомам стилізації зображення, як засобам його покращення та сприйняття, вивченню та наслідуванню художніх стилів великих митців присвячено роботи та наукові дослідження М. Бядової, К. Стародуб, В. Фаворського, Т. Костенко, М. Яремківа, М. Пічкур, В. Михайленка, В. Зайцевої та ін. (Зайцева, 2021). Тільки з 2020 р. стилізація зображень набула нового поштовху з розвитком штучного інтелекту (ШІ). Розроблено мобільні графічні додатки на основі ШІ: GoArt, InShot, Quick Art, Photo Editor, Picsart. Студенти-дизайнери та архітектори у навчальному процесі для виконання завдань художнього спрямування стилізують зображення у GoArt за більше ніж 50 різноманітними стилями: кіберпанк, аніме, сюрреалізм, олійний живопис, концептуальна ілюстрація тощо.

Особливого прогресу у стилізації зображень досягнуто з розробленням програм на основі нейронних мереж. У роботі Т. Божко та В. Ареф'єва «Нейронні мережі як інструмент графічного дизайну» встановлено відповідність нейронних мереж кожному з видів продукції графічного дизайну. Автори рекомендують для роботи з контентом сервіси Midjourney, Leonardo ai, Maze Guru (Божко, Ареф'єв, 2023). За іншими рекомендаціями найкращими нейромережами для створення зображень є Midjourney, Stable Diffusion, DALL·E 2, Artbreeder, Runway, Starryai, DeepArt, Bing Image Creator, Deep Dream Generator.

Завдяки застосуванню нейронних мереж у дизайні виник новий напрямок – генеративний дизайн, де нейромережі слугують інструментом у руках людини. Перевагою використання нейронних мереж є значне прискорення створення візуального контенту. З цією метою можна застосовувати декілька програм ШІ, кожна з яких покращує якість зображення.

Оцінити рівень ШІ у програмному забезпеченні можна за допомогою тестів. За різновидом інтелекту ШІ тести поділяють на: вербальні (тест Тюрінга; тест Левеска; тест Маркуса) та тести креативних здібностей (тест Лавлейс 2.0; тест Марк Рейдел; випробування ІКЕА; олімпіада Тюрінга). Критерієм підтвердження наявності ШІ є прийняття твору комп'ютера за створене людиною (Цокота, 2022).

За останні три роки розроблено багато нейронних мереж для генерування зображень, проте їх можливості поки що вивчені недостатньо, що стимулює до дослідження питання створення власних моделей на їх основі для генерування зображень в індивідуальному стилі.

Мета статті

Показати можливість покращення візуальної презентації проєкту, портфоліо робіт дизайнерів та архітекторів завдяки збільшенню ілюстративності, дотриманню єдиного стилю, генеруванню зображень в індивідуальному стилі шляхом створення власної моделі тренуванням нейронної мережі. Рекомендувати як цифрового помічника дизайнерам та архітекторам програми на основі нейронних мереж.

Виклад основного матеріалу

Застосування нейромереж для генерування контенту значно пришвидшує роботу дизайнерів. Важливо обирати нейромережі, які дозволяють використовувати згенерований контент у комерційних цілях. Розробляти та застосовувати модель дозволяють різні сервіси, проте більшість є платними або умовноплатними. В умовноплатних є безкоштовними певна кількість генерувань на добу або без часових меж. Вартість планів часто залежить від можливостей програми, найдорожчі – це безлімітні за кількістю генерацій та якістю отриманих зображень.

Навчання нейромережі – це складний та довготривалий процес. Пришвидшити його можна перепрофілюванням готової моделі під свої завдання. Отримана модель буде авторською, з її допомогою можна розробляти унікальний контент в заданому стилі.

Серед усіх нейромереж для генерування зображень найкращі результати показує MidJourney. На цей час MidJourney не має безкоштовної підписки, тому, проаналізувавши ліцензії сервісів, а також застосовувані ними моделі, обрано для навчання нейромережу Stable Diffusion.

Stable Diffusion – це мережа глибокого навчання, яка розроблена у 2022 році Stability AI у співпраці з низкою академічних дослідників і некомерційних організацій. Використовується переважно для модифікації або генерування детальних зображень на основі текстових описів. Stable Diffusion – це різновид генеративної мережі з відкритим кодом (Google Colab або Google Colab: що це таке). Stable Diffusion може працювати на більшості користувацького обладнання, оснащеного графічним процесором із принаймні 8 ГБ VRAM, на відміну від DALL-E та MidJourney, які доступні лише через хмарні служби (Stable Diffusion Repository on GitHub, 2022).

Створення власної моделі проводили у два етапи. На першому етапі готували зображення для навчання нейромережі Stable Diffusion. Другим етапом було безпосереднє навчання нейромережі на базі платформи Google Collab.

Підготовка зображень для навчання нейромережі Stable Diffusion. Вдале навчання нейронної мережі залежить від якості та однакової стилістики вихідних зображень. Якщо модель штучного інтелекту недостатньо добре відтворює стиль, можна, наприклад, продовжити навчання або змінити набір зображень (датасет).

Завданням досліджень було створення власної моделі, яка б могла імітувати, наприклад, стиль графічних малюнків відомого художника Т. Г. Шевченка. Кобзарю характерні роботи у різних техніках. Для досліджень обрано графічні зображення, які намальовані олівцем.

Більшість художніх робіт Тараса Григоровича в Інтернеті є низької якості (IPro Action, 2015), тому деякі з малюнків оцифровували з ювілейного видання «Кобзар», яке присвячене 200-річчю від дня народження поета (Шевченко, 2014). Кількість зображень у датасет може бути від 10 до 30. Проте на якість моделі у більшій мірі впливає зміст малюнків, а не їх кількість. Для тренування моделі відібрали 57 зображень пейзажів. Але вони виконані на різному фоні, різного розміру та якості (рис. 1). Для використання зображень, як референсів, важливо звести їх до одного вигляду. Для цього у Adobe Photoshop усували відтінок фону та коригували зображення по тону за допомогою рівнів. З оцифрованих зображень усували поліграфічний растр, який є на відбитках. Зображення цього ювілейного видання відрастровані класичним методом. Для усунення поліграфічного растру розмивали растрову розетку, використовуючи фільтр розмиття, а потім надавали різкості зображенню за допомогою однойменного фільтру. Також задавали розмір зображень 512×512 пікселів та кадрували їх із співвідношенням сторін 1:1. Оскільки обрані зображення різної орієнтації (вертикальної та горизонтальної), їх частини виходили за рамку кадрування або виникала необхідність у їх доповненні за рахунок однорідного фону чи заливки з врахуванням вмісту (рис. 1).

Підвищення якості зображень. Для підвищення якості вихідних зображень застосували програму на основі ШІ – Topaz Photo AI 2.0.7, розроблену як універсальне рішення для фотографій. Topaz Photo AI містить функції усунення шуму, підвищення різкості і збільшення зображення. Це програмне забезпечення об'єднує функції трьох програм, які розробила компанія Topaz, а саме Gigapixel AI (збільшення зображення, додавання деталей), DeNoise AI (видалення шуму) та Sharpen AI (покращення деталізації).

З відібраних 57 зображень після коректури залишили 30. Після перейменування (у назві наявне однакове позначення та порядковий номер, наприклад, bw_1–bw_30) зображення готові для навчання нейромережі.

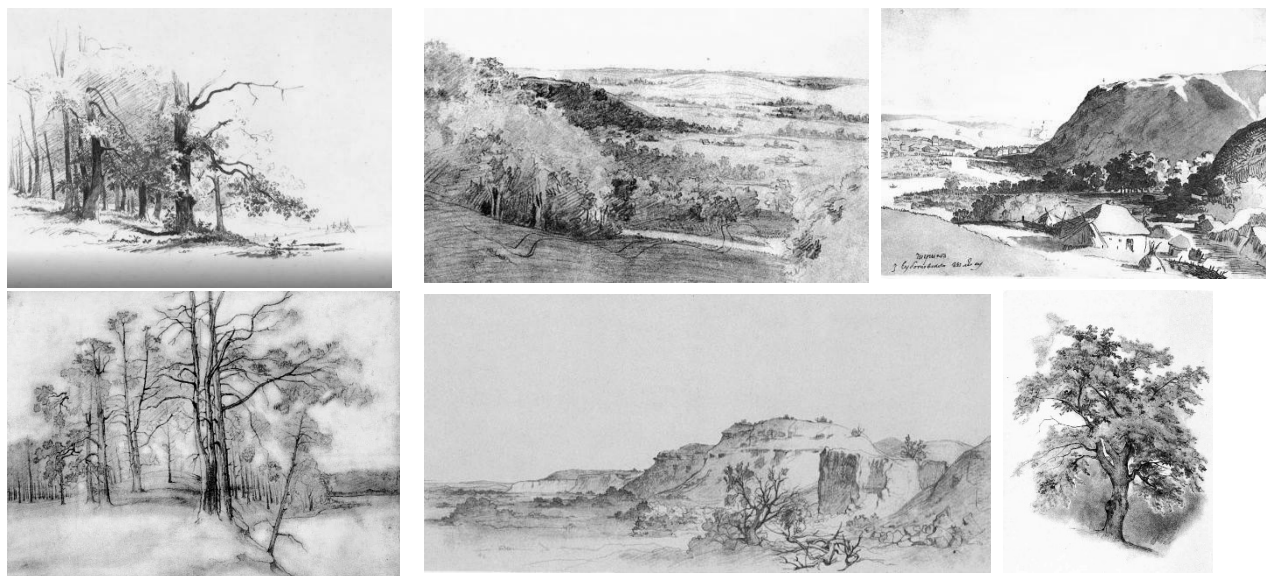


Рис. 1. Приклади обраних малюнків Т. Г. Шевченка для датасету (Шевченко, 2014)

Навчання нейромережі Stable Diffusion на базі платформи Google Colab. Серед хмарних сервісів, орієнтованих на машинне навчання, Yandex DataSphere, Kaggle Kernels, Azure Notebook, тощо застосовано Google Colab (Google Colaboratory) від Google Research. Google Colab дозволяє писати вихідний код у своєму редакторі та запускати його з браузера, підтримує мову програмування Python і орієнтований на завдання машинного навчання, аналіз даних, навчальні проекти тощо (Google Colab або Google Colaboratory: що це таке). Для машинного навчання Google Colab використовує потужні графічні процесори GPU (Graphics Processing Unit) та тензорний процесор, розроблений компанією Google спеціально для тренування нейромереж TPU (Tensor Processing Unit).

Робота в Google Colab охоплює завантаження файлу на сервер Google, читання файлу, побудову моделі, збереження результату у новому файлі на сервері Google та завантаження результату на жорсткий диск. За допомогою мови програмування Python у Google Colab завантажили бібліотеки Dependencies та модель Stable Diffusion Download версії 2.1-512px з Git-репозиторію (Stable Diffusion Repository on GitHub, 2022).

Нейромережі Stable Diffusion, DALLE 2 та Midjourney дозволяють генерувати зображення за допомогою запиту. Dreambooth AI, який розробила дослідницька група вчених з Бостонського університету та Google, може покращити перетворення тексту у зображення із застосуванням власних датасетів користувача. За допомогою Dreambooth можна навчити Stable Diffusion розуміти та повторювати стиль зображень. Тому у Dreambooth створили сесію, яка використовувала нашу модель, та завантажили підготовлені зображення для навчання моделі.

Для тренування нейромережі задавали такі параметри: Unet_Training_Steps – 1950, Text_Encoder_Training_Steps – 350. У нашому випадку тренування зайняло 54 хвилини. Весь процес від вибору концепції до готової навченої моделі може зайняти орієнтовно чотири години. Створена модель записується у папку на Google диску (Colab notebook for The Last Ben).

Тестування моделі. Для перевірки працездатності створеної моделі задавали її назву та текстовий узагальнений запит – промт (англ. prompt). Правильне формування запиту є дуже важливим завданням. Запит включає опис зображення (фото, малюнок, картина, цифровий арт; головні та допоміжні деталі: освітлення, середовище, кольорова гама, кут зору, фон; стиль зображення та технічне виконання). Крім того, описували, що не має бути на зображенні (негативний запит).

Приклад позитивного та негативного запитів для тестування моделі, розробленої за малюнками Т. Г. Шевченка:

Prompt: bown, profession illustration, line art, black line on white.

Negative prompt: gray background, low contrast, blurred, colored, bad art, disfigured, deformed, poorly draw, extra limbs, blurry, photography, colorful, color background.

Оригінальністю цієї роботи є те, що для генерування зображень у стилізованій моделі у Google Colab складала запит не за традиційним методом, а застосовували уривки віршів Кобзаря (англійською мовою), де він дуже проникливо описував пейзажі та події.

Усі згенеровані зображення відповідають за змістом уривкам віршів Т. Г. Шевченка, а також у певній мірі заданій стилістиці. Особливо цікавим є третє зображення (рис. 2), яке ілюструє уривок вірша з поеми «Кавказ». На зображенні відтворено природу та гори у стилі Кобзаря. Але більша частина уривку присвячена лицарям, які борються за свободу, тому модель згенерувала людину, яка поривається до вершини – символу свободи, хоча у датасеті не було малюнків з людьми. Таке генерування є креативним та експериментально підтверджує можливість застосування як запити навіть уривків віршів.

Встала весна

(Уривок із поеми «Гайдамаки»)

Встала весна, чорну землю
Сонну розбудила,
Уквітчала її рястом,
Барвінком укрила;
І на полі жайворонок,
Соловейко в гаї
Землю, убрану весною,
Вранці зустрічають...

Spring has risen

(Excerpt from the poem «Haidamaky»)

Spring has risen, the black earth,
Awakened from its slumber,
Adorned it with a carpet of flowers,
Covered it with periwinkle;
And in the field, the lark,
The nightingale in the grove,
Greet the land dressed in spring,
In the morning light they meet it...



По діброві вітер вие

(Уривок із поеми «Тополя»)

По діброві вітер вие,
Гуляє по полю,
Край дороги гне тополю
До самого долу.
Стан високий, лист широкий
– Нащо зеленіє?
Кругом поле, як те море
Широке синіє.

The wind howls through the grove

(Excerpt from the poem «Poplar»)

The wind howls through the grove,
Wandering across the field,
By the roadside, it bends the poplar
Down to the very ground.
Tall stature, broad leaves –
Why does it stay green?
All around, the field, like the sea,
Wide and blue.



І вам слава, сині гори

(Уривок з поеми «Кавказ»)

І вам слава, сині гори,
Кригою окуті!
І вам, лицарі великі,
Богом не забуті.
Борітеся – поборете!
Вам бог помагає!
За вас правда, за вас слава
І воля святая!

And to you, glory, blue mountains

(Excerpt from the poem «Caucasus»)

And to you, glory, blue mountains,
Enveloped in ice!
And to you, great knights,
Not forgotten by God.
Fight on – conquer!
God is with you!
For you, truth, for you, glory,
And sacred freedom!



Рис. 2. Приклади запитів та стилізованих зображень, отриманих із використанням розробленої моделі

Оцінювання згенерованих зображень тестом Тюрінга. Оцінювання якості стилізації згенерованих зображень може проводитись за об'єктивними та суб'єктивними метриками. До об'єктивних метрик відносять такі: метрика подібності стилю Gram Matrix Loss; метрики, які оцінюють кольорову палітру та контраст, наприклад, Colorfulness Index; метрика Mosaic Score – вимірює, наскільки кожна частина зображення схожа на мозаїку або на іншу сцену при емулюванні певного мистецького стилю. Оскільки стиль зображення є радше суб'єктивною ознакою, для оцінювання якості стилізації застосовували тест Тюрінга (Turing Alan M., 1950). Отримані зображення аналізували 15 пересічних респондентів, які не були мистецтвознавцями. Більшість респондентів не змогли дати правильну відповідь про авторство малюнків. За результатом опитування згенероване зображення, яке ілюструє уривок вірша з поеми «Кавказ», найбільш повно відповідає стилю малюнків Кобзаря.

У більшості випадків створений нейромережею контент настільки реалістичний, що його важко відрізнити від авторського. Тому компанії, в рамках Коаліції за походження та автентичність контенту C2PA – групи, яка прагне створити технічні стандарти для сертифікації джерела та походження контенту (компанії Adobe, Arm, Intel, Microsoft, Truepic), – розробили спеціальний символ для позначення зображень, згенерованих штучним інтелектом. Якщо навести курсор на цей символ, можна побачити інформацію про розробника, інструмент штучного інтелекту та інші дані.

Більш вдалим рішенням для захисту власних зображень є розробка японської компанії SnackTime сервісу Etagori. У сервісі Etagori можна додавати елементи захисту, які є невидимі для людини, наприклад, водяний знак та цифровий шум. Якщо ШІ захоче використати таке зображення для навчання чи роботи, тоді зображення буде спотворене та непридатне до роботи.

Отже, створення власної моделі для генерування зображень базується на глибоких нейронних мережах, зазвичай генеративних моделей, та містить такі кроки: вибір генеративної моделі, збір даних, обробка та підготовка даних, навчання моделі, налаштування параметрів моделі, оцінювання та тестування, удосконалення моделі.

На результат генерування впливають:

1. Сервіси, які застосовують (розуміння запиту, зображень).
2. Якість позитивного та негативного запитів для створення моделі та запиту для генерування стилізованого зображення (деталізованість, структура).
3. Якість датасету зображень (зашумленість, наявність растру, різкість, фон, орієнтація, розмір, технологія покращення якості тощо).

Висновки

Покращити візуальну презентацію проєктів та портфоліо дизайнерів та архітекторів можна шляхом підвищення ілюстративності та стилізованості зображень із застосування програм на основі штучного інтелекту. Генерування стилізованих зображень проводили на основі графічних малюнків Т. Г. Шевченка, які відібрали за тематикою та коректували. Провели навчання нейромережі з відкритим кодом Stable Diffusion за допомогою Dreambooth на базі платформи Google Collab та розробили власну модель з датасету малюнків Кобзаря. Оригінальністю роботи є те, що на основі навченої моделі отримали стилізовані креативні зображення, застосувавши, як запит, уривки з віршів поета.

Застосування нейронних мереж для генерування та стилізації зображень як віртуальних помічників для дизайнерів та архітекторів прискорить творчий процес і дозволить створювати роботи в індивідуальному стилі.

Бібліографія

Colab notebook for TheLastBen / fast-stable-diffusion. URL: <https://colab.research.google.com/drive/1-qeon9tJW1RjXOJldpXYQECv2TJV9QTP>.

Google Colab або Google Colaboratory: що це таке. URL: <https://www.hwlibre.com/uk/google-colaboratory>.

Hachman Mark (2022). The new killer app: Creating AI art will absolutely crush your PC. URL: <https://www.pcworld.com/article/916785/creating-ai-art-local-pc-stable-diffusion.html>.

Stable Diffusion Repository on GitHub. (2022). CompVis – Machine Vision and Learning Research Group, LMU Munich. URL: <https://github.com/CompVis>.

Turing Alan M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, LIX (236): 433–460. URL: <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>

Божко Т., Ареф'єв В. (2023). Нейронні мережі як інструмент графічного дизайну. *Вісник КНУКіМ. Серія «Мистецтвознавство»*, (48), 125–135. URL: <https://doi.org/10.32461/2226-3209.2.2021.240002>

Зайцева В. І. (2021). Художня стилізація як основний виражальний засіб у різних жанрах образотворчого мистецтва. *Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв: наук. журнал*. № 2, 165–169. URL: <https://doi.org/10.32461/2226-3209.2.2021.24000>

IPro Action (2015). Картини Тараса Шевченка. URL: https://taras-shevchenko.com.ua/ua/roboty_list/spisok-hudozhnih-robot.htm.

Михайленко В. Є. (2012). Стилiзацiя природних форм у графiчному дизайнi та рекламi : формотворчi аспекти / В. Є. Михайленко, С. В. Прищенко. *Технiчна естетика i дизайн*. Вип. 11, 121–129.

Суровий Ю. М. (2023). Застосування машинного навчання нейромережі для генерування зображень у додрукарських процесах: магістерська дисертація на здобуття освітнього ступеня «магістр»: спец. 186 «Видавництво та поліграфія». Українська академія друкарства. Львів. 78 с.

Цокота В. Р. (2022). Підходи до тестування рівня та різновиду штучного інтелекту. *Humanitarian Aspects of Digital Society*. Kharkiv, 28–30. URL: https://library.pp-ss.pro/index.php/ndippsn_20221208/article/view/tsokota/pdf.

Шевченко Т. Г. (2014). Кобзар. Харків: ВД «Школа». 576 с.

References

Colab notebook for TheLastBen / fast-stable-diffusion. Retrieved from <https://colab.research.google.com/drive/1-qeon9tJW1RjXOJldpXYQECv2TJV9QTP>.

Google Colab або Google Colaboratory: shcho tse take. Retrieved from <https://www.hwlibre.com/uk/google-colaboratory>.

Hachman Mark. (2022). The new killer app: Creating AI art will absolutely crush your PC. Retrieved from <https://www.pcworld.com/article/916785/creating-ai-art-local-pc-stable-diffusion.html>.

Stable Diffusion Repository on GitHub. (2022). CompVis – Machine Vision and Learning Research Group, LMU Munich. Retrieved from <https://github.com/CompVis>.

Turing Alan M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, LIX (236): 433–460. doi:10.1093/mind/LIX.236.433. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>

Bozhko T., Arefiev V. (2023). Neironni merezhi yak instrument hrafichnoho dyzainu. *Visnyk KNUKiM. Seriiia «Mystetstvovnavstvo»*, (48), 125–135. <https://doi.org/10.31866/2410-1176.48.2023.282475>

Zaitseva V. I. (2021). Khudozhnia stylizatsiia yak osnovnyi vyrazhalnyi zasib u riznykh zhanrakh obrazotvorchoho mystetstva. *Visnyk Natsionalnoi akademii kerivnykh kadriv kultury i mystetstv : nauk. zhurnal*. No. 2, 165–169. <https://doi.org/10.32461/2226-3209.2.2021.240002>

IPro Action. (2015). Kartyny Tarasa Shevchenka. Retrieved from https://taras-shevchenko.com.ua/ua/roboty_list/spisok-hudozhnih-robot.htm.

Mykhailenko V. Ye. (2012). Stylizatsiia pryrodnykh form u hrafichnomu dyzaini ta reklami : formotvorchi aspekty / V. Ye. Mykhailenko, S. V. Pryshchenko. / *Tekhnichna estetyka i dyzain*. Vyp. 11, 121–129.

Surovyi Yu. M. (2023). Zastosuvannia mashynnoho navchannia neiromerezhi dlia heneruvannia zobrazhen u dodrukarskykh protsesakh : mahisterska dysertatsiia na zdobuttia osvitnoho stupenia «mahistr»: spets. 186 «Vydavnytstvo ta polihrafiia» / Yu. M. Surovyi. *Ukrainska akademiia drukarstva*. Lviv, 78.

Tsokota V. R. (2022). Pidkhody do testuvannia rivnia ta riznovydu shtuchoho intelektu. *Humanitarian Aspects of Digital Society*. Kharkiv, 28–30. Retrieved from https://library.pp-ss.pro/index.php/ndippsn_20221208/article/view/tsokota/pdf.

Shevchenko T. H. (2014). Kobzar / Taras Shevchenko. Kh.: VD «Shkola», 576.