

Кордюк Р.І.

Національний університет «Львівська політехніка»

ДЕРЕВОВИДНА МОДЕЛЬ КОЛАЖІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Виконано ґрунтовний аналіз відомих моделей колажів, які використовуються в найпопулярніших інформаційних системах, таких як Canva, Pixlr Editor, Online Photoshop. Встановлено, що існуючі моделі колажів не забезпечують можливості створення структурованих зв'язків між їх складовими елементами. Це обмежує можливості для редагування та гнучкої зміни зображень у межах одного колажу.

Розроблена нова модель колажів, яка базується на деревовидній структурі. Вона утворена чотирма рівнями вкладеності. Коренем дерева є головний елемент, який знаходиться на першому рівні і має максимальні задані розміри графічного зображення з можливістю задання відступів від зовнішніх меж графічного зображення та нульовим коефіцієнтом заокругленості з можливістю її динамічної змінюваності. На другому рівні вкладеності знаходяться рядки та горизонтальні повзунки. На третьому рівні вкладеності, в середині рядків, знаходяться або колонки або контейнери зображень і вертикальні повзунки між ними. Четвертий рівень вкладеності утворений розташованими в середині колонок контейнерами зображень та горизонтальними повзунками між ними.

Введені взаємодіючі зв'язки між елементами колажа утворюють складну і високо функціональну структуру. Кожен елемент дерева змінюється пропорційно до інших елементів, що означає, що внесені зміни в одному елементі автоматично відображаються на всіх інших, які з ним пов'язані. Це надає користувачу надзвичайну гнучкість у створенні та редагуванні графічних композицій, оскільки зміни, внесені в одному місці, автоматично адаптуються та відповідають всій структурі. Виконано порівняльний аналіз застосування розробленої деревовидної моделі і відомих моделей колажів. Встановлено, що використання розробленої деревовидної моделі оптимізує роботу з колажами, зменшуючи кількість виконуваних дій у 5 разів. Це не лише скорочує час на редагування, але й підвищує точність та якість кінцевого результату, що є важливим фактором у створенні складних графічних композицій.

Ключові слова: колаж, деревовидна модель колажу, графічне зображення, контейнер зображення.

Постановка проблеми. Опрацювання графічних зображень – важлива складова комп'ютерної графіки, сьогодні існує багато програмних засобів, які спрощують роботу із зображеннями. Однак низка завдань залишається невирішеною. Одне з них – відсутність структурованих зв'язків між елементами графічних композицій (колажів). Популярні онлайн-сервіси для створення колажів не забезпечують взаємозв'язку між складовими, тому зміна одного фрагмента не призводить до оновлення інших. Це обмежує гнучкість редагування та вимагає ручного коригування композиції.

У галузі обробки зображень постійно з'являються нові алгоритми для підвищення якості та автоматизації процесів, а автоматичне створення композицій (фотоколажів) стало окремим напрямом досліджень як ефективний спосіб презентації багатьох зображень. Формування колажу зазвичай розглядають як задачу оптимізації: визначається функція якості композиції, яку алгоритм максимізує. Такий підхід потребує зна-

чних обчислень і при великій кількості фото стає складним завданням.

Для підвищення ефективності редагування композицій існують алгоритми та методи оптимізації. Застосування ефективних методів оптимізації суттєво пришвидшує автоматичне компонування колажів.

Проблема узгодженого та ефективного редагування графічних композицій залишається актуальною, тому подальші дослідження у цій сфері є необхідними. Це дозволить впровадити новітні алгоритми в інструменти редагування та створити більш гнучкі й інтелектуальні засоби, які забезпечуватимуть високоякісну композицію за мінімальних зусиль користувача, що особливо важливо в умовах стрімкого зростання обсягів візуальних даних і потреби в їх ефективній презентації.

Незважаючи на популярність інформаційних систем для створення колажів, таких як Canva, Pixlr Editor і Online Photoshop, їхні моделі мають суттєві обмеження. Вони не передба-

чають можливість створення структурованих зв'язків між елементами колажу, що значно ускладнює процеси редагування та адаптивної зміни композицій. Виникає потреба у розробці нової моделі, яка дозволить автоматично адаптувати елементи колажу, спростити процес редагування та підвищити ефективність роботи користувачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш часто використовуваними технологіями опрацювання зображень є Photoshop Online [1], Canva [3] та Pixlr [7].

Photoshop Online є однією з найпопулярніших онлайн-технологій для редагування графічних зображень. Модель створення колажів у Photoshop Online полягає у формуванні наявними інструментами сітки на полотні. На рис. 1 сітка на полотні зображена у вигляді горизонтальних і вертикальних ліній. Інструментами задається кількість рядків і колонок сітки полотна. Всі колонки мають однакову ширину, і всі рядки мають однакову висоту. Елементи полотна для розташування зображень формуються у вигляді прямокутників, які на рис. 1 а) проілюстровані чорними прямокутниками у білих рамках.

Кожен елемент доданий на полотно, є контейнером для зображення, і розміщується на одному або багатьох елементах сітки. Колаж утворюється розташованими на елементах сітки полотна контейнерами зображень, що показано на рис. 1 б). Проте, така модель колажу має деякі недоліки, головним з яких є відсутність зв'язку між контейнерами зображень. Зміна вимірів контейнера не впливає на зміну вимірів всіх суміжних з ним контейнерів.

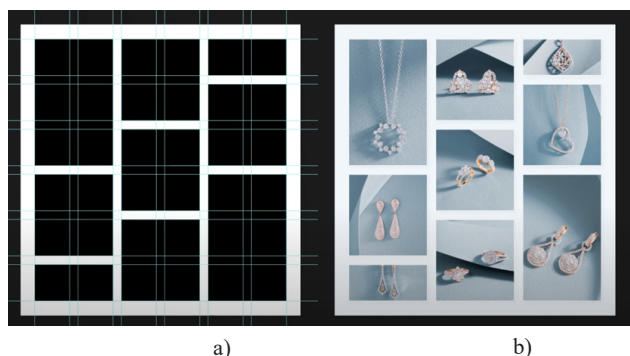


Рис. 1. Полотно із сіткою та контейнерами а), Колаж зображення б)

Canva [3] є іншою онлайн-технологією редагування графічних зображень, яка відрізняється від Photoshop Online тим, що її основна мета – це

допомогти користувачам створювати графічний дизайн з нуля. Шаблони колажів у Canva реалізовані таким чином, що немає зв'язку між елементами колажу, і кожна одиниця цього колажу, є незалежною. На рис. 2 проілюстровано модель утворення колажів системою Canva. Початковий вигляд колажу наведено на рис. 2 а). Колаж після зміни розмірів висоти нижнього контейнера накладається на обидва верхні контейнери (див. рис. 2 б), що потребує необхідності ручної зміни розмірів висоти обох верхніх контейнерів. На рис. 2 с) проілюстровано відсутність зв'язків між фрагментами зображень колажа. Модель колажів у Canva аналогічна моделі колажів Photoshop Online і має такі самі недоліки.

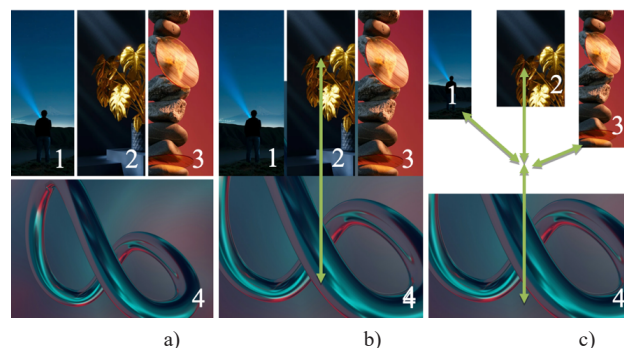


Рис. 2. Колаж в початковому вигляді а), Накладання фрагментів зображень б), Ілюстрація відсутності зв'язків між елементами колажа с)

Pixlr Editor [7] є ще однією популярною онлайн-технологією для редагування графічних зображень. Модель колажів Pixlr Editor полягає у використанні низки наявних шаблонів або застосуванні інструментів для створення оригінальних шаблонів з порожніми контейнерами зображень. Можливі зміни розмірів по одній або обох координатах контейнера. При збільшенні розмірів одного контейнера відбувається накладання збільшеного контейнера на сусідні контейнери. Однак дана модель, як і попередні моделі, не забезпечує зв'язку між сусідніми контейнерами зображень. На рис. 3 проілюстровано модель утворення колажів системою Pixlr Editor. Початковий вигляд колажу наведено на рис. 3 а). Колаж після зміни розмірів контейнера з № 1, знаходиться під контейнерами з № 2, 3, 4 (див. рис. 3 б) тому, що відсутній зв'язок між елементами колажа. Для отримання очікуваного результату необхідно змінити розміри усіх інших елементів колажа вручну.

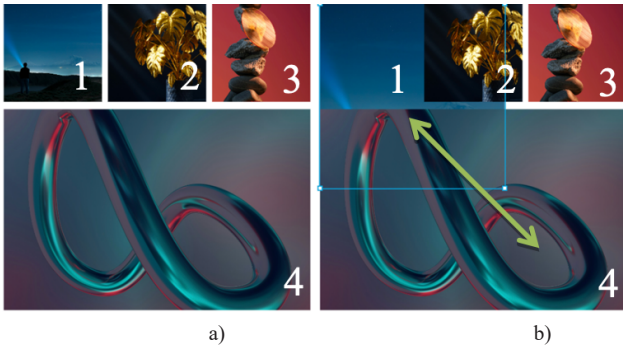


Рис. 3. Колаж в початковому вигляді а), ілюстрація зміни розмірів елемента колажа з № 1, та відсутності зв'язку між елементами з № 2, 3, 4 б)

У науковій літературі існує ряд досліджень, спрямованих на покращення автоматизованих підходів до створення колажів. Одним із таких підходів є AutoCollage [8]. Який полягає у виділенні областей інтересу (ROI) з використанням графового розрізу та згладжування країв для створення візуально привабливих композицій. Цей підхід забезпечує краще використання полотна та підвищує естетичну якість результату, однак все ще має обмеження, пов'язані із втраченою семантичним зв'язку між зображеннями [8].

У дослідженні автори Фернандес Д., Постелс Дж. та Томбарі Ф. представили модель Variational Transformer Network (VTN), яка поєднує варіаційні автокодекери (VAE) з трансформерами для генерації макетів. Основна ідея полягає в тому, щоб навчити модель розподілу макетів без використання жорстко заданих правил дизайну, дозволяючи моделі самостійно вивчати високорівневі взаємозв'язки між елементами макету [9].

Модель складається з двох основних компонентів: енкодера та декодера. Енкодер перетворює вхідні дані макету в латентний простір, використовуючи механізм самоуваги, що дозволяє враховувати взаємозв'язки між елементами. Декодер, також побудований на основі трансформера, відновлює макет з латентного представлення. Формально, енкодер приймає послідовність елементів макету $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ та обчислює параметри розподілу $q(z|x)$, де z – латентне представлення. Декодер моделює умовний розподіл $p(x|z)$, відновлюючи макет з латентного простору. Під час навчання оптимізується варіаційна нижня межа (ELBO):

$$\mathcal{L} = \mathbb{E}_{q(z|x)} [\log p(x|z)] - \mathcal{D}_{KL}(q(z|x) \| p(z)), \quad (1)$$

де $\mathcal{D}_{KL}$ – дивергенція Кульбака-Лейблера між апостеріорним розподілом $q(z|x)$ та апіорним розподілом $p(z)$. Це дослідження демонструє

можливість використання трансформерів у поєднанні з VAE для автоматичної генерації макетів, що дозволяє моделі навчатися складним правилам дизайну без явного нагляду. Такий підхід забезпечує високу схожість з навчальними даними та різноманітність згенерованих макетів, що є важливим для автоматизації процесів дизайну в різних сферах, включаючи створення документів, інтерфейсів користувача та розташування меблів.

У роботі автори Хаді А., Лін Х. та Бала К. досліджують проблему автоматичного розташування декількох фотографій на заданому полотні з високою естетичною якістю. Вони пропонують новий підхід для автоматичної генерації колажів із заданим співвідношенням сторін, вперше впроваджуючи техніку глибокого навчання з підкріпленням у цю сферу [16].

Процес генерації колажу моделюється як послідовність дій агента, який розміщує фотографії на полотні, налаштовуючи їхні просторові позиції, кути орієнтації та порядок розміщення. Агент навчається покращувати як загальний макет, так і локальні деталі, отримуючи винагороду, яка враховує суб'єктивні та об'єктивні фактори естетичної якості. Функція винагороди $R(s)$ розроблена таким чином, щоб враховувати як глобальні, так і локальні аспекти естетики:

$$R(s) = \alpha \cdot Q_{\text{global}}(s) + \beta \cdot Q_{\text{local}}(s), \quad (2)$$

де $Q_{\text{global}}(s)$ – оцінює загальну естетику макету, а Q_{local} – оцінює локальні деталі, такі як перекриття фотографій та їх вирівнювання. Коефіцієнти α та β визначають вагу кожного компонента у загальній оцінці. Для подолання нестачі навчальних даних, автори попередньо навчають глибоку естетичну мережу на великому наборі даних з естетики зображень (CPC) для загального вилучення естетичних характеристик та пропонують модуль злиття уваги для представлення структурних характеристик колажу. Агент навчається за допомогою алгоритму глибокого Q-навчання, оновлюючи свою політику на основі отриманих винагород. Ця робота є першою, яка застосовує глибоке навчання з підкріпленням для задачі генерації естетичних фото-колажів. Запропонований підхід дозволяє автоматично створювати колажі з високою естетичною якістю, перевершуючи інші методи в оцінці естетичної якості.

У дослідженні Хуо Х. та Вонг Ф. досліджують застосування штучного інтелекту для автоматизації процесу дизайну макетів постерів у візуальній комунікації. Вони пропонують систему, яка складається з двох основних модулів: “learner”

(навчальний модуль) та “generator” (генеративний модуль) [11, 1–9].

Навчальний модуль використовує просторову трансформаційну мережу для класифікації елементів макету та визначення їхніх початкових позицій на полотні.

Генеративний модуль застосовує згорткову нейронну мережу для вдосконалення початкового макету, враховуючи принципи дизайну, такі як правило третин та золотий перетин.

Формально, система оптимізує функцію втрат, яка враховує відхилення від естетичних принципів:

$$\mathcal{L} = \sum_{i=1}^n (\alpha \cdot \text{Loss}_{\text{alignment}}(e_i) + \beta \cdot \text{Loss}_{\text{spacing}}(e_i)), \quad (3)$$

де e_i – елемент макету, α та β – вагові коефіцієнти, що визначають важливість відповідних втрат. Це дослідження демонструє, як штучний інтелект може бути інтегрований у процес дизайну постерів, автоматизуючи розміщення елементів та забезпечуючи дотримання естетичних принципів. Це може значно підвищити ефективність дизайнерів та забезпечити високу якість кінцевого продукту.

У роботі авторів Джоу М., Ху С., Ма Й. та інших, представлено систему AutoPoster, яка автоматично генерує рекламні постери, враховуючи зміст вхідних даних. Система складається з чотирьох основних етапів:

- Попередня обробка зображення: аналіз вхідного зображення для вилучення ключових характеристик продукту.
- Генерація макету: використання генеративної моделі для створення оптимального розташування елементів на постері.
- Генерація слогану: створення текстового повідомлення, що відповідає продукту та дизайну постера.
- Налаштування стилю: застосування відповідних кольорових схем та шрифтів для забезпечення естетичної привабливості [17].

Формально, система оптимізує функцію втрат, яка враховує відповідність між зображенням, текстом та макетом:

$$\mathcal{L} = \lambda_1 \cdot \text{Loss}_{\text{image-text}} + \lambda_2 \cdot \text{Loss}_{\text{layout}} + \lambda_3 \cdot \text{Loss}_{\text{style}}, \quad (4)$$

де $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – вагові коефіцієнти для кожного компонента втрат. AutoPoster демонструє можливість повної автоматизації процесу створення рекламних постерів, що враховують зміст продукту. Це дозволяє маркетологам швидко та ефективно створювати візуально привабливі матеріали, зменшуючи потребу в ручній праці.

Flowy – це система, яка підтримує прийняття рішень у UX-дизайні шляхом автоматичного аналізу шаблонів у багатосторінкових користувацьких потоках. Система використовує штучний інтелект для аналізу великих колекцій існуючих інтерфейсів та автоматично анотує дизайн-шаблони, що використовуються в них. Основні етапи роботи системи:

- Збір даних: збирання великої кількості знімків екранів різних додатків.
- Аналіз шаблонів: використання алгоритмів комп’ютерного зору для виявлення та класифікації повторюваних шаблонів дизайну.
- Анотація: автоматичне додавання метаданих до виявлених шаблонів для полегшення їх використання дизайнерами [13].

Flowy допомагає дизайнерам приймати обґрунтовані рішення, надаючи їм доступ до аналізу існуючих шаблонів дизайну. Це сприяє покращенню користувацького досвіду та забезпечує.

У дослідженні авторів Джоу М., Ху С., Ма Й. та інших, представили модель Composition-Aware Graphic Layout GAN (CGL-GAN), яка генерує графічні макети для візуально-текстових презентацій на основі композиції вхідних зображень. Модель враховує як глобальні семантичні, так і просторові характеристики зображень для створення відповідних макетів [17]. Основні компоненти моделі:

1. *Модуль узгодження доменів (Domain Alignment Module, DAM)*: Цей модуль зменшує розрив між навчальними даними (з масками) та тестовими даними (без масок), забезпечуючи узгодженість між ними.

2. *Генератор*: Складається з багатомасштабної згорткової нейронної мережі та трансформера, які разом генерують макети на основі виходів DAM та користувацьких обмежень.

3. *Дискримінатор*: Має подібну структуру до генератора і використовується для навчання моделі.

Функція втрат включає реконструктивну та змагальну складові:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{recon}} + \lambda \mathcal{L}_{\text{adv}}, \quad (5)$$

де $\mathcal{L}_{\text{recon}}$ – реконструктивна втрата, $\mathcal{L}_{\text{adv}}$ – змагальна втрата, а λ – ваговий коефіцієнт. Ця робота демонструє, як врахування композиції зображення може покращити якість згенерованих макетів для візуально-текстових презентацій, що є важливим для автоматизації дизайну рекламних постерів та інших графічних матеріалів.

У роботі авторів Джоу Й., Джинг К., Лі З. та інших, представили модель Element-Conditioned GAN (EcGAN), яка генерує графічні макети, враховуючи задані елементи дизайну, такі як кількість та типи елементів [18]. Кожен елемент представлений у вигляді обмежувального прямокутника (bounding box), а модель включає три ключові компоненти:

Маска елементів (Element Mask): Використовується для представлення присутності або відсутності певних елементів у макеті.

Втрати, обумовлені елементами (Element Condition Loss): Ця функція втрат забезпечує відповідність згенерованого макету заданим умовам щодо елементів.

Двоступеневий дискримінатор (Two-Step Discriminator): Перший дискримінатор оцінює реалістичність макету, а другий перевіряє відповідність макету заданим умовам.

Функція втрат для генератора включає змагальну втрату та втрату, обумовлену елементами:

$$\mathcal{L}_G = \mathcal{L}_{adv} + \lambda \mathcal{L}_{elem}, \quad (6)$$

де $\mathcal{L}_{adv}$ – змагальна втрата, $\mathcal{L}_{elem}$ – втрата, обумовлена елементами, а λ – ваговий коефіцієнт. EcGAN дозволяє генерувати графічні макети, які відповідають заданим умовам щодо елементів дизайну, що є корисним для автоматизації процесу створення макетів з конкретними вимогами.

Дослідження авторів Ші Й., Шанг М. та Кі З. є всебічним оглядом сучасних методів генерації макетів на основі глибоких генеративних моделей, таких як варіаційні автокодери (VAE), генеративні змагальні мережі (GAN) та дифузійні моделі. Автори аналізують різні підходи, їх переваги та недоліки, а також області застосування. Цей огляд надає всебічне розуміння сучасних методів генерації макетів, що є корисним для дослідників та практиків у галузі автоматизації дизайну [15].

Автори Чен Л., Джинг К., Тсанг Й. та Жоу Т. розробили систему Iris, орієнтовану на користувача, яка забезпечує інтерактивне середовище для генерації графічних макетів з урахуванням множинних обмежень. Дизайнер може вказати певні обмеження, такі як вирівнювання елементів або залишення певних областей порожніми, після чого генеративна модель системи пропонує відповідні макети. Цей підхід підкреслює важливість контролю та інтерактивності в практичних умовах, дозволяючи дизайнерам швидко отримувати якісні пропозиції, які відповідають їхнім вимогам [10].

У дослідженні авторів Шабані М., Вонг З. та інших, пропонують модель Visual Layout Composer, яка поєднує дифузійні процеси в образному та векторному доменах для генерації дизайну макетів. Модель одночасно генерує загальний вигляд дизайну в образному домені та оптимізує розміри і позиції кожного елемента дизайну у векторному домені [14]. Цей підхід забезпечує як редагованість векторних елементів, так і високу візуальну якість кінцевого дизайну.

Найбільш поширеною метою таких досліджень є генерація макетів з дотриманням певних естетичних критеріїв, при цьому інструменти користувацького контролю часто є обмеженими або відсутніми. Крім того, моделі, побудовані на нейромережах, як правило, потребують великих обчислювальних ресурсів, мають низьку передбачуваність у поведінці та не дозволяють вручну змінювати структуру композиції після її генерації.

Однак в умовах практичних задач – створення навчальних матеріалів, редагування веб-контенту, адаптації візуальних блоків у багатомовних інтерфейсах тощо – критично важливим є передбачуване, контрольоване редагування, яке гарантує збереження структури при зміні окремих елементів. У цьому контексті особливої актуальності набувають структурні (не AI-залежні) моделі, які орієнтовані не на генерацію, а на ієрархічне представлення і трансформацію вже наявного візуального контенту.

Описана у дослідженні деревовидна модель графічного колажу є саме таким прикладом: вона формалізує структуру композиції у вигляді дерева вкладених об'єктів, що дозволяє зберігати логічну цілісність і взаємозв'язки між елементами під час їх трансформації. Завдяки цьому модель забезпечує:

- Системну узгодженість змін у композиції (наприклад, при зміні розмірів або положення одного блоку автоматично враховуються залежні блоки).

- Масштабованість до великої кількості елементів без втрати керованості.

- Універсальність у застосуванні.

На відміну від популярних онлайн-редакторів (Canva, Photoshop Online, Pixlr Editor), де кожен контейнер функціонує незалежно й зміни в одному елементі вимагають ручної синхронізації з іншими, розроблена деревовидна структура дозволяє автоматизовано підтримувати композиційну цілісність, що значно зменшує трудомісткість та ризик помилок у складних колажах [3; 1; 7].

Таким чином, модель може розглядатись як наукове доповнення до сучасного напрямку досліджень у сфері автоматизованої композиції зображень: вона не залежить від алгоритмів глибокого навчання, натомість пропонує структурну концепцію ієрархії, яка може бути інтегрована як у ручні редактори, так і у гібридні системи, що поєднують генерацію та редагування.

Постановка завдання. Метою статті є підвищення ефективності створення та редагування графічних зображень завдяки розробленню нової, більш гнучкої деревовидної моделі колажів. Розроблена модель побудована на основі структурованих рекурсивних зв'язків між контейнерами зображень, що дозволяє автоматично адаптувати розміри та пропорції усіх взаємопов'язаних елементів композиції при редагуванні одного з них. Це забезпечує суттєве спрощення та пришвидшення процесу внесення змін у графічні колажі порівняно з традиційними моделями, зменшуючи кількість необхідних операцій користувача. Окремою метою дослідження є проведення детального порівняльного аналізу розробленої деревовидної моделі з існуючими рішеннями, які широко використовуються у популярних інформаційних системах Canva, Pixlr Editor та Photoshop Online. Це дозволяє оцінити реальні переваги розробленої моделі, підтвердити її ефективність та доцільність застосування для автоматизації процесів створення і редагування складних графічних композицій у сучасних онлайн-сервісах обробки зображень.

Виклад основного матеріалу. Деревовидна модель складається з чотирьох рівнів, де кожен елемент взаємопов'язаний і впливає на інші компоненти, забезпечуючи автоматичну адаптацію всієї композиції.

Коренем дерева є головний елемент, який знаходиться на першому рівні. Він має максимальні задані розміри графічного зображення з початковим білим кольором фону. Корінь має нульовий коефіцієнт заокругленості з можливістю її динамічної змінюваності. Наявна можливість задання відступів від зовнішніх меж графічного зображення.

На другому рівні вкладеності знаходяться рядки та горизонтальні повзунки. Кількість рядків дорівнює n , а кількість повзунків дорівнює $n - 1$.

На третьому рівні вкладеності в середині рядків, знаходяться або колонки або контейнери зображень, та вертикальні повзунки між ними. Кількість колонок та контейнерів зображень

дорівнює n , а кількість вертикальних повзунків між ними дорівнює $m - 1$.

На четвертому рівні вкладеності розташовані контейнери зображень в середині колонок та горизонтальні повзунки між ними. Кількість контейнерів зображень в середині колонок дорівнює k . А кількість повзунків між ними дорівнює $k - 1$.

В рамках цієї моделі, кожна одиниця цього дерева є незалежним елементом, і важливо відзначити, що ці елементи не просто ізольовані, а взаємодіють між собою, утворюючи складну і високо функціональну структуру. Кожна одиниця цього дерева змінюється пропорційно до інших одиниць, що означає, що внесені зміни в одному елементі автоматично відображаються на всіх інших, які з ним пов'язані. Це надає користувачу надзвичайну гнучкість у створенні та редагуванні графічних композицій, оскільки зміни, внесені в одному місці, автоматично адаптуються та відповідають всій структурі.

Коли колаж односекційний, то він не містить повзунків, які призначені для можливості зміни вимірів секцій. В однорядковому колажі в кожній секції наявний повзунок секції, яким можливо змінювати ширину кожної секції. Повзунки колажа розміщені між секціями. Наприклад, якщо однорядковий колаж утворений п'ятьма секціями, то він міститиме чотири повзунки секцій. Деревовидна модель колажа, яка утворена двома і більше рядками секцій містить міжрядкові повзунки. Повзунок рядка призначений для зміни висоти усіх секцій одночасно, якими утворений рядок. Наприклад, семи рядковий колаж містить шість повзунків рядків. Зміна повзунком секції ширини будь-якої вибраної секції автоматично впливає на виміри усіх інших секцій рядка. Наявні мінімальні і максимальні виміри ширини секцій. Мінімальна ширина секції є однаковою для всіх секцій. Максимальна ширина секції визначається шириною колажа від якої віднімається сума усіх мінімальних секцій рядка. Практично деревовидний колаж може містити десятки, а то й сотні секцій і рядків.

Динамічна зміна параметрів забезпечує ефективне використання простору та адаптацію композиції під потреби користувача.

Таким чином, результати дослідження демонструють, що деревовидна модель дозволяє гнучко керувати розмірами та розташуванням графічних елементів, забезпечуючи високий рівень інтерактивності та адаптивності.

Для реалізації Деревовидної моделі колажів було вибрано фреймворк Angular [2],

а також бібліотеку Fabric.js [5] для зручної роботи з HTML5 Canvas [4] та WebGL [6].

На рис. 4 а) зображено трьохрівневий колаж. На першому рівні, розташований батьківський елемент. На другому рівні знаходяться два рядки, які є дітьми батьківського елемента. На третьому рівні вкладеності знаходяться контейнери зображень, які є дітьми рядків. Контейнери з № 1, 2 та 3 є дітьми першого рядка. Контейнер з № 4 є дитиною другого рядка. Між контейнерами з № 1, 2 та 3 розташовані вертикальні повзунки. Між першим і другим рядком розташований горизонтальний повзунок.

На рис. 4 б) зображена зміна розмірів елементів колажа з № 1 та № 2, на цьому прикладі можемо побачити зв'язок між елементами з № 1 та № 2. Між цими елементами знаходиться вертикальний повзунок який керує зміною розмірів. Після руху повзунка в праву сторону, елемент з № 1 збільшив свою ширину, а елемент з № 2 пропорційно зменшив свою ширину. Елементи з № 3 та № 4 залишилися незміненими.

На рис. 4 с) зображено зміна розмірів елементів колажа з № 1, 2, 3 та 4. На цьому прикладі можемо побачити зв'язок між усіма елементами колажа. Між елементами які знаходяться у 1 та 2 рядках, знаходиться горизонтальний повзунок який керує зміною розмірів висоти. Після руху повзунка вниз, елементи з № 1, 2, 3 збільшили свою висоту, а елемент з № 4 пропорційно зменшив свою висоту.

На рис. 5 а) зображено чотирьох рівневий колаж. На першому рівні, розташований батьківський елемент. На другому рівні знаходяться два рядки, які є дітьми батьківського елемента. На третьому рівні вкладеності знаходяться контейнери зображень з № 1, 2, 3 та 4, які є дітьми першого рядка та колонка з контейнером зображення № 8, які є дітьми другого рядка. На четвертому рівні вкладеності, розташовані контейнери з № 5,

6 та 7, які є дітьми колонки в середині другого рядка. Між контейнерами першого рядка з № 1, 2, 3 та 4 розташовані вертикальні повзунки. Між контейнером зображення з № 8 та колонкою з контейнерами зображень з № 5, 6 та 7, також розташований вертикальний повзунок. Між контейнерами зображень з № 5, 6 та 7 розташовані горизонтальні повзунки, а також між першим і другим рядком розташований горизонтальний повзунок.

На рис. 5 б) зображено зміна розмірів елементів колажа з № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 та 8. На цьому прикладі можемо побачити зв'язок між елементами першого рядка з № 1, 2, 3 та 4, а також елементами другого рядка, колонкою з контейнерами зображень № 5, 6, 7 та окремим контейнером зображення з № 8. Після руху вертикального повзунка в ліву сторону, який розташований між контейнерами з № 3 та № 4, можемо побачити приклад роботи деревовидної моделі. При досяганні контейнером зображення мінімальної ширини, батьківський елемент додає до зміни розмірів наступний елемент рядка, і так до останнього елемента рядка. В залежності від напрямку руху вертикального повзунка, наступним елементом буде елемент напрямку руху цього повзунка.

У другому рядку, зображено приклад зв'язку між елементами колонки. Між колонкою з контейнерами зображення № 5, 6, 7 та контейнером зображення з № 8 також розташований вертикальний повзунок. Після руху цього повзунка у праву сторону, можемо побачити пропорційне збільшення ширини усіх елементів колонки № 5, 6, 7, та зменшення ширини контейнера зображення з № 8.

На рис. 5 с) зображено зміна розмірів висоти елементів колажа з № 5, 6 та 7, на цьому прикладі можемо побачити зв'язок між елементами колонки. Після руху горизонтального повзунка, який розташований між контейнерами з № 5 та

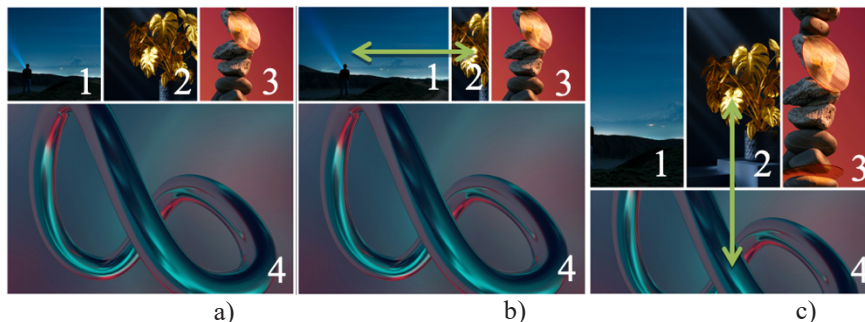


Рис. 4. Трьохрівневий колаж а) та ілюстрації зв'язків між елементами з рухом вертикального б) і горизонтального с) повзунків

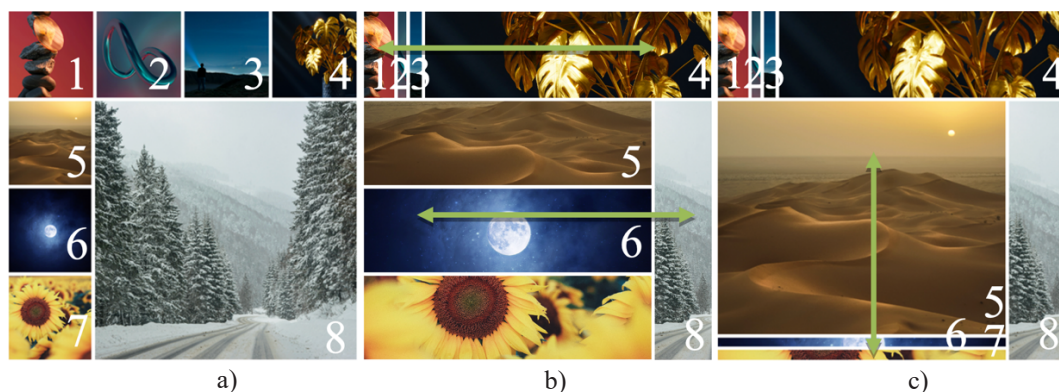


Рис. 5. Ілюстрація чотирьохрівневого колажу в початковому вигляді а), руху повзунка між елементами рядка b) та горизонтального повзунка між елементами колонки c)

№ 6, в напрямку нижньої межі, можемо побачити, що контейнер з № 5 збільшив свою висоту, а контейнери з № 6 та 7 зменшили свою висоту. При досяганні контейнером зображення мінімальної висоти, батьківський елемент додає до зміни розмірів наступний елемент колонки, і так до останнього елемента колонки. В залежності від напрямку руху горизонтального повзунка, наступним елементом буде елемент напрямку руху цього повзунка.

На рис. 6 зображено зміна розмірів висоти елементів колажу з № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 та 8, на цьому прикладі можемо побачити зв'язок між усіма елементами деревовидної моделі. Після руху горизонтального повзунка, який розташований між першим та другим рядком, в напрямку нижньої межі, можемо побачити, що контейнери першого рядка з № 1, 2, 3, 4 пропорційно збільшили свою висоту, а елементи другого рядка (колонка з контейнерами № 5, 6 та 7, а також окремий контейнер зображення з № 8) пропорційно зменшили свою висоту. При досяганні рядком мінімальної висоти, батьківський елемент додає до зміни розмірів наступний рядок, і так до останнього рядка батьківського елемента. В залежності від напрямку руху горизонтального повзунка, наступним рядком буде рядок напрямку руху цього повзунка.

Порівняння за кількістю виконуваних дій, які потрібно виконати для опрацювання колажів відомими моделями і розробленою деревовидною моделлю.

Як видно з рисунка 7 b), відбувається накладання контейнера з № 1 на контейнери зображення з № 2 і № 4. Але подібне накладання не повинно бути присутнім на колажі. Щоб його усунути, необхідно вручну виконати наступні 10 дій:

1. Змінити розміри ширини контейнера зображення з № 1. Виконання цієї дії проілюстроване на рис. 7 b).



Рис. 6. Ілюстрація руху горизонтального повзунка між першим та другим рядком

2. Змінити розміри висоти контейнера зображення з № 1. Виконання цієї дії проілюстроване на рис. 7 c).

3. Змінити розміри ширини контейнера зображення з № 2. Виконання цієї дії проілюстроване на рис. 7 d).

4. Змінити розміри ширини контейнера зображення з № 3. Виконання цієї дії проілюстроване на рис. 7 e).

5. Перемістити по горизонталі вправо контейнер зображення з № 3. Виконання цієї дії проілюстроване на рис. 7 f).

6. Перемістити по горизонталі вправо контейнер зображення з № 2. Виконання цієї дії проілюстроване на рис. 7 g).

7. Змінити розміри висоти контейнера зображення з № 4. Виконання цієї дії проілюстроване на рис. 7 h).

8. Перемістити по вертикалі вниз контейнер зображення з № 4. Виконання цієї дії проілюстроване на рис. 7 i).

9. Змінити розміри висоти контейнера зображення з № 2. Виконання цієї дії проілюстроване на рис. 7 j).

10. Змінити розміри висоти контейнера зображення з № 3. Виконання цієї дії проілюстроване на рис. 7 к).

Після виконання цих дій, бачимо результат наведений на рис. 7 к).

Аналогічно Canva, використання Pixlr Editor, після зміни розмірів елемента колажу теж необхідно виконання 10 описаних дій.

На рис. 8 б), представлено зміну розмірів елемента колажу з № 1 у Деревовидній моделі колажів. Після руху вертикального повзунка між контейнерами з № 1 та № 2, в праву сторону, можемо побачити, що ширина контейнера з розміром № 1 автоматично збільшилась, а ширина контейнера з № 2 автоматично зменшила, а після руху горизонтального повзунка між першим (контейнери

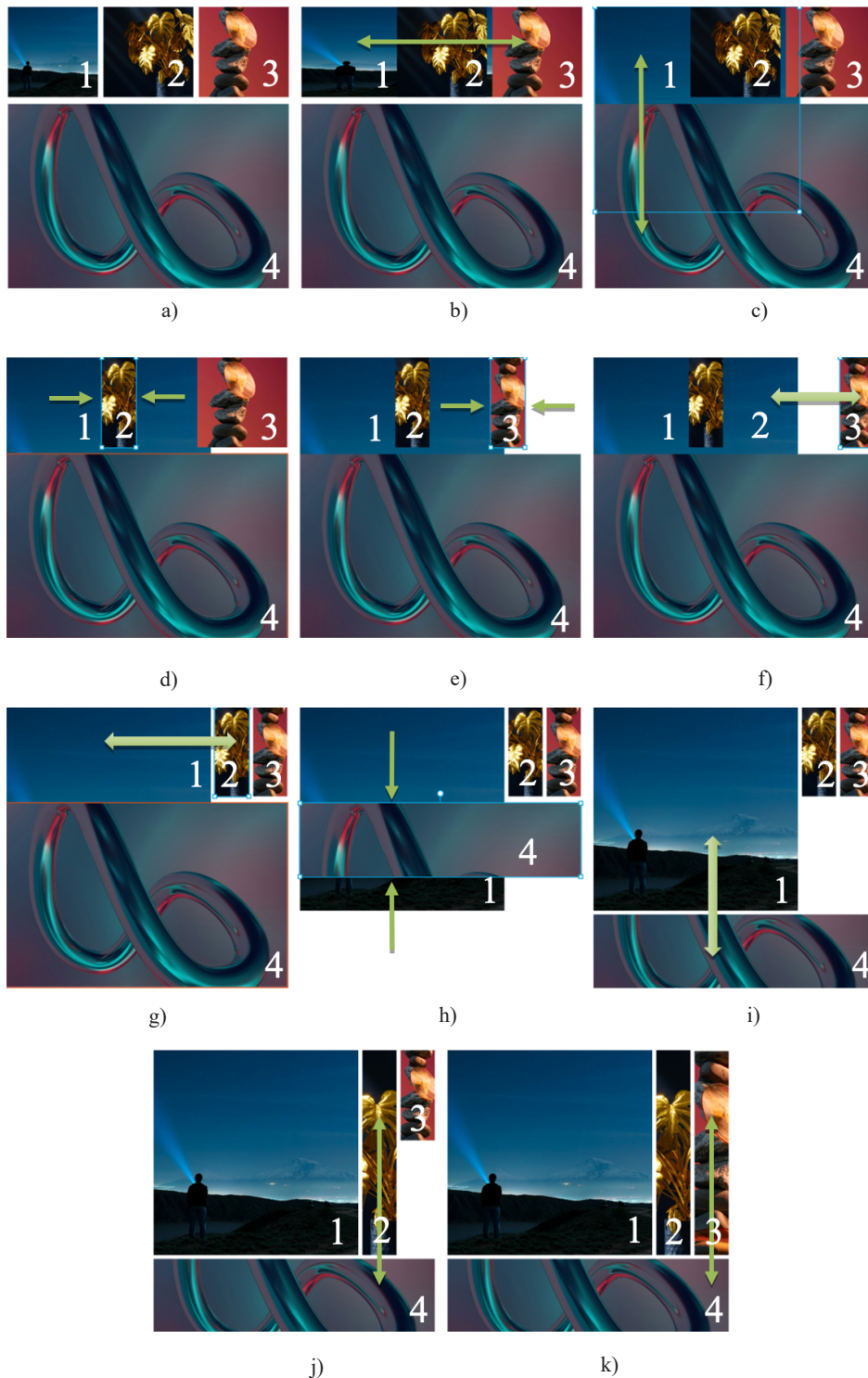


Рис. 7. Зміна елементів колажу в моделі колажів Pixlr Editor

з № 1, № 2, № 3) і другим рядком (контейнер з № 4), висота контейнерів з № 1, 2 та 3 збільшилась, а висота контейнера з № 4 автоматично зменшилась. Тобто, для зміни розмірів контейнера у деревовидній моделі колажів з уникненням накладання одного контейнера на інший, необхідно виконати наступні кроки:

1. Необхідно потягнути повзунок між контейнером зображення з № 1 та № 2. Виконання цієї дії проілюстроване на рис. 8 б).

2. Необхідно потягнути повзунок між першим і другим рядками. Виконання цієї дії проілюстроване на рис. 8 с).

В порівнянні з Canva і Pixlr Editor, дія 1, 3, 4, 5 та 6, а саме необхідність окремої зміни розмірів ширини та переміщення по горизонталі контейнерів зображення з № 2 та № 3 виконується першою дією в Деревовидній моделі колажів. А дія 2, 7, 8, 9 та 10, а саме необхідність окремої зміни висот та переміщення по вертикалі контейнерів зображення з № 2, № 3 та № 4, виконується другою дією в Деревовидній моделі колажів. Отже, завдяки Деревовидній моделі колажів потрібно зробити на 8 дій менше, не потрібно змінювати окремо кожен контейнер, оскільки Деревовидна модель колажів здійснює ці дії автоматично.

Результати дослідження демонструють суттєву перевагу розробленої деревовидної моделі колажів у порівнянні з традиційними методами редагування, представленими у популярних системах Canva та Pixlr Editor. Встановлено, що в цих системах для запобігання накладання контейнерів необхідно вручну виконати до 10 окремих операцій, включаючи зміну розмірів та переміщення кожного елемента композиції окремо. Це значно ускладнює роботу та збільшує витрати часу. Натомість деревовидна модель дозволяє здійснювати аналогічні зміни автоматично за

допомогою двох простих дій – руху вертикального та горизонтального повзунків. Такий підхід дозволяє одночасно коригувати розміри та розташування всіх взаємопов'язаних контейнерів, що суттєво оптимізує процес редагування та знижує трудомісткість у 5 разів. Це сприяє покращенню точності та якості графічних композицій, зберігає логічні зв'язки і пропорції між елементами, автоматизує рутинні дії користувача. Розроблена деревовидна модель може бути ефективно впроваджена в сучасні онлайн-платформи, підвищуючи їх продуктивність, зручність користування та загальну функціональність.

Висновки. У статті створено нову деревовидну модель побудови і опрацювання колажів, яка дозволяє досягти високої гнучкості та узгодженості при створенні і редагуванні графічних композицій. Розроблена модель забезпечує автоматичне пропорційне змінювання пов'язаних елементів колажу: будь-які локальні зміни (розміру контейнера зображення або групи зображень) автоматично впливають на інші елементи, пов'язані через ієрархічну структуру. Це дає змогу користувачеві вносити зміни до композиції мінімальними зусиллями – без необхідності вручну підганяти сусідні частини колажу, як це має місце в традиційних моделях.

Розроблена інформаційна система колажів на базі цієї моделі продемонструвала свою ефективність. Деревовидна структура забезпечує цілісність композиції навіть для складних макетів із багаторівневою вкладеністю елементів. Порівняльний аналіз показав, що використання створеної моделі скорочує кількість дій при редагуванні колажу в середньому вп'ятеро у порівнянні з редагуванням у моделях без зв'язків між елементами. Це не лише прискорює процес, але й зменшує імовірність помилок та підвищує якість кінцевого результату.

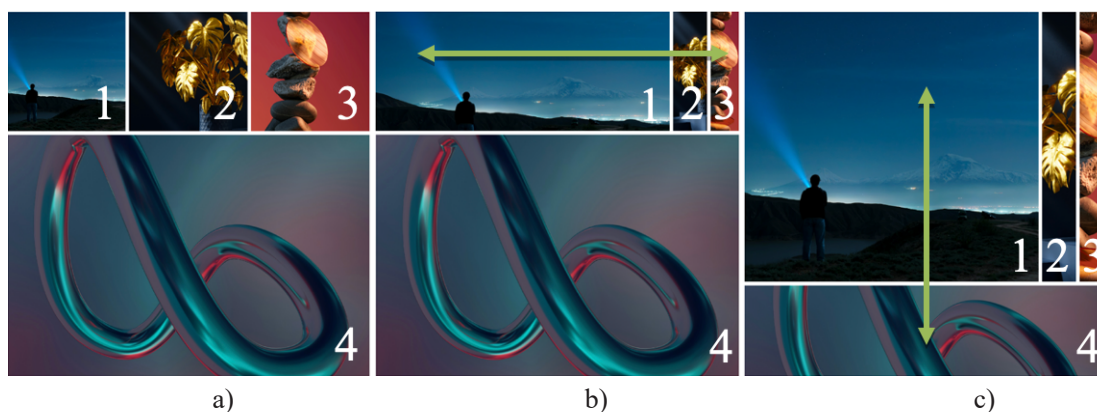


Рис. 8. Зміна елементів колажа в Деревовидній моделі колажів

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення можливостей моделі. Зокрема, цікавим є поєднання деревовидної моделі з автоматизованими алгоритмами розміщення зображень: наприклад, на основі аналізу вмісту зображень або їхніх метаданих (час, місце зйомки) автоматично формувати початкову структуру колажу з кластеризацією тематично близьких зображень, а надалі дозволяти інтерактивне тонке налаштування через описані моделі.

Також перспективним є дослідження адаптації моделі до колажів довільної форми (не тільки прямокутної сітки) та інтеграція з існуючими інструментами графічного дизайну. Розроблена модель може стати основою для створення нових функціональних редакторів колажів, що поєднують автоматизацію і творчий підхід, забезпечуючи користувачам інтуїтивне та ефективне середовище для роботи з великою кількістю зображень.

Список літератури:

1. Adobe Photoshop. (n.d.). Photoshop.adobe.com. <https://photoshop.adobe.com/discover>
2. Angular. 2025. Angular.dev. <https://angular.dev/api>
3. Canva. 2025. Canva. <https://www.canva.com/>
4. Canvas API. 2019. MDN Web Docs. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Canvas_API
5. JSDoc: Home. (n.d.). Fabricjs.com. <http://fabricjs.com/docs/>
6. Mozilla. 2019. WebGL: 2D and 3D graphics for the web. MDN Web Docs. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebGL_API
7. Online Photo Editor | Pixlr Editor. 2019. Pixlr.com. <https://pixlr.com/editor/>
8. Rother C., Bordeaux L., Hamadi Y., Blake A.. AutoCollage. *ACM Transactions on Graphics*. 2006. № 25(3). С. 847–852. DOI: 10.1145/1141911.1141965
9. Fernández D. P., Postels J., Tombari F. Variational Transformer Networks for Layout Generation. 2021. DOI: 10.1109/cvpr46437.2021.01343
10. Chen L., Jing Q., Tsang Y., Zhou T. Iris: a multi-constraint graphic layout generation system. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*. 2024. № 25 (7). С. 968–987. DOI: 10.1631/fitee.2300312
11. Huo H., Wang F. A Study of Artificial Intelligence-Based Poster Layout Design in Visual Communication. *Scientific Programming*. 2022. № 2022. С. 1–9. DOI: 10.1155/2022/1191073
12. Cao Y., Ma Y., Zhou M., Liu C., Xie H., Ge T., Jiang, Y. Geometry Aligned Variational Transformer for Image-conditioned Layout Generation. *Proceedings of the 30th ACM International Conference on Multimedia*. 2022. № 1. С. 1561–1571. DOI: 10.1145/3503161.3548332
13. Lu Y., Tong Z., Zhao Q., Oh Y., Wang B., Li T. J.-J. Flowy: Supporting UX Design Decisions Through AI-Driven Pattern Annotation in Multi-Screen User Flows. *ArXiv (Cornell University)*. 2024. DOI: 10.48550/arxiv.2406.16177
14. Shabani M. A., Wang Z., Liu D., Zhao N., Yang J., Furukawa Y. Visual Layout Composer: Image-Vector Dual Diffusion Model for Design Layout Generation. *2024 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2024. С. 9222–9231. DOI: 10.1109/cvpr52733.2024.00881
15. Shi Y., Shang M., Qi Z. Intelligent layout generation based on deep generative models: A comprehensive survey. *Information Fusion*. 2023. № 100. С. 101940–101940. DOI: 10.1016/j.inffus.2023.101940
16. Hadi AlZayer, Lin H., Bala K. AutoPhoto: Aesthetic Photo Capture using Reinforcement Learning. *2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. 2021. С. 944–951. DOI: 10.1109/iros51168.2021.9636788
17. Zhou M., Xu C., Ma Y., Ge T., Jiang Y., Xu W. Composition-aware Graphic Layout GAN for Visual-Textual Presentation Designs. *Proceedings of the Thirty-First International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 2022. С. 4995–5001. DOI: 10.24963/ijcai.2022/692
18. Zhou Y., Jing Q., Li Z., Shi L., Chen L., Sun L. Element-Conditioned Gan for Graphic Layout Generation. 2023. DOI: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4648075>

Kordiuk R.I. TREE-LIKE COLLAGE MODEL OF INFORMATION SYSTEM

A comprehensive analysis of existing collage models utilized in popular information systems such as Canva, Pixlr Editor, and Online Photoshop was conducted. The study revealed that current collage models lack structured relationships between constituent elements. This significantly limits capabilities for editing and flexibly modifying images within a single collage.

A new collage model based on a tree-like structure has been developed. The proposed model features four levels of nesting. The root of the tree is the primary element, positioned at the first level, defined by maximum predetermined dimensions for the graphic image, with the possibility to set margins from the outer boundaries

of the graphic image and a zero rounding coefficient that can be dynamically adjusted. At the second level of nesting are rows and horizontal sliders. Columns or image containers, along with vertical sliders between them, are located within rows at the third level. The fourth level of nesting includes image containers situated inside columns, separated by horizontal sliders.

The introduced interactive relationships between collage elements form a complex and highly functional structure. Each tree element adjusts proportionally relative to other elements, ensuring that modifications to one element automatically reflect across all associated elements. This offers users exceptional flexibility in creating and editing graphical compositions, as changes made in one part of the collage automatically adapt throughout the entire structure.

A comparative analysis between the developed tree-like model and existing collage models demonstrated significant advantages. Implementing the tree-like model optimizes the collage workflow, reducing the number of required actions by a factor of five. This not only decreases editing time but also enhances the accuracy and quality of the final product, which is crucial when creating complex graphical compositions.

Key words: collage, tree-like collage model, graphic image, image container.