

Технічні науки

УДК 004.8:004.932:685.3

Довжанин Юлія Василівна

бакалавр кафедри комерційного права

Пан'європейський університет

Dovzhanyn Yuliia

Bachelor of Law, Department of Commercial Law

Pan-European University

ORCID: 0009-0005-7600-8601

**АНАЛІЗ ОБЛИЧЧЯ ЗА ДОПОМОГОЮ AI: НОВИЙ РІВЕНЬ
ІНДИВІДУАЛІЗАЦІЇ МАКІЯЖУ
AI-POWERED FACE ANALYSIS: A NEW LEVEL OF MAKEUP
INDIVIDUALIZATION**

***Анотація.** Стаття є дослідженням застосування технологій штучного інтелекту (AI) для індивідуалізації макіяжу, що відкриває нові можливості у сфері персоналізованої косметології та візажу. Розглянуто основні методи комп'ютерного зору. Охарактеризовано застосування глибоких нейромережевих моделей, зокрема згорткових нейронних мереж (CNN), генеративно-змагальних мереж (GANs) та алгоритмів машинного навчання (Random Forest, SVM), для автоматизованого аналізу морфологічних особливостей обличчя та підбору оптимальних косметичних засобів. Особливу увагу приділено інтеграції AI-технологій із доповненою реальністю (AR). Проаналізовано ключові технічні аспекти, включаючи швидкість рендерингу, якість візуалізації текстур косметичних продуктів та методи взаємодії користувача з AR-системами, що базуються на UX / UI-дизайні. У статті також розглянуто виклики та обмеження використання AI у косметологічній індустрії. Проаналізовано проблему алгоритмічної упередженості при*

розпізнаванні різних етнічних і гендерних особливостей, загрози конфіденційності біометричних даних та технологічні бар'єри, пов'язані з продуктивністю мобільних пристроїв і обчислювальними потужностями AI-моделей. Визначено перспективи розвитку персоналізованих AI-систем у сфері косметології, зокрема створення гібридних нейромережових моделей, що поєднують AI-аналіз із експертними знаннями у сфері дерматології та візажу, впровадження адаптивних систем, які враховують зміну освітлення, модні тенденції та фізіологічний стан шкіри користувача, а також інтеграцію AI-аналізу обличчя з технологіями Інтернету речей (IoT), зокрема розумними дзеркалами та косметикою з біосенсорами. Отримані результати можуть бути використані для подальшого розвитку персоналізованих beauty-tech рішень, удосконалення AR-додатків та розробки нових методів цифрової косметології.

Ключові слова: штучний інтелект, макіяж, комп'ютерний зір, нейромережові моделі, рендеринг, користувач, AI-моделі.

Summary. The article is a study on the application of artificial intelligence (AI) technologies for makeup individualization, opening new possibilities in the field of personalized cosmetology and makeup artistry. The main methods of computer vision are considered. The application of deep neural network models, including convolutional neural networks (CNNs), generative adversarial networks (GANs), and machine learning algorithms (Random Forest, SVM), for automated analysis of facial morphological features and selection of optimal cosmetic products is characterized. Special attention is given to the integration of AI technologies with augmented reality (AR). Key technical aspects are analyzed, including rendering speed, the quality of cosmetic product texture visualization, and user interaction methods with AR systems based on UX / UI design. The article also examines challenges and limitations of AI use in the cosmetology industry. Issues of algorithmic bias in

recognizing different ethnic and gender characteristics, threats to biometric data confidentiality, and technological barriers related to mobile device performance and AI model computational capacity are analyzed. The prospects for the development of personalized AI systems in cosmetology are identified, including the creation of hybrid neural network models that combine AI analysis with expert knowledge in dermatology and makeup, the implementation of adaptive systems that consider lighting changes, fashion trends, and the physiological condition of the user's skin, as well as the integration of AI-based facial analysis with Internet of Things (IoT) technologies, such as smart mirrors and cosmetics with biosensors. The obtained results can be used for further development of personalized beauty-tech solutions, the improvement of AR applications, and the creation of new digital cosmetology methods.

Key words: *artificial intelligence, makeup, computer vision, neural network models, rendering, user, AI models.*

Сучасні досягнення у сфері штучного інтелекту (AI) та комп'ютерного зору спричинили трансформаційні зміни в індустрії краси, зокрема в галузі персоналізованого макіяжу. Застосування алгоритмів глибинного навчання, аналізу зображень і нейромережових моделей дає змогу здійснювати детальний розбір морфологічних характеристик обличчя, ідентифікувати унікальні особливості шкіри та визначати оптимальні косметичні рішення для кожного користувача.

Інтелектуальні системи аналізу обличчя ґрунтуються на багатофакторному підході, що включає обробку кольорових спектрів, виявлення текстури шкіри, оцінку симетрії та ідентифікацію змін, спричинених віковими або екологічними чинниками. Використання таких методів у поєднанні з рекомендаційними алгоритмами дозволяє розробити індивідуальні стратегії макіяжу, адаптовані не лише до фізіологічних

характеристик, а й до контекстуальних факторів, таких як освітлення, стиль або культурні уподобання [2, с. 1205].

Комп’ютерний зір (Computer Vision, CV) є фундаментальною складовою технологій автоматизованого аналізу обличчя, що базується на алгоритмах обробки зображень та відеопотоків. Основними методами, що застосовуються в цій сфері, є:

- Розпізнавання обличчя (Face Recognition) – алгоритмічний процес ідентифікації та верифікації осіб шляхом порівняння унікальних біометричних ознак. Реалізується за допомогою глибоких згорткових нейронних мереж (CNN), таких як FaceNet, ArcFace, або DeepFace, які здатні екстрагувати високорівневі особливості обличчя у багатовимірному просторі ознак.
- Виявлення контурів обличчя (Facial Landmark Detection) – процес локалізації ключових анатомічних точок (наприклад, кути очей, лінія носа, контури губ) для аналізу симетрії, форми обличчя та його морфологічних характеристик. Популярні моделі, такі як MediaPipe Face Mesh або OpenFace, забезпечують точність відстеження до 468 ключових точок.
- Аналіз текстури шкіри (Skin Texture Analysis) – методика визначення дерматологічних параметрів (вологість, пористість, рівномірність тону) шляхом застосування технік спектрального аналізу, хвильових перетворень (Wavelet Transform) та алгоритмів Segment Anything Model (SAM) для виявлення мікронеоднорідностей шкіри [1].

Застосування методів машинного навчання (Machine Learning, ML) забезпечує автоматизований аналіз та прогнозування відповідних косметичних рішень на основі обробки багатовимірних наборів даних. Ключові алгоритмічні підходи включають:

- Глибокі нейронні мережі (Deep Neural Networks, DNNs) – використання згорткових (CNN) та рекурентних (RNN, LSTM) архітектур для розпізнавання особливостей обличчя, моделювання вікових змін і прогнозування оптимальних схем макіяжу.
- Генеративно-змагальні нейромережі (Generative Adversarial Networks, GANs) – застосування моделей на основі змагання двох нейромереж (генератора та дискримінатора) для реалістичної симуляції шкірних покривів, персоналізації AR-макіяжу та створення високоякісних синтетичних зображень.
- Random Forest (RF) та Support Vector Machines (SVM) – алгоритми класичного машинного навчання, що використовуються для класифікації типів шкіри (суха, жирна, комбінована, проблемна) на основі гістограми кольорових характеристик та текстурних параметрів (LBP, Gabor-фільтри) [3, с. 180].

Слід зазначити, що ефективність AI-моделей для аналізу обличчя значною мірою залежить від якості та обсягу навчальних вибірок, адже обробка великих масивів даних забезпечує точність і стійкість алгоритмів до варіативності зовнішніх чинників. Одним із ключових аспектів цього процесу є створення та використання спеціалізованих датасетів, що містять різноманітні морфологічні характеристики та текстурні особливості обличчя. Популярні набори даних, такі як CelebA, FFHQ (Flickr-Faces-HQ), MS-Celeb – 1M, слугують основою для навчання нейронних мереж, надаючи широкий спектр зображень з урахуванням вікових, гендерних, етнічних та дерматологічних відмінностей.

Не менш важливою складовою є попередня обробка даних, що включає такі етапи, як нормалізація кольорів, усунення нерівномірностей освітлення та тіней, а також збільшення вибірки (data augmentation) для компенсації недостатньої репрезентативності окремих груп користувачів. Використання методів аугментації, зокрема віддзеркалення,

масштабування, поворотів і змін контрастності, дозволяє створити стійкіші моделі, здатні коректно аналізувати обличчя в реальних умовах. Крім того, вирівнювання обличчя на основі ключових точок дозволяє стандартизувати вхідні зображення, що сприяє підвищенню точності алгоритмів розпізнавання.

Водночас, питання обробки біометричних даних тісно пов’язані з етичними аспектами та конфіденційністю, оскільки використання AI для персоналізованого аналізу зовнішності передбачає доступ до чутливої інформації. Це зумовлює необхідність дотримання міжнародних стандартів захисту персональних даних, таких як General Data Protection Regulation (GDPR) у Європейському Союзі та California Consumer Privacy Act (CCPA) у США. Забезпечення відповідності цим нормативним актам вимагає впровадження механізмів анонімізації, обмеження доступу до збережених даних і прозорості алгоритмічних рішень. Окрім юридичних аспектів, також важливо враховувати питання упередженості моделей, яка може виникати через нерівномірний розподіл навчальних даних, що, у свою чергу, впливає на об’єктивність результатів AI-аналізу [4].

Аналіз обличчя за допомогою штучного інтелекту, заснований на методах комп’ютерного зору та машинного навчання, відкриває нові можливості для персоналізованих рекомендацій у сфері косметології та б’юті-індустрії. Завдяки глибокому аналізу морфологічних характеристик, текстурних особливостей шкіри та біометричних параметрів, сучасні AI-моделі здатні не лише розпізнавати та класифікувати типи обличчя, але й оптимізувати вибір засобів декоративної косметики відповідно до індивідуальних особливостей користувача. У цьому контексті ключову роль відіграє індивідуалізація макіяжу, що базується на глибокому аналізі структурних і колористичних параметрів зовнішності, інтеграції рекомендаційних систем та адаптації результатів до конкретних дерматологічних умов.

Морфологічний аналіз обличчя є критично важливим етапом у процесі автоматизованого підбору макіяжу. Він базується на алгоритмах глибокого навчання, що використовують згорткові нейронні мережі (CNN) для визначення ключових анатомічних характеристик:

- **Форми обличчя** – AI-моделі аналізують співвідношення довжини та ширини лобової, виличної та нижньощелепної зони для класифікації обличчя за стандартними типами (овальне, кругле, квадратне, серцеподібне тощо). Використання кластеризаційних методів, таких як K-means або DBSCAN, дозволяє автоматизувати визначення унікальних морфологічних патернів.
- **Симетрії обличчя** – шляхом аналізу розташування основних реперних точок (наприклад, медіальної лінії, позиції очей і губ) оцінюється ступінь симетричності обличчя. Використання методів Principal Component Analysis (PCA) та Eigenfaces дозволяє встановити рівень відхилення від ідеальної симетрії, що впливає на стратегічний вибір макіяжних технік.
- **Пропорційних характеристик окремих елементів** – автоматизований аналіз розміру очей, губ і носа відносно загальних параметрів обличчя дозволяє підібрати оптимальні прийоми макіяжу для корекції або акцентування певних рис. Наприклад, AI може рекомендувати затемнення певних зон контурингом для візуального зменшення об’єму або застосування хайлайтерів для підкреслення природних контурів [6].

Підбір декоративної косметики є багатофакторним завданням, що включає аналіз відтінку шкіри, кольору очей, волосся та загальних особливостей колористики. Сучасні алгоритми глибокого навчання використовують колірні моделі (RGB, HSV, Lab) у поєднанні з

класифікаційними алгоритмами для оптимізації вибору колористичних рішень.

AI використовує спектральний аналіз та згорткові нейронні мережі для ідентифікації холодного, теплого або нейтрального підтона. Алгоритми, такі як Gaussian Mixture Models (GMM), дозволяють точно класифікувати мікропігментні варіації.

Також AI оцінює рівень контрасту між тоном шкіри, кольором волосся та очей, що дає змогу підібрати косметику, яка гармонійно поєднується з природною палітрою користувача. Наприклад, методи гібридного навчання, що поєднують Random Forest та Gradient Boosting, використовуються для персоналізованих рекомендацій палітри тіней, рум'ян та помади.

AI-алгоритми враховують інтенсивність і спектральний склад освітлення, що може змінювати візуальне сприйняття макіяжу. Використання рекурентних нейронних мереж (RNN) дає змогу передбачити корекції кольорових параметрів залежно від денного, штучного або змішаного освітлення [8].

Індивідуалізований підбір макіяжу передбачає не лише вибір кольорів, а й аналіз складу косметичних засобів відповідно до дерматологічного стану шкіри користувача. Рекомендаційні системи базуються на багатовимірному аналізі дерматологічних характеристик та застосуванні алгоритмів collaborative filtering та content-based filtering.

Аналіз стану шкіри – AI оцінює рівень зволоженості, наявність пігментації, акне або ознак старіння шляхом спектрального аналізу та порівняння з еталонними дерматологічними базами даних. Для цього використовуються сегментаційні алгоритми, такі як U-Net або DeepLabV3, що дозволяють виділяти проблемні зони та рекомендувати відповідні косметичні продукти.

Персоналізація рекомендацій на основі історичних даних – AI-системи враховують історію використання косметики, алергічні реакції та рівень задоволеності користувача, що дає змогу створювати динамічні моделі рекомендацій. Використання reinforcement learning дозволяє адаптувати алгоритм відповідно до змін у стані шкіри та сезонних факторів [7, с. 39–40].

Подальший розвиток технологій індивідуалізації макіяжу за допомогою штучного інтелекту зосереджується не лише на вдосконаленні рекомендаційних систем, а й на інтеграції AI-аналізу обличчя з доповненою реальністю (AR), що дозволяє користувачам тестувати косметику віртуально ще до її фізичного застосування. Завдяки розвитку глибоких нейромереж і зростанню обчислювальних можливостей мобільних пристроїв сучасні AR-системи забезпечують точне накладання макіяжу з реалістичною симуляцією текстур, світлотіньових переходів та інтерактивних ефектів. Оптимізовані архітектури нейронних мереж, такі як MobileNetV3 та EfficientNet, підвищують швидкість рендерингу та продуктивність, а багатошарові згорткові нейромережі (CNN) у поєднанні з рекурентними мережами (LSTM) дозволяють адаптувати макіяж до змін міміки й положення голови в реальному часі. Для імітації текстур косметики застосовуються Generative Adversarial Networks (GANs), що створюють реалістичні ефекти, враховуючи освітлення та особливості шкіри. Додатково рендерингові технології моделюють фізичні властивості косметики, такі як матовість, глянцевість і розсіювання світла, що наближає віртуальне зображення до реального результату [5, с. 143–144].

Ефективність систем віртуального тестування макіяжу значною мірою залежить від дизайну користувацького інтерфейсу (UI) та досвіду взаємодії (UX).

Основним UX-завданням є забезпечення інтуїтивної взаємодії з AR-фільтрами без необхідності складних налаштувань. Сучасні додатки

використовують автоматичне розпізнавання обличчя та реальну візуалізацію продуктів без потреби ручного регулювання параметрів, що значно підвищує зручність користування.

Крім того, важливим фактором є адаптація AR-фільтрів до різних типів пристроїв, зокрема мобільних телефонів, планшетів та AR-окулярів. Для цього використовуються кросплатформенні програмні рішення на основі ARKit (Apple), ARCore (Google) та WebAR, які забезпечують підтримку віртуальної примірки макіяжу без встановлення додаткових додатків.

Ще одним аспектом є взаємодія з рекомендаційними системами, яка дозволяє користувачам не лише приміряти макіяж, але й отримувати персоналізовані рекомендації косметичних засобів, враховуючи індивідуальні особливості шкіри, тип обличчя та кольорові характеристики. Це передбачає інтеграцію AR-платформ з великими базами даних косметичних продуктів, що використовують NLP-алгоритми для аналізу описів та відгуків про товари [2, с. 1207].

Глибокі нейронні мережі відіграють ключову роль у підвищенні реалістичності AR-фільтрів, оскільки саме вони забезпечують точне накладання косметичних текстур та динамічну адаптацію макіяжу до освітлення та рухів обличчя.

Основні нейромережеві моделі, що використовуються:

1. StyleGAN та Pix2Pix – дозволяють генерувати високоякісні візуальні ефекти, імітуючи текстури косметики відповідно до природного вигляду шкіри.
2. U-Net та DeepLabV3+ – забезпечують точне сегментування обличчя, що дозволяє правильно розташовувати косметичні ефекти відповідно до анатомічних контурів.

3. ResNet та Vision Transformers (ViT) – використовуються для покращення точності розпізнавання та усунення артефактів при накладанні макіяжу на обличчя в русі.

Одним із найважливіших аспектів є моделювання взаємодії світла з текстурами косметики, що дозволяє створювати ефекти, такі як глянцекий блиск губної помади, переливи хайлайтера або матовість тонального крему. Використання технології Physically-Based Rendering (PBR) у поєднанні з глибокими неймережами дозволяє реалістично відтворювати такі ефекти, забезпечуючи їхню коректну інтеграцію у відео потік [1].

Незважаючи на значний прогрес у розробці AI-алгоритмів для аналізу обличчя та індивідуалізації макіяжу, технологія залишається вразливою до проблем точності та упередженості. Зокрема, моделі можуть демонструвати різні рівні ефективності залежно від етнічної приналежності, гендерних характеристик та унікальних морфологічних особливостей обличчя. Це обумовлено дисбалансом у навчальних вибірках, де домінують певні типи зовнішності, що може призводити до некоректних рекомендацій або неточностей у віртуальному тестуванні макіяжу. Використання методів доменної адаптації та стратегії розширення вибірки (data augmentation) є критично важливими для мінімізації таких ризиків та забезпечення універсальності AI-моделей.

Окрім питання алгоритмічної неупередженості, ключовим викликом залишається забезпечення конфіденційності персональних даних, оскільки аналіз обличчя передбачає обробку біометричних характеристик, що підпадають під суворі регуляторні норми (GDPR, CCPA). Не менш важливими є технологічні обмеження: складні моделі глибокого навчання потребують значних обчислювальних ресурсів, що може ускладнювати їх інтеграцію у мобільні пристрої з обмеженою продуктивністю. Оптимізація AI-алгоритмів через квантово-ефективні архітектури, такі як MobileNet або

NASNet, а також використання хмарних обчислень є перспективними напрямками для подолання цих бар'єрів [8].

Перспективи розвитку AI-технологій в індивідуалізації макіяжу спрямовані на створення гібридних нейромережових моделей, що поєднують алгоритми глибокого навчання з експертними системами у сфері косметології. Такий підхід дозволить не лише аналізувати морфологічні особливості обличчя, але й враховувати дерматологічний стан шкіри, фізіологічні характеристики та рекомендації професійних візажистів. Використання багаторівневих моделей, що комбінують конволюційні нейромережі (CNN) для візуального аналізу та трансформерні архітектури для інтерпретації текстових описів і модних трендів, сприятиме підвищенню точності та персоналізації рекомендацій.

Іншою важливою тенденцією є розвиток адаптивних AI-систем, здатних коригувати макіяж залежно від умов освітлення, поточних подій або динамічних змін у стилі користувача. У поєднанні з технологіями Інтернету речей (IoT) такі системи можуть інтегруватися з розумними дзеркалами, оснащеними біосенсорами, що аналізують стан шкіри, рівень зволоженості та навіть емоційний стан користувача. Інтерактивна косметика, що адаптується в реальному часі, відкриває нові можливості для beauty-індустрії, зокрема через синхронізацію AI-аналізу обличчя з персоналізованими рекомендаціями та автоматичним налаштуванням декоративної косметики для досягнення оптимального результату [3, с. 185].

Отже, розвиток технологій штучного інтелекту та комп'ютерного зору сприяв появі нової парадигми в індивідуалізації макіяжу, що базується на точному аналізі морфологічних особливостей обличчя, автоматизованому підборі кольорової гами та інтеграції з доповненою реальністю. Попри досягнутий прогрес, ключовими викликами залишаються питання точності AI-моделей, їхньої неупередженості,

захисту біометричних даних та технологічних обмежень, пов’язаних із продуктивністю мобільних пристроїв. Подальші дослідження мають зосередитися на вдосконаленні гібридних нейромережевих моделей, адаптивних AI-систем та інтеграції аналізу обличчя з IoT для створення інтелектуальних beauty-технологій із високим рівнем персоналізації.

Література

1. Chakraborty D., Polisetty A., Sowmya G. Unlocking the potential of AI: Enhancing consumer engagement in the beauty and cosmetic product purchases. *Journal of Retailing and Consumer Services*. 2024. Vol. 79. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2024.103842>; URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969698924001383> (дата звернення: 10.02.2025).
2. Charllo B. AI-Driven Beauty: The Future of personalized cosmetic innovation. *Journal of Artificial Intelligence Machine Learning and Data Science*. 2022. №1 (1). pp. 1204–1208. <https://doi.org/10.51219/JAIMLD/bala-vignesh-charllo/278>.
3. Díaz D. et al. A machine learning approach for modeling safety stock optimization equation in the cosmetics and beauty industry. *Advances in Computational Intelligence*. 2021. pp. 173–186. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-89817-5>.
4. *How AI Brings Next Level Personalization to the Personal Care Industry: вебсайт*. URL: <https://www.dkshdiscover.com/pt/articles/how-ai-brings-next-level-personalization-to-the-personal-care-industry/artificial-intelligence> (дата звернення: 08.02.2025).
5. Kryvoruchko O., Bebeshko B., Khorolska K. et al. Artificial intelligence face recognition for authentication. *Технічні науки та технології*. 2020. № 2 (20). С. 139–148.

6. Movahedi S. AI-Powered Personalized Skincare Analysis for Enhanced Skin Health. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/382659454_AI-Powered_Personalized_Skincare_Analysis_for_Enhanced_Skin_Health (дата звернення: 09.02.2025).

7. Salsky E. Personalization in Beauty Tech Using AI and AR. Investigating Consumer Behaviour and Benefits of Personalization in Beauty. 2020. 61 p.

8. *The Evolution of Beauty: Exploring the Transformative Impact of Artificial Intelligence on the Makeup Industry*: вебсайт. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/evolution-beauty-exploring-transformative-impact-r8wae> (дата звернення: 10.02.2025).