

Виконання ізольоване (обмежений builtins, лише pd та as\_df). Результат перетворюється на прев'ю (до 10 рядків) і коротку текстову відповідь; у лог записуються питання, код, часові мітки, використані колонки.

Зберігання: метадані користувачів і історія — SQLite; дзеркало подій — MongoDB (асинхронно через Motor) для подальшої аналітики. Сесійний cookie SID прив'язує кошик таблиць до браузера; JWT у заголовку Authorization керує правами. Передбачено ендпоїнти /auth/\*, /api/upload, /api/ask, /api/history, /api/dashboard. Додатково реалізовано авто-«гарячий» фікс поширених помилок (to\_frame → as\_df) без порушення політик.

### Результати

Платформа забезпечує роботу «відразу після завантаження файлу»: користувач формулює питання, отримує табличний фрагмент та короткий підсумок; гість обмежений простими метриками, авторизований користувач — повним набором аналітичних операцій pandas. У середньому час планування й генерації коду становить соті-десятки мілісекунд (без урахування LLM), виконання — від десятків мілісекунд до кількох сотень (залежно від розміру таблиці). Журнал дій забезпечує відтворюваність і аудит.

### Висновки

Запропоновано цілісну систему аналітики табличних даних із натуральномовним інтерфейсом, де безпека виконання коду і відтворюваність є базовими властивостями. Поєднання AST-політик, ролей і журналювання робить рішення придатним для навчальних, дослідницьких і бізнес-сценаріїв. Подальші роботи: інтеграція векторного пошуку для текстових колонок, розширення бібліотеки візуалізацій, масштабування сховищ історії та тонке керування семантикою домену (словник метрик/псевдоніми).

### Список використаної літератури

- [1] McKinney W. Python for Data Analysis. 3rd ed. O'Reilly, 2022.
- [2] RFC 7519: JSON Web Token (JWT). IETF, 2015.
- [3] Tiwari P., et al. Natural Language to SQL: A Systematic Literature Review. Information Systems, 2023.
- [4] LangChain Documentation: Agents, Tools, and Retrieval. 2024–2025.
- [5] Douze M., Jégou H. FAISS: A Library for Efficient Similarity Search. arXiv, 2024.

УДК: 004.8

## НЕЙРОМЕРЕЖЕВА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ МАКРОСТРУКТУРИ ТКАНИН ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Залуцька О.О., Мазурець О.В.

(zalutsk.olha@gmail.com, exe.chong@gmail.com)

*Хмельницький національний університет (Україна)*

*Запропоновано нейромережеву технологію аналізу макроструктури тканин, що побудована на архітектурі EfficientNet-V0, для неінвазивного визначення співвідношення синтетичних і натуральних волокон у текстильних матеріалах. Проведено навчання моделі на спеціалізованому наборі даних, що охоплює три інтервали синтетичної складової (30–50 %, 50–70 %, 70–100 %), сформовані на основі мікрозображень тканин з контрольованими умовами освітлення. Отримано результати за основними метриками: Accuracy = 0.927, F1 = 0.932, що підтверджує практичну придатність моделі до автоматизованих виробничих систем реального часу. Модель продемонструвала чутливість до макротекстурних відмінностей і здатність узагальнювати структуру тканин, забезпечуючи розпізнавання крайових і проміжних класів синтетичної складової. Запропонована технологія може бути інтегрована у роботизовані системи технічного зору для автоматизованого сортування, контролю якості та рециклінгу текстилю, що сприяє розвитку інтелектуальних виробничих комплексів і підтримує концепцію циркулярної економіки.*

Інтенсивний розвиток технологій глибинного навчання в останні роки створює передумови для інтеграції методів штучного інтелекту в автоматизовані виробничі процеси. Зокрема, у текстильній промисловості постає завдання неінвазивного аналізу складу тканин, що має ключове значення для забезпечення ефективного сортування, контролю якості та подальшої переробки матеріалів [1]. Традиційні спектральні або хімічні методи, хоча й забезпечують високу точність визначення вмісту волокон, залишаються трудомісткими, дорогими й часто руйнівними для зразків. Тому особливої актуальності набувають технології, що ґрунтуються на комп'ютерному зорі та глибинних нейронних мережах [2], які здатні виявляти характерні текстурні ознаки матеріалів і класифікувати їх за візуальними параметрами.

Запропонована нейромережева технологія аналізу макроструктури тканин реалізує неінвазивний підхід до визначення відсоткового співвідношення синтетичних і натуральних волокон на основі цифрових зображень поверхні зразків. Вона формує інформаційне підґрунтя для побудови інтелектуальних виробничих систем, що працюють у режимі автоматизованого технічного зору. Основою технології є модель глибинного навчання EfficientNet-B0, яка поєднує компактність архітектури з високою продуктивністю, забезпечуючи баланс між глибиною, шириною та роздільною здатністю мережі. Технологічний процес охоплює всі етапи перетворення даних: від отримання макрозображень тканин за допомогою цифрового мікроскопа до автоматизованої класифікації з визначенням імовірності належності зразка до певного інтервалу синтетичної складової. Для навчання моделі використовувався власноруч сформований набір даних, що містить зображення тканин із трьома рівнями синтетичного волокна 30–50, 50–70 та 70–100 відсотків. Зразки було отримано від виробників і сфотографовано за контрольованих умов освітлення, що забезпечило стабільність текстурних характеристик. Такі параметри дозволили моделі зосередитися на суттєвих відмінностях макроструктури, пов'язаних зі змінами вмісту синтетичних волокон.

Архітектура EfficientNet-B0 базується на філософії збалансованого масштабування мережевих параметрів. На відміну від традиційних CNN [3], які збільшують кількість шарів або фільтрів без урахування пропорцій, ця модель використовує єдиний коефіцієнт масштабування, що рівномірно змінює глибину, ширину та роздільну здатність. Такий підхід дозволяє досягти високої точності за мінімального споживання обчислювальних ресурсів, що є критично важливим для промислових систем із обмеженими обчислювальними можливостями. У межах експерименту модель навчалася із використанням оптимізатора Adam, функції втрат Cross-Entropy та навчального коефіцієнта, налаштованого емпірично для забезпечення стабільної збіжності.

У процесі тренування модель поступово навчалася розрізняти текстурні патерни тканин, що відповідають різним рівням синтетичної складової. Було виявлено, що ефективність класифікації суттєво залежить від якості освітлення та ступеня однорідності зразків. Модель продемонструвала здатність виявляти мікрорельєфні зміни у структурі волокон, які не є помітними для людського ока, але формують специфічні розподіли інтенсивностей у межах зображення. Це свідчить про чутливість EfficientNet-B0 до текстурних мікроелементів, що відрізняють натуральні та синтетичні домішки. Результати валідації показали, що модель досягає точності 92.7 % та F1-міри 93.2 %. Ці показники підтверджують практичну придатність запропонованої технології для автоматизованих систем аналізу, які працюють у режимі реального часу.

Аналіз матриці неточностей показав, що модель найкраще розпізнає класи з мінімальним і максимальним умістом синтетики, тоді як проміжна група демонструє часткове перекриття з обома крайніми інтервалами. Це природно з огляду на поступовий перехід властивостей матеріалу, коли збільшення частки полімерних волокон змінює щільність, рельєф та оптичну відбивну здатність поверхні.

Отримані результати свідчать про здатність EfficientNet-B0 формувати узагальнене представлення текстильних макроструктур, що дозволяє застосовувати її в автоматизованих лініях сортування. Виробнича інтеграція такої системи може передбачати використання цифрових камер високої роздільності, розміщених над конвеєрною стрічкою, що забезпечить безперервний аналіз проходячих зразків. У разі підключення до виконавчих модулів сортувального обладнання отримані рішення моделі можуть безпосередньо визначати траєкторію переміщення матеріалів до відповідних контейнерів. Таким чином, розроблена технологія є важливою складовою переходу від ручного або напівавтоматизованого сортування до повністю інтелектуалізованого виробничого процесу.

Проведені дослідження засвідчують, що обчислювальні вимоги EfficientNet-B0 залишаються прийнятними для реалізації на графічних процесорах середнього класу, таких як NVIDIA RTX 3050. Це створює передумови для практичного впровадження технології в лабораторних або виробничих умовах без потреби у високопродуктивних обчислювальних кластерах. Крім того, обмежена кількість параметрів моделі дозволяє зменшити затримку обробки, що є критично важливим у реальному часі, коли система повинна здійснювати класифікацію без уповільнення потоку об'єктів на конвеєрі.

Застосування цієї технології може суттєво підвищити ефективність систем контролю якості текстильних виробів. У сучасних умовах цифрової трансформації промисловості поєднання штучного інтелекту з автоматизованими лініями створює новий рівень точності та надійності у прийнятті рішень. Модель EfficientNet-B0 у складі запропонованої технології може бути використана як автономний модуль технічного зору, що підключається до роботизованих систем через стандартні інтерфейси обміну даними. Це дозволяє реалізувати адаптивне сортування матеріалів залежно від їх фізико-хімічних характеристик, що визначаються на основі аналізу текстурних ознак.

Надалі технологію можна розширювати шляхом багатоканальної обробки зображень або поєднання RGB і спектральних даних, що забезпечить додаткову стійкість до зміни умов освітлення. Розроблена структура дає можливість інтегрувати модуль оцінювання невизначеності прогнозів, що важливо для прийняття рішень у критичних виробничих сценаріях. У випадках низької впевненості система може ініціювати повторне сканування зразка або передавати його для ручної перевірки, тим самим зменшуючи ймовірність помилкової класифікації.

З наукового погляду технологія демонструє доцільність використання глибинних моделей із компактними архітектурами для розв'язання прикладних завдань класифікації матеріалів. Вона формує методологічне підґрунтя для побудови систем машинного зору, у яких параметри зображення безпосередньо перетворюються у векторні ознаки, релевантні до фізичних властивостей об'єкта. Цей підхід дозволяє відмовитися від ручного проектування дескрипторів, що традиційно вимагало значних експертних зусиль.

Розроблена нейромережева технологія може бути використана не лише для сортування відходів, а й для контролю однорідності тканин на різних стадіях виробництва. Вона забезпечує автоматизований моніторинг якості сировини та готової продукції, що особливо важливо для підприємств, орієнтованих на експорт і відповідність міжнародним стандартам сталого виробництва. Крім того, результати моделі можуть бути інтегровані в системи прогнозування довговічності матеріалів, де показники макроструктурної однорідності слугують індикаторами зношуваності.

Отже, з огляду на актуальні тенденції розвитку промислового штучного інтелекту, впровадження подібних технологій сприяє переходу до концепції циркулярної економіки. Можливість автоматичного визначення складу тканин без руйнівних методів аналізу створює передумови для ефективної переробки текстильних відходів і зменшення екологічного навантаження. Таким чином, нейромережева технологія на основі EfficientNet-B0 не лише підвищує технологічний рівень виробництва, а й підтримує екологічну сталість промислових процесів.

### Список використаних джерел

- [1] S. Lee, Y. Han, and C. Yun, "Development of a Fabric Classification System Using Drapability and Tactile Characteristics", *Fashion and Textiles*, vol. 11, no. 1, p. 2, 2024. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40691-023-00368-2> [Accessed: Oct. 22, 2025].
- [2] A. Pokhytun, O. Mazurets, M. Molchanova, and O. Tyschenko, "Method for Neural Network Detecting Changed Images of People's Faces Using CNN," in *Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference "New Horizons in Scientific Research: Challenges and Solutions"*, 2024, pp. 35–40.
- [3] O. Mazurets, M. Molchanova, V. Klimenko, and D. Klopotivskyi, "Datalogic Model for Image Recognition by Convolutional Neural Network Using Cloud Services" in *Proceedings of the XXII International Scientific and Practical Conference "Modern Scientific Research: Theoretical and Practical Aspects"*, Oslo, Norway, 2024, pp. 64–68.