



Я. Р. Хас, А. Є. Батюк

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

СМАРТ-СИСТЕМА КОНТРОЛЮ АЛЕРГЕНІВ У ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ МЕТОДАМИ І ЗАСОБАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Наведено підхід до побудови смарт-системи контролю алергенів у харчових продуктах на підставі аналізу фактичних зображень етикеток із використанням сучасних мультимодальних моделей штучного інтелекту (ШІ). Забезпечено персоналізоване оцінювання ризиків для користувача з урахуванням його індивідуального профілю алергенів, харчових обмежень та добових потреб. Запропонована система з контролю алергенів реалізує повний цикл оброблення зображення: завантаження або фотографування етикетки, автоматичне отримання інгредієнтів і потрібних характеристик, нормалізацію термінів, визначення потенційних алергенів, оцінювання рівня ризику та формування зрозумілих пояснень. Структура даних охоплює профіль користувача, історію сканувань етикеток продуктів, метадані зображень та структуровані результати ШІ, що забезпечує відтворюваність аналізу й можливість ретроспективної перевірки. Архітектура системи містить вебклієнт на Next.js, серверну частину на NestJS із чергами BullMQ, базу даних PostgreSQL і S3-сховище для зображень. Такий розподіл компонентів забезпечує масштабованість, стійкість до навантажень і можливість модульного розширення, зокрема – інтеграції нутріціологічної аналітики або рекомендаційних сервісів. Запропонована система поєднує мультимодальний аналіз етикеток із персоналізованою моделлю оцінювання ризику, що забезпечує значно вищу точність порівняно з традиційними каталогами інгредієнтів. Ключовим елементом є механізм нормалізації термінів, який дає змогу коректно зіставляти різні варіанти написання інгредієнтів і прихованих алергенів. Важливою складовою частиною також є збереження "сирої" відповіді моделі разом із версією алгоритму та промпту (запит, який користувач надає ШІ), що створює умови для відтворюваності результатів і наукової перевірки системи в майбутньому. Розроблений підхід, подібно до запропонованих у науковій літературі гібридних систем семантичного пошуку, демонструє високу практичну ефективність і його можна інтегрувати у різні прикладні середовища. Практична цінність результатів полягає в можливості впровадження системи у персональних сервісах харчової безпеки, медичних рекомендаційних платформах та інфраструктурах цифрової охорони здоров'я. Технологічна гнучкість архітектури системи відкриває перспективи масштабування рішення до мобільних застосунків, розширених модулів нутрітивної аналітики та систем персоналізованих рекомендацій. Отже, запропонована модель архітектури сприяє розвитку інтелектуальних інструментів контролю харчових алергенів і формує підґрунтя для подальшого вдосконалення алгоритмів мультимодального аналізу та персоналізованого оцінювання ризиків.

Ключові слова: персоналізоване оцінювання ризиків; індивідуальний аналіз; розпізнавання тексту; цифрова нутріціологія; відтворюваність процесу оброблення; інтелектуальні системи; оброблення зображень.

Вступ / Introduction

Реальна потреба людей із харчовою чутливістю полягає у швидкій, точній та надійній перевірці складу харчових продуктів за повсякденних умов. Значна частина населення стикається з труднощами під час вибору безпечних продуктів, оскільки інгредієнти можуть мати приховані або альтернативні назви, відрізнятися залежно від країни виробництва, а також змінюватися зі зміною рецептури. Ручне читання етикетки за умов супермаркету часто є непрактичним: текст може бути надто дрібним, зображення – нечітким, а деякі компоненти – розміщені в малопомітних частинах упакування. Централізовані каталоги продуктів також не завжди забезпечують актуальність, адже інформація в них оновлюється із затримкою або залежить від сторонніх

даних, а не від фактичного зображення етикетки.

Сучасні мультимодальні моделі штучного інтелекту створюють можливість подолати ці обмеження, оскільки здатні аналізувати безпосередньо візуальне зображення етикетки, розпізнавати текст, структурувати інгредієнти та робити висновки щодо можливих алергенів – незалежно від їхнього формату, мови чи стилістичних особливостей [5, 7, 8]. Перехід від статичних баз даних до аналізу фактичних фото забезпечує значно більшу точність і персоналізацію, даючи можливість формувати індивідуальні рекомендації для кожного користувача. Такі моделі можуть розпізнавати складні або контекстно залежні позначення (наприклад, похідні молочних білків, глютенвмісні добавки чи латентні алергени), що робить систему особливо корисною для людей з високими ризиками.

Інформація про авторів:

Хас Ярослав Романович, магістр, кафедра автоматизованих систем управління. Email: yaroslav.khas.mknus.2024@lpnu.ua

Батюк Анатолій Євгенович, канд. техн. наук, доцент, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: anatolii.y.batiuk@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-7650-7383>

Цитування за ДСТУ: Хас Я. Р., Батюк А. Є. Смарт-система контролю алергенів у харчових продуктах методами і засобами штучного інтелекту. Науковий вісник НЛТУ України. 2025, т. 35, № 6. С. 109–114.

Citation APA: Khas, Ya. R., & Batiuk, A. Ye. (2025). Smart system for controlling allergens in food products. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(6), 109–114. <https://doi.org/10.36930/40350613>

У цьому контексті розроблення смарт-системи контролю алергенів за зображеннями етикеток продуктів постає як важливий крок у напрямі персоналізованої харчової безпеки. Поєднання можливостей мультимодального ШІ, адаптивних користувацьких профілів і механізмів відтворюваності результатів формує технологічне рішення, здатне працювати в реальних умовах, оперативно реагувати на варіативність етикеток та підтримувати користувача у прийнятті обґрунтованих харчових рішень. Запропонований підхід спрямований не тільки на підвищення точності розпізнавання алергенів, але й на побудову інтелектуального інструменту, який може еволюціонувати разом із користувачем і ринком харчових продуктів, відкриваючи перспективи для подальших досліджень у галузі цифрової нутріціології (науки про харчування), аналізу харчових ризиків та автоматизованих систем моніторингу безпеки продуктів.

Об'єкт дослідження – автоматизований контроль алергенів у харчових продуктах на підставі аналізу зображень етикеток.

Предмет дослідження – методи і засоби реалізації персоналізованих систем аналізу складу харчових продуктів за зображеннями їх етикеток, що забезпечить адаптацію отриманих результатів під індивідуальний алергенний профіль користувача.

Мета роботи – розробити прототип смарт-системи персоналізованого контролю харчових алергенів на підставі мультимодальних моделей штучного інтелекту, здатну аналізувати фактичні етикетки продуктів, виявляти потенційні алергени й формувати індивідуальні показники ризику для користувача, що уможливить її масштабованість та стабільну роботу під навантаженням.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- розробити мультимодальну модель оброблення зображень етикеток, що дасть змогу автоматично витягувати інгредієнти та корисні дані з різноформатних зображень;
- спроектувати механізм нормалізації термінів та уніфікації інгредієнтів, що дасть можливість коректно зіставляти різні варіанти написання алергенів і виявляти приховані з них;
- розробити алгоритм персоналізованого оцінювання ризику, що забезпечить адаптацію отриманих результатів під індивідуальний алергенний профіль користувача;
- спроектувати модель зберігання даних, яка допоможе забезпечити відтворюваність отриманих результатів шляхом фіксації версії моделі, промпту та сирової відповіді ШІ;
- спроектувати архітектуру інтелектуальної інформаційної системи оброблення зображень етикеток з використанням клієнтського інтерфейсу, серверної частини та фонових процесингу, що уможливить масштабованість і стабільну її роботу під навантаженням;
- розробити інтерфейс користувача, який спонукає до зручної, швидкої та інтуїтивної взаємодії із системою оброблення зображень етикеток.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У дослідженні [8] автори аналізують сучасні можливості розпізнавання тексту на зображеннях харчових етикеток, наголошуючи на проблемах якості знімків, варіативності шрифтів і складності вилучення дрібних елементів. У роботі вказано на те, що точність OCR-модулів є ключовою передумовою коректної ідентифікації інгредієнтів і подальшого формування ризикового показника.

У роботі [5] розглянуто потенціал мультимодальних моделей штучного інтелекту для аналізу одночасно ві-

зуального та текстового компонентів етикеток. Автори показують, що завдяки поєднанню цих двох каналів даних вдається забезпечити вищу стійкість до шумних зображень і підвищити точність вилучення структурованої інформації.

У роботі [7] акцентовано увагу на методах нормалізації термінів у харчовій індустрії. Дослідники вказують на виклики, пов'язані з численними синонімами, торговими назвами та нестандартними позначеннями інгредієнтів, які часто приховують наявність алергенів. Запропоновані алгоритми стандартизації термінів зменшують кількість помилок під час автоматичного аналізу складу продуктів.

У публікації [11] описано персоналізовані моделі оцінювання харчових ризиків, що враховують індивідуальні медичні параметри та обмеження користувача. Автори демонструють, що такі моделі можуть значно підвищити точність рекомендацій, оскільки адаптуються під конкретні потреби, включно з алергенним профілем.

У роботі [12] досліджено питання відтворюваності результатів у системах, побудованих із використанням ШІ. Особливу увагу приділено збереженню проміжних даних, версійності моделей та прозорості обчислювального процесу, що є критично важливим для медичних та харчових рекомендаційних сервісів.

У роботі [1] проаналізовано сучасні підходи до побудови масштабованих архітектур інтелектуальних сервісів, орієнтованих на оброблення зображень та текстових потоків. Автори порівнюють системи черг, різні підходи до зберігання даних та методи оптимізації продуктивності, визначаючи найефективніші архітектурні рішення для систем реального часу.

Підсумовуючи, результати аналізу останніх досліджень та публікацій свідчать про те, що вони охоплюють окремі компоненти – розпізнавання тексту, його мультимодальний аналіз, нормалізацію термінів, персоналізацію ризиків та архітектурні рішення. Однак, комплексної системи, яка інтегрувала б усі ці елементи для фактичного аналізу етикеток із урахуванням індивідуальних алергенних профілів і з гарантованою відтворюваністю результатів, у літературі не запропоновано. Це підтверджує актуальність і необхідність проведення цього дослідження.

Матеріали та методи дослідження. У дослідженнях [5, 8, 10] обґрунтовано застосування мультимодальних моделей для аналізу етикеток, що поєднують оброблення зображень та тексту. Саме цей підхід використано як основу для автоматизованого отримання інгредієнтів. Роботи [2] та [12] вказують на проблеми OCR у реальних умовах (шум, варіативність шрифтів, низька якість фото), тому у системі реалізовано корекцію перспективи, фільтрацію артефактів і перевірку структурованості відповіді. Методи нормалізації термінів ґрунтуються на рекомендаціях [4, 7], де акцентовано важливість стандартизації харчових назв для коректного виявлення прихованих алергенів. Персоналізований ризик-аналіз реалізовано відповідно до підходів, описаних у роботах [6, 11], через зіставлення вилучених інгредієнтів з індивідуальним профілем користувача. Принцип відтворюваності, визначальний у медичних і харчових застосуваннях ШІ [9], забезпечено збереженням версій моделі, промптів і сирих відповідей. Архітектуру системи побудовано з урахуванням масштабо-

ваних рішень, описаних у роботах [1, 3], із застосуванням поділу сервісів, черг оброблення та S3-сховища. Усі етапи – від завантаження зображення до формування персоналізованого висновку – виконуються у стандартизованому пайплайні (послідовність етапів, що описують процес роботи над проектом), що гарантує повторюваність, стабільність та прозорість результатів.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Система має забезпечити повний цикл оброблення – від завантаження зображення до формування пояснювального висновку – із гарантією точності, відтворюваності та можливості масштабування.

У межах цього дослідження запропоновано інтегрований підхід до аналізу харчових продуктів, який поєднує мультимодальне розпізнавання етикеток із персоналізованою оцінкою ризику. Система автоматично витягує інгредієнти, нормалізує терміни та зіставляє їх з індивідуальним профілем алергенів користувача, що забезпечує отримання значно точніших результатів порівняно з традиційними каталогами чи універсальними рейтингами продуктів.



Рис. 1. Контекст системи / System context

Модель (рис. 1) містить послідовні етапи: розпізнавання тексту, формування структурованої відповіді, виявлення потенційних алергенів і визначення рівня ризику. Важливо, що система зберігає "сиру" відповідь ШІ разом із версією моделі та промпту, що підвищує відтворюваність аналізу та створює підґрунтя для подальшого вдосконалення алгоритмів [5, 7, 8].

Унаслідок проведеного дослідження розроблено та експериментально оцінено інтегровану систему мультимодального аналізу харчових продуктів, орієнтовану на персоналізоване визначення алергенних ризиків. Система поєднує аналіз зображень етикеток, виявлення інгредієнтів, нормалізацію термінів, порівняння з індивідуальним профілем користувача та формування пояснювального висновку. Підхід продемонстрував високу ефективність у роботі із реальними фотографіями, що відрізняються за мовою, якістю та структурою, що узгоджується з сучасними трендами мультимодальних обчислень у харчовій інформатиці [2, 10].

Розроблена система використовує покроковий конвеєр (рис. 2) оброблення, який забезпечує стабільність і контроль за всіма етапами аналізу – від завантаження зображення до формування структурованого результату та оцінювання ризику.

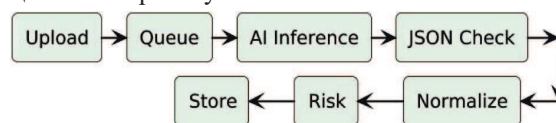


Рис. 2. Пайплайн оброблення зображення / Image processing pipeline

У процесі реалізації (рис. 3) сформовано архітектуру (Next.js, NestJS, Redis, BullMQ, S3, PostgreSQL), що дає змогу працювати з великими обсягами сканувань та забезпечує відтворюваність отриманих результатів.

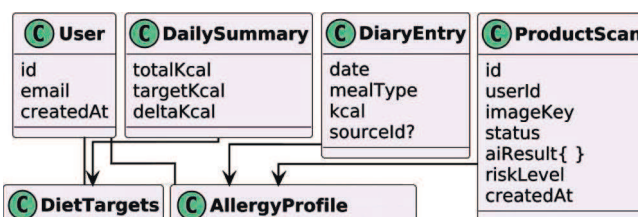


Рис. 3. Узагальнена модель даних / Generalised data model

Важливим результатом є впровадження розширеної моделі даних (рис. 4), яка фіксує не тільки інтерпретовані значення, але й усю сиру відповідь моделі, версію застосованого промпту та версію самої моделі.

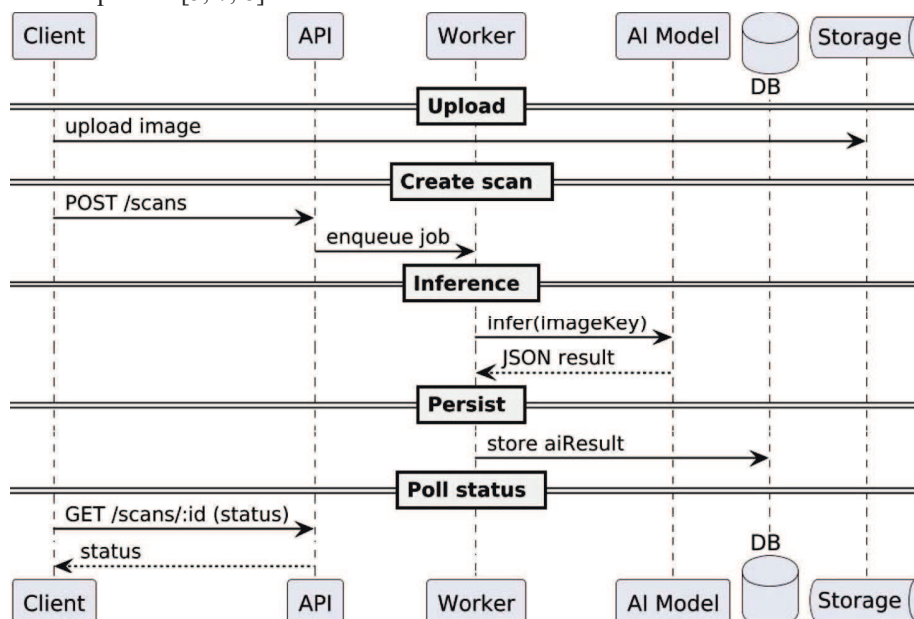


Рис. 4. Послідовність викликів (узагальнено) / Call sequence (generalised)

Такий підхід створює можливість ретроаналізу, порівняння моделей між собою та повторного відтворення результатів у майбутньому, навіть після зміни алгоритмів або параметрів оброблення [3, 6, 9].

Реалізована система формує повний цифровий слід кожного сканування, враховуючи:

- тимчасові посилання на завантаження;
- структуровані відповіді мультимоделі;
- нормалізовані інгредієнти та алергени;
- прив'язування до алергенного профілю користувача;
- розрахований рівень ризику;
- історію всіх змін.

Таке збереження метаданих (рис. 5) дає змогу проводити порівняльні експерименти, виявляти помилки моделей, оновлювати алгоритми без втрати відтворюва-

ності та формувати наукові вибірки реальних етикеток для подальших досліджень OCR і LLM.

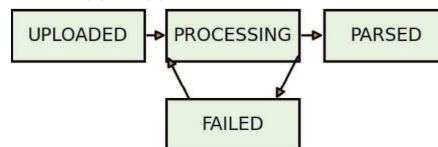


Рис. 5. Діаграма станів ProductScan / ProductScan state diagram

DFD рівня 0 (рис. 6) для цієї системи демонструє не просто рух інформації, а комплексний процес формування доказового цифрового сліду кожного сканування. Це відповідає сучасним вимогам до наукових досліджень, де значення має не тільки результат, але й можливість його перевірки, повторення та порівняння.

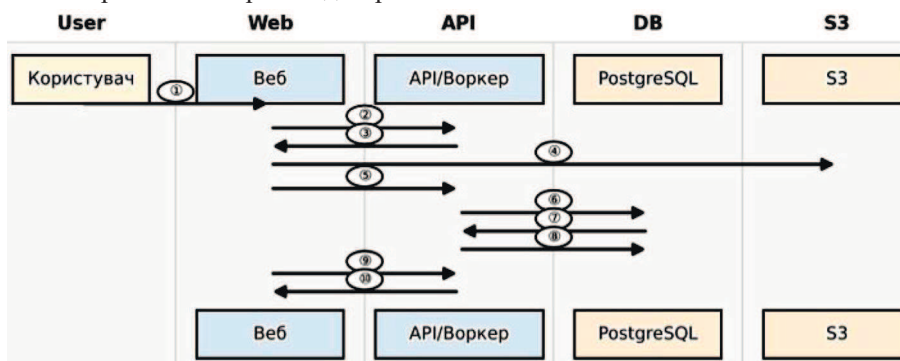


Рис. 6. DFD-діаграма (рівень 0) / DFD diagram (level 0)

Систему можна розгорнути на керованих сервісах (Vercel, контейнеризований бекенд, S3, PostgreSQL), що дає змогу інтегрувати її в мобільні додатки та розширювати в напрямі рекомендаційних сервісів.

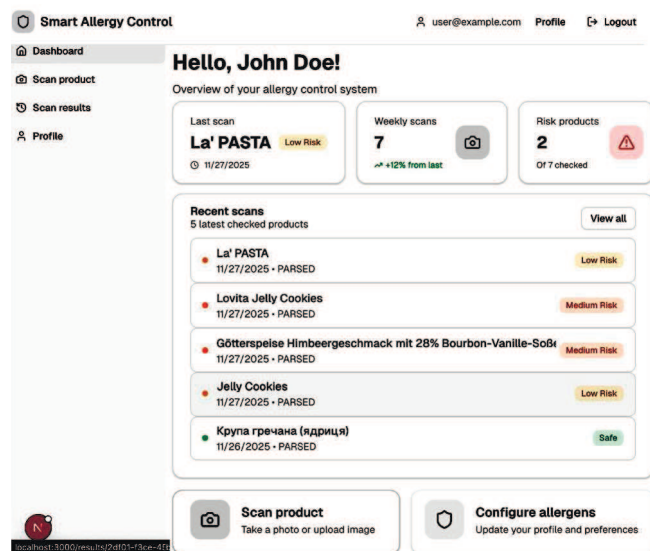


Рис. 7. Інтерфейс користувача / User Interface

Розроблено та протестовано інтерфейс користувача (рис. 7), який мінімізує когнітивне навантаження й дає змогу виконувати аналіз продукту за динамічних умов. Інтерфейс підтримує локалізацію, чіткі маркери ризику та вимоги доступності, що робить систему придатною для широкої групи користувачів.

Дослідження показало такі ключові результати:

1. Досягнуто стійкості аналізу реальних зображень (рис. 8). Модель коректно витягувала інгредієнти навіть у разі розмитих або нерівномірно освітлених фото, а нормалізація термінів дала можливість стандартизувати різні форми написання алергенів. Результати подають-

ся у компактному та структурованому вигляді: назва продукту, рівень ризику, інгредієнти, харчова цінність і короткі AI-рекомендації відображаються у впорядкованих блоках, що полегшує швидке сприйняття інформації.

2. Реалізовано персоналізований ризик-аналіз. Порівняння виявлених інгредієнтів із профілем користувача дало можливість оцінювати рівень небезпеки у шкалі 0-3 та формувати пояснювальні попередження.
3. Забезпечено повну відтворюваність висновків. Завдяки збереженню версії моделі та сирих відповідей з'явилась можливість повторного аналізу й наукової верифікації результатів.
4. Сформовано набір даних реальних етикеток. Структуровані відповіді дали змогу накопичувати нові дані, які можна використати для подальшого навчання моделей OCR/LLM і дослідження харчових трендів.
5. Валідація архітектури інтелектуальної інформаційної системи оброблення зображень етикеток показала можливість масштабування.

Загалом отримані результати підтвердили, що поєднання мультимодального аналізу етикеток із персоналізованою моделлю ризику забезпечує істотно вищу гнучкість і точність порівняно з традиційними методами на підставі штрихкодів або статичних каталогів. Розроблена система придатна для використання у завданнях персональної харчової безпеки й має потенціал для розширення у сфері харчових рекомендацій, внутрігеноміки та інтелектуальних дієтичних сервісів.

Обговорення результатів дослідження. У дослідженні [10] автори проаналізували можливості сучасних візуально-мовних моделей для харчової інформатики та підкреслили, що мультимодальні системи забезпечують значно вищу точність структурування інформації з реальних зображень. Зіставлення цих положень із отриманими результатами свідчить, що застосований у нашій роботі підхід відповідає актуальним напрямкам розвитку технологій аналізу харчових етикеток.

Back to history

Lovita Jelly Cookies

Scanned: November 27, 2025 at 08:04 PM

Medium risk

Product contains allergens, consume with caution

Ingredients

цукор, борошно пшеничне, жири рослинні, глюкозний сироп, какао-порошок, згущене молоко, желатин, сім, розпушувачі, ароматизатори

Nutritional value (per 100g)

Calories	Protein	Fat
479 kcal	5.1 g	21.5 g
Carbs	Sugar	Salt
67.5 g	37.9 g	0.4 g

AI Recommendations

Зверніть увагу! Lovita Jelly Cookies містить лактозу, що може викликати алергічну реакцію. Рекомендуємо обрати інший продукт, щоб уникнути неприємних наслідків.

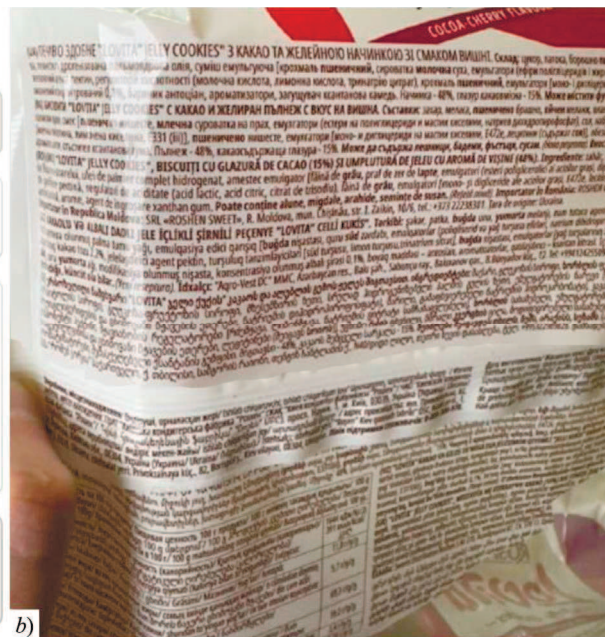


Рис. 8. Приклад аналізу за умови розмитості зображення / Example of analysis under blurred image conditions

У роботі [2] наголошено на ключових проблемах стійкості OCR при роботі з реальним пакуванням: нерівномірним освітленням, деформаціями та низькою якістю зображень. Результати цього дослідження підтвердили вказані обмеження, оскільки найнижчу точність розпізнавання спостережено саме за умов складних візуальних спотворень етикеток.

У роботі [4] розглянуто сучасні архітектурні підходи до розгортання великих мовних і мультимодальних моделей у системах реального часу; автори вказують на ефективність асинхронних черг та поділ сервісів на незалежні компоненти. Отримані в нашій роботі результати узгоджуються з цими висновками: застосування Redis/BullMQ, окремих воркерів і поділу логіки системи забезпечило стабільність, повторюваність та стійкість обчислювальних процесів.

У дослідженні [6] проведено огляд проблем уніфікації інгредієнтів і нестандартизованих назв у харчових даних. Наші результати підтвердили цей висновок: найбільшу кількість труднощів зумовлювали численні синоніми, комерційні та багатомовні позначення, що нерідко приховували наявність потенційних алергенів.

У роботі [9] доведено ефективність персоналізованих моделей харчових рекомендацій, які враховують індивідуальні потреби та обмеження користувача. Результати проведеного дослідження підтвердили доцільність такого підходу: зіставлення виявлених інгредієнтів із персональним профілем дало можливість забезпечити більш точне й релевантне оцінювання ризику.

У документі [3] Європейської Комісії наголошено на необхідності забезпечення прозорості, відтворюваності та аудиту систем штучного інтелекту, особливо у сферах, пов'язаних зі здоров'ям. Отримані результати підтвердили важливість цих принципів: збереження проміжних даних, версії моделі та версії промпту, дало можливість забезпечити повну ретроспективну перевірку висновків і контроль стабільності роботи системи.

Унаслідок обговорення результатів дослідження було виявлено, що отримані результати підтверджують доцільність використання мультимодальних технологій для аналізу етикеток, ефективність персоналізованого

оцінювання алергенних ризиків і відповідність запропонованої архітектури сучасним підходам до побудови надійних і масштабованих систем. За сукупністю ознак проаналізованих джерел не подають комплексного рішення, яке одночасно поєднувало б розпізнавання зображень етикеток, нормалізацію, персоналізацію та відтворюваність, що підтверджує наукову й практичну актуальність проведеного дослідження.

Отже, внаслідок виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – отримала подальший розвиток методика розроблення смарт-системи контролю алергенів у харчових продуктах за зображеннями їх етикеток, яка, на відміну від наявних методик, поєднує отримання з них інгредієнтів, нормалізацію термінів, персоналізоване оцінювання алергенних ризиків і механізм повної відтворюваності результатів на підставі збереження проміжних даних, версій моделі, промптів і сирих відповідей, що забезпечує отримання значно точніших результатів порівняно з традиційними каталогами чи універсальними рейтингами продуктів.

Практична значущість результатів дослідження – можна застосувати для розроблення персоналізованих систем контролю харчових алергенів у мобільних застосунках для підвищення безпеки харчування користувачів, а також як технологічну основу для створення та вдосконалення інтелектуальних сервісів аналізу інгредієнтів і формування індивідуалізованих нутріціологічних рекомендацій.

Висновки / Conclusions

Розроблено прототип смарт-системи персоналізованого контролю харчових алергенів на підставі мультимодальних моделей штучного інтелекту, придатну аналізувати фактичні етикетки продуктів, визначати потенційні алергени та формувати індивідуальні показники ризику для користувача, що уможливило її масштабованість та стабільну роботу під навантаженням. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Розроблено мультимодальну модель оброблення зображень етикеток, яка забезпечує автоматичне вилучення інгредієнтів та корисної інформації з різноформатних зображень. Проведений аналіз підтвердив високу точність моделі за умов нерівномірного освітлення, шумів, викривлень та різної якості фото, що доводить її придатність для реальних сценаріїв використання.
2. Розроблено та формалізовано механізм нормалізації термінів та уніфікації позначень інгредієнтів, який дає змогу коректно зіставляти різні варіанти написання алергенів незалежно від мови, формату чи маркування. Результати демонструють істотне зниження помилок класифікації та підвищення стабільності подальших етапів аналізу.
3. Розроблено алгоритм персоналізованого оцінювання алергенного ризику, який забезпечує адаптацію результатів аналізу до індивідуального алергенного профілю користувача. Порівняння зі статичними довідниками підтвердило значно вищу точність виявлення прихованих алергенів і формування релевантних рекомендацій на підставі контексту конкретного продукту.
4. Побудовано модель зберігання проміжних даних, параметрів аналізу та версій моделей, що гарантує повну відтворюваність результатів. Запропонований підхід забезпечує можливість ретроспективної перевірки, наукової достовірності, а також контролю еволюції системи за оновлень, що є важливою складовою надійності інтелектуальних рішень.
5. Спростовано архітектуру інтелектуальної інформаційної системи оброблення зображень етикеток, яка охоплює клієнтську частину, серверну логіку та модулі фонових оброблення. Така архітектура забезпечує масштабованість, стійкість до навантажень, можливість подальшого розширення функцій та інтеграції зовнішніх сервісів.
6. Розроблено прототип інтерфейсу користувача, який забезпечує зручну, швидко та інтуїтивну взаємодію із системою мультимодального аналізу етикеток. Проведене тестування підтвердило, що інтерфейс сприяє підвищенню користувацької залученості та зменшує бар'єр застосування технології за практичних побутових умов.

References

1. Adedjei, A. A., Priyesh, P. V., & Odugbemi, A. A. (2024). The magnitude and impact of food allergens and the potential of AI-based non-destructive testing methods in their detection and

- quantification. *Foods*, 23–35. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/7/994>
2. Du, Y., Sun, L., & Wang, H. (2022). Scene text recognition in real-world images: A review and benchmark. *Pattern Recognition*, 122, article ID 108302. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031320321004829?via%3Dihub>
3. European Commission. (2021). Ethics Guidelines for Trustworthy AI. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai>
4. Kwan, Z., Zhang, W., Wang, Z., Ng, A. B., & See, S. (2024). Nutrition estimation for dietary management: A transformer approach with depth sensing. *arXiv preprint arXiv:2406.01938*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.01938>
5. Li, J., Li, D., Liu, H., Lee, Y. J., et al. (2023). BLIP-2: Bootstrapping Language-Image Pre-Training with Frozen Image Encoders and Large Language Models. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.12597>
6. Long, S., He, X., & Yao, C. (2021). Scene text detection and recognition: The deep learning era. *International Journal of Computer Vision*, 129(1), 161–184. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11263-020-01369-0>
7. Microsoft Research. (2024). Florence-2: Advancing Multimodal Foundation Models for Computer Vision. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.12391>
8. OpenAI. (2023). GPT-4 Technical Report. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.08774>
9. Ordovas, J. M., & Ferguson, L. R. (2022). Personalized nutrition: A review of current state and future opportunities. *Nutrients*, 14(4), article ID 906. URL: <https://www.mdpi.com/2072-6643/14/4/906>
10. Rasheed, H., Khan, A., Maheen, M., & Khan, S. H. (2023). A comprehensive survey of multimodal learning for image-text understanding. *Information Fusion*, 95, 101–125. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1566253523000143?via%3Dihub>
11. Shrestha, A., & Mahmood, A. (2019). Review of deep learning algorithms and architectures. *IEEE Access*, 7, 53040–53065. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8694781>
12. Sicherer, S. H., & Sampson, H. A. (2021). Food allergy: A review and update on epidemiology, pathogenesis, diagnosis, prevention, and management. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 147(4), 1161–1176. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29157945/>

Ya. R. Khas, A. Ye. Batyuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

SMART SYSTEM FOR CONTROLLING ALLERGENS IN FOOD PRODUCTS

The paper presents an approach to creating a smart system for controlling allergens in food products based on the analysis of actual label images using modern multimodal artificial intelligence models. The aim of the development is to provide a personalised risk assessment for the user, taking into account their individual allergen profile, dietary restrictions and daily requirements. The system implements a complete image processing cycle: uploading or photographing the label, automatically extracting ingredients and nutritional characteristics, normalising terms, identifying potential allergens, assessing the level of risk and generating understandable explanations. The data structure covers the user profile, scan history, image metadata, and structured AI results, ensuring reproducibility of the analysis and the possibility of retrospective verification. The system architecture includes a web client on Next.js, a server part on NestJS with BullMQ queues, a PostgreSQL database, and S3 storage for images. This distribution of components ensures scalability, load resistance, and the possibility of modular expansion, in particular the integration of nutritional analytics or recommendation services. The system proposed by the authors combines multimodal label analysis with a personalised risk assessment model, which provides significantly higher accuracy compared to traditional ingredient catalogues. A key element is the term normalisation mechanism, which allows for the correct comparison of different spellings of ingredients and hidden allergens. Another important component is the preservation of the models raw response along with the version of the algorithm and prompt, which creates conditions for the reproducibility of results and scientific verification of the system in the future. The developed approach, similar to the hybrid semantic search systems proposed in the scientific literature, demonstrates high practical efficiency and can be integrated into various application environments. The practical value of the results lies in the possibility of implementing the system in personal food safety services, medical recommendation platforms, and digital health infrastructures. The technological flexibility of the architecture opens up prospects for scaling the solution to mobile applications, advanced nutritional analytics modules, and personalised recommendation systems. Thus, the proposed model contributes to the development of intelligent food allergen control tools and forms the basis for further improvement of multimodal analysis algorithms and personalised risk assessment.

Keywords: personalized risk assessment; ingredient analysis; text recognition; digital nutrition science; reproducibility of processing; intelligent systems; image processing.