

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-38>

УДК 004.9:004.738.5

КОНДРА АРТУР

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0009-0008-1391-6727>e-mail: artur.i.kondra@lpnu.ua**КУНАНЕЦЬ НАТАЛІЯ**

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-3007-2462>e-mail: nek.lviv@gmail.com

ІНФОРМАЦІЙНА ПЛАТФОРМА ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ ОДЯГУ З ВІРТУАЛЬНОЮ ПРИМІРОЧНОЮ ЯК СКЛАДНА СИСТЕМА

У статті представлено концепцію інформаційної платформи інтернет-магазину одягу з віртуальною приміркою як приклад складної інформаційної системи нового покоління. Розкрито архітектуру платформи, що поєднує класичні засоби електронної комерції з інтелектуальними модулями персоналізованого дизайну, системами рекомендацій та технологіями 3D/AR-візуалізації, які забезпечують інтерактивність і високий рівень користувацького досвіду. Платформа описана як багаторівнева та децентралізована структура з високим ступенем інтеграції й динамічною взаємодією між модулями, що дозволяє реалізувати адаптивне управління даними, масштабованість та гнучкість архітектурних рішень. Проведено аналіз відповідності системи критеріям складності за теорією складних систем, зокрема: нелінійності, емерджентності, адаптивності, самоорганізованості, багаторівневої ієрархії та децентралізованого управління. Показано, що платформа функціонує як емерджентна екосистема, де поведінка користувачів, динаміка замовлень і адаптивні алгоритми створюють нові властивості, відсутні на рівні окремих модулів. Особливу увагу приділено інтелектуальним компонентам системи: модулю рекомендацій, який базується на методах машинного навчання й аналізу поведінкових даних; модулю віртуальної примірки, що використовує 3D-моделювання, AR-технології та комп'ютерний зір; а також модулю персоналізованого дизайну, який дозволяє формувати унікальні пропозиції відповідно до стилю та антропометричних характеристик користувача. Обґрунтовано використання математичної моделі для кількісного оцінювання складності системи та визначення інтегральних показників її функціонування. Показано перспективи розвитку таких платформ в умовах цифрової моди, персоналізованої торгівлі та формування нових бізнес-моделей електронної комерції, що орієнтуються на інтеграцію з екосистемами розумних міст, мобільними додатками та децентралізованими фінансовими сервісами.

Ключові слова: інформаційна система, інтернет-магазин, віртуальна примірка, складна система, персоналізовані рекомендації, AI-дизайн, емерджентність, адаптивність, децентралізоване управління, ієрархічна структура, 3D-візуалізація, електронна комерція.

KONDRA ARTUR**KUNANETS NATALIA**

Lviv Polytechnic National University

INFORMATION PLATFORM OF AN ONLINE CLOTHING STORE WITH A VIRTUAL FITTING ROOM AS A COMPLEX SYSTEM

The article presents the concept of an information platform for an online clothing store with a virtual fitting room as an example of a next-generation complex information system. The architecture of the platform is described, combining classical e-commerce tools with intelligent modules for personalized design, recommendation systems, and 3D/AR visualization technologies that ensure interactivity and a high level of user experience. The platform is characterized as a multi-layered and decentralized structure with a high degree of integration and dynamic interaction between modules, which enables adaptive data management, scalability, and flexibility of architectural solutions. An analysis is conducted of the system's compliance with the criteria of complexity according to the theory of complex systems, in particular: nonlinearity, emergence, adaptability, self-organization, multi-level hierarchy, and decentralized control. It is demonstrated that the platform functions as an emergent ecosystem where user behavior, order dynamics, and adaptive algorithms generate new properties absent at the level of individual modules. Special attention is given to the system's intelligent components: the recommendation module, based on machine learning methods and behavioral data analysis; the virtual fitting room module, which employs 3D modeling, AR technologies, and computer vision; and the personalized design module, which allows the generation of unique offers according to users' style and anthropometric characteristics. The use of a mathematical model for quantitative evaluation of the system's complexity and determination of integral performance indicators is substantiated. The article outlines the prospects for the development of such platforms in the context of digital fashion, personalized commerce, and the formation of new e-commerce business models oriented toward integration with smart city ecosystems, mobile applications, and decentralized financial services.

Keywords: information system, online store, virtual fitting room, complex system, personalized recommendations, AI design, emergence, adaptability, decentralized management, hierarchical structure, 3D visualization, e-commerce.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.09.2025

Прийнята до друку / Accepted 10.11.2025

Постановка проблеми

Сучасна електронна комерція у сфері моди та одягу стикається з новими викликами, зумовленими зростанням очікувань користувачів щодо персоналізації, інтерактивності та зручності онлайн-шопінгу. Традиційні моделі інтернет-магазинів не забезпечують достатнього рівня залучення покупця та не дозволяють ефективно візуалізувати товар, що особливо критично при виборі одягу. У зв'язку з цим виникає потреба в створенні інноваційних інформаційних платформ, які поєднують класичні функції e-commerce із сучасними технологіями штучного інтелекту, 3D/AR-візуалізації та рекомендаційних систем. Однак такі системи

характеризуються високим ступенем складності, що потребує нових підходів до їхнього проектування й супроводу. Відсутність уніфікованих моделей опису та аналізу складних, динамічно інтегрованих інформаційних платформ створює методологічний розрив між потребами ринку та інструментами інженерії програмного забезпечення. У цьому контексті актуальним є дослідження інтернет-магазину з віртуальною примірочною як складної системи, що функціонує на основі багаторівневої, адаптивної та децентралізованої архітектури.

Постановка завдання

Сучасний розвиток електронної комерції та цифрової моди вимагає створення інноваційних інформаційних систем, здатних забезпечити не лише базові торговельні функції, а й персоналізовану взаємодію з користувачем на основі інтелектуальних технологій. Особливу роль у цьому контексті відіграють віртуальні примірочки, які поєднують методи 3D/AR-візуалізації, машинного навчання та персоналізованих рекомендацій. Проте побудова подібних платформ як складних інформаційних систем потребує врахування властивостей нелінійності, емерджентності, адаптивності та децентралізованого управління. Тому актуальним є завдання формалізації архітектури інформаційної платформи інтернет-магазину з віртуальною примірочною, аналізу її структури та визначення критеріїв складності з використанням математичних моделей.

Метою статті є розроблення концепції інформаційної платформи інтернет-магазину одягу з віртуальною примірочною як складної системи, визначення її архітектурних принципів та інтелектуальних компонентів, а також обґрунтування методів кількісної оцінки складності для подальшої інтеграції у сучасні бізнес-моделі електронної комерції та цифрової моди.

Об'єктом дослідження є інформаційні системи електронної комерції у сфері роздрібного продажу одягу. Предметом дослідження є архітектура, функціональні компоненти та динаміка взаємодії модулів інформаційної платформи інтернет-магазину з віртуальною примірочною в контексті теорії складних систем.

Аналіз досліджень та публікацій

Останні роки характеризуються активним розвитком цифрових технологій у сфері електронної комерції, зокрема в напрямі інтерактивної візуалізації, персоналізації користувацького досвіду та інтелектуального моделювання споживчих уподобань. Дослідження в галузі віртуальних примірочних систем [1] демонструють ефективність використання 3D-моделей та AR-технологій для зниження частки повернень і підвищення конверсії в онлайн-магазинах. Miell et al. [2] відзначають, що інноваційні онлайн-технології підбору одягу відповідного розміру полегшують покупки, продовжують розвиватися, проте проблеми, пов'язані з цифровими очікуваннями щодо одягу в процесі прийняття рішень споживачами, залишаються невирішеними. Автори зосереджуються на 20 відомих технологіях підбору одягу відповідного розміру та товарів 30 компаній, що виробляють брендовий одяг. У дослідженні пропонується обговорення найкращих практик використання технології підбору одягу відповідного розміру за допомогою моделі Omni-fit, яка враховує поєднання технологічних підходів доповненої та віртуальної реальності у сфері моди. У роботах [3,4] обґрунтовується доцільність інтеграції систем рекомендацій на основі гібридних AI-алгоритмів, що дозволяє формувати персоналізовані підходи відповідно до контексту поведінки користувача. У статті [5] відзначено, що мода є невід'ємною частиною повсякденного життя людини, і вона має значний вплив на ідентичність та самовираження. Зі зростанням доступності цифрових платформ та веб-сайтів електронної комерції, індустрія моди змінилася, а також змінився спосіб купівлі одягу. Сучасні рекомендаційні системи спрямовані на те, щоб пропонувати користувачам персоналізовані рекомендації щодо товарів відповідно до їхніх інтересів та уподобань. Використання методів машинного навчання сприяло розвитку методів опрацювання зображень, методів парсингу, класифікації зображень, сегментації та мережевої взаємодії, що робить її зручним інструментом для підтримки систем рекомендацій. На думку авторів, технології рекомендацій мають високий потенціал в галузі моди для надання ще точніших та індивідуалізованіших рекомендацій товарів. Дослідники для створення рекомендацій товарів у галузі моди використовують згорткову нейронну мережу, алгоритм KNN, основна ідея якого полягає в розрахунках евклідової відстані та косинусної подібності, що допомагає у створенні подібних продуктів.

Окрему увагу приділено дослідженню складності сучасних інформаційних систем. У статті [6] теорія складних систем застосовується до аналізу адаптивних, децентралізованих і емерджентних цифрових середовищ. На думку [7] Mitchell et al. розроблення таких систем вимагає абсолютно нового підходу, який виходить за рамки традиційного наукового редукціонізму та переосмислює давні дисциплінарні межі. Спираючись на свою роботу в Інституті Санта-Фе та його міждисциплінарні стратегії, автори прояснюють механізми складності в широкому спектрі біологічних, технологічних та соціальних явищ, шукаючи загальні принципи чи закони, що застосовуються до всіх них. Вона також досліджує взаємозв'язок між складністю та еволюцією, штучним інтелектом, обчисленнями, генетикою, опрацюванням інформації та багатьма іншими галузями.

Zhang, et al. [8] вважають, що системи рекомендацій широко використовуються в електронній комерції, щоб допомогти користувачам знаходити найрелевантніші товари, пропонують визначення кількісної оцінки вподобань користувача та зміни їхньої тенденції з часом, порівнюючи продуктивність роботи методу, апробуючи його на трьох наборах даних електронної комерції. Стаття [9] присвячена аналізу особливостей розроблення онлайн-примірочної аксесуарів та головних уборів з використанням нейронних мереж. Дослідниками запропоновано метод, що імітує віртуальне припасування головних уборів з використанням технологій доповненої реальності. У статті [10] розглядається проектування «віртуальної гардеробної» з

використанням доповненої реальності для моделювання 3D-одягу в реальному часі та з використанням одного давача Microsoft Kinect V2 для отримання вимірювань параметрів тіла користувача. Проте більшість наявних робіт фокусуються або на технологічних аспектах реалізації окремих компонентів (наприклад, AR-примірки, генеративного дизайну), або на моделюванні поведінки користувача. Комплексне бачення інтернет-магазину як складної, ієрархічно організованої, самонавчальної інформаційної системи залишається недостатньо висвітленим у сучасній науковій літературі. Це створює дослідницьку нішу для системного аналізу таких платформ із позицій архітектурної складності, динаміки взаємодії та емерджентної поведінки, що і визначає актуальність даного дослідження.

Виклад основного матеріалу

Вимоги до інформаційної системи інтернет-магазину одягу з віртуальною примірочною

Інформаційна платформа інтернет-магазину з віртуальною примірочною повинна забезпечувати реєстрацію та автентифікацію користувачів, зокрема створення облікового запису, вхід через email або сторонні сервіси (Google, Apple ID), редагування особистих даних, параметрів тіла та уподобань. Каталог товарів має підтримувати фільтрацію за категоріями, розмірами, кольорами, брендами та сезоном, а кожна товарна позиція повинна містити опис, фото, параметри тканини, наявність, 3D-модель або текстури. Інформаційна платформа формує персоналізовані образи з урахуванням історії дій користувача, його профілю, сезонних трендів та асортименту. Віртуальна примірочна повинна підтримувати створення 3D-аватара на основі фото або параметрів користувача, примірочку одягу в режимі 3D або через доповнену реальність, зміну пози, повороту, рендеринг одягу в реальному часі. Процес покупки передбачає додавання до кошика, вибір способу оплати, оформлення замовлення, інтеграцію з платіжними сервісами (Stripe, LiqPay, Apple Pay, Google Pay), отримання підтвердження та чека. Для адміністраторів має бути реалізовано інтерфейс управління товарами, замовленнями, клієнтами, аналітикою, оновленням каталогу та модерацією вмісту.

Інформаційна платформа повинна бути продуктивною — забезпечувати швидку реакцію інтерфейсу та рендеринг примірки не довше 2–3 секунд. Вона має масштабуватися горизонтально для регулювання навантаження в пікові періоди. Безпека передбачає шифрування даних (TLS/HTTPS), відповідність стандартам PCI DSS при опрацюванні платежів, наявність 2FA для входу. Надійність реалізується через журналювання, відновлення після збоїв, регулярне резервне копіювання даних. Інтерфейс має бути адаптивним для мобільних і десктопних платформ, а UX інтуїтивно зрозумілим навіть у 3D-режимах. Інформаційна платформа повинна бути інтегрована з CRM для ведення історії клієнтів, персоналізації маркетингу та email-кампаній, підтримувати API доставки (наприклад, Нова Пошта), взаємодіяти з аналітичними сервісами (Google Analytics або BI-дашбордом), а також мати відкритий API для підключення мобільного застосунку або сторонніх партнерських сервісів. Усе це забезпечує створення сучасної, багатофункціональної, масштабованої та інтелектуальної e-commerce платформи з віртуальною примірочною.

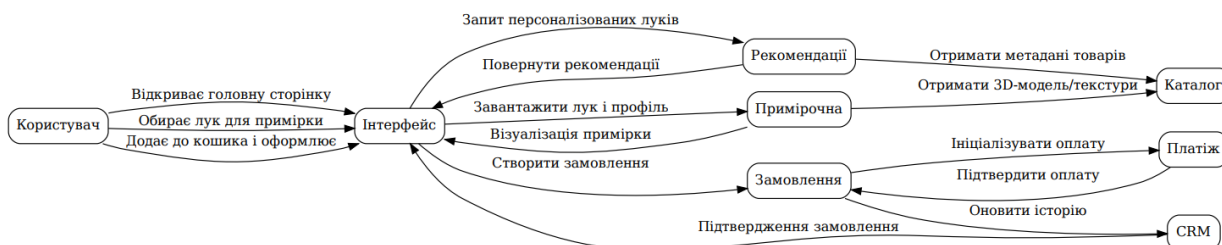


Рис. 1 Діаграма послідовності інформаційної платформи інтернет-магазину одягу з віртуальною примірочною

Критерії оцінювання складності системи

У контексті теорії складних систем, інформаційна система (платформа) вважається складною, якщо вона демонструє властивості нелінійності, самоорганізації, багаторівневої взаємодії, адаптивності та містить невизначеності у її поведінці. Складна система складається з великої кількості компонентів (підсистем, модулів, агентів), які взаємодіють між собою. Наприклад, в e-commerce платформі це можуть бути модулі аналітики, рекомендацій, опрацювання замовлень, CRM, безпеки тощо. У складній системі важлива не лише кількість елементів, а структура та інтенсивність їхніх взаємодій. Нелінійність системи передбачає, що зміни на вході не завжди пропорційні змінам на виході. Маленька подія (наприклад, негативний відгук користувача або технічний збій) може спричинити значні наслідки для всієї системи (ефект "метелика"). Емерджентність (виникнення нових властивостей) у поведінці системи не зводиться до суми властивостей її частин. Наприклад, загальний "досвід користувача" формується не лише UI, а як результат взаємодії багатьох модулів (UX, швидкість, якість рекомендацій, опрацювання даних). Складна система здатна до адаптивності та самоорганізації, тобто зміни своєї поведінки залежно від змін середовища. Наприклад, AI-рекомендаційний модуль змінює стратегію на основі поведінки користувачів. Децентралізоване управління складною системою передбачає відсутність єдиного контролюючого центра. Кожна частина системи (наприклад, мікросервіс) може приймати локальні рішення, що впливають на глобальну поведінку системи. Ієрархічна структура складної системи переважно містить декілька рівнів абстракції. Система складається з підсистем, які самі можуть бути складними. Наприклад, база даних користувачів → підсистема обліку → система звітності → аналітична надбудова. Складна система вирізняється високим рівнем невизначеності та чутливості до початкових умов і

має багато змінних параметрів, поведінку яких важко точно спрогнозувати. Навіть незначні зміни на одному рівні можуть непередбачувано вплинути на інші.

Обґрунтування складності системи інтернет-магазину одягу з віртуальною примірочною

Інформаційна платформа інтернет-магазину одягу з віртуальною примірочною та модулем персоналізованих дизайнерських рішень є складною, інтегрованою та інтелектуальною інформаційною системою, яка поєднує класичні засоби електронної комерції з сучасними технологіями моделювання, опрацювання даних та методами штучного інтелекту. Основними ознаками складності розробленої інформаційної платформи модульність і багаторівнева архітектура, гетерогенність технологій, динамічна взаємодія з користувачем, високий ступінь інтеграції, підтримка адаптації та самонавчання.

Інформаційна платформа інтернет-магазину з віртуальною примірочною та AI-дизайном одягу складається з багатьох функціональних компонентів, кожен із яких виконує автономні завдання, але водночас постійно взаємодіє з іншими. Модулі управління каталогом товарів; віртуальної примірочної (з 3D/AR-рендерингом); персоналізованих дизайнерських рішень (AI/ML); платіжної підсистеми; CRM-інтерфейс для адміністраторів; база даних користувачів та замовлень функціонують як окремі сутності, але тісно пов'язані через обмін даними. Кожен модуль має різну природу — візуальний (3D-рендеринг одягу в браузері), обчислювальний (AI для створення образів), транзакційний (платіжні шлюзи) або аналітичний (збір поведінкових даних користувача) — і кожен з них працює на власній технологічній базі - від WebGL і ARKit до Scikit-learn, FastAPI або Stripe API.

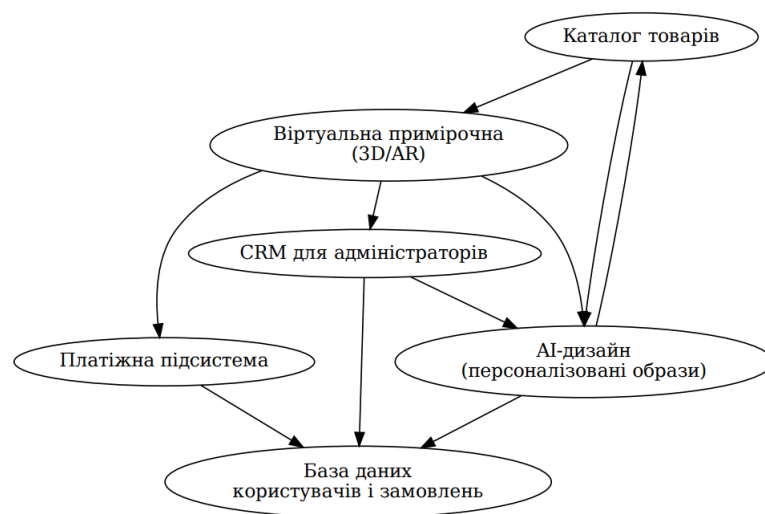


Рис.2. Взаємодія компонентів інформаційної системи інтернет-магазину

Модулі взаємодіють між собою через різні типи зв'язків, серед яких синхронні API-виклики, асинхронні події, повідомлення через черги RabbitMQ, а також потокові або івент-драйвінгові механізми. Зміна в одному компоненті, наприклад, у каталозі товарів або в правилах AI-моделі, може вплинути на результати в інших, як-от у примірочній або в системі персоналізації. Такі зв'язки створюють складну систему взаємозалежностей, де неможливо ізолювати розглядати жоден елемент без урахування контексту всієї системи. Зі збільшенням компонентів і їхніх функцій кількість можливих маршрутів взаємодії між ними зростає експоненційно, що ускладнює управління, тестування та прогнозування поведінки платформи. Поведінка інформаційної платформи не є лінійною або передбачуваною — вона формується як результат множинних взаємодій і реакцій, які неможливо пояснити лише через аналіз окремих її частин. В умовах динамічного середовища система адаптується, змінює логіку формування образів, персоналізує рекомендації, коригує правила в залежності від історії замовлень, настроїв користувача чи сезонних змін. Таким чином, інформаційна платформа містить велику кількість взаємодіючих елементів і має складну, гнучку та адаптивну архітектуру, що відповідає ключовим принципам теорії складних систем.

Інформаційна платформа інтернет-магазину з віртуальною примірочною та AI-дизайном одягу є наочним прикладом системи, що повністю відповідає критерію нелінійності в межах теорії складних систем. Її поведінка не є пропорційною чи передбачуваною у відповідь на зміну окремих вхідних параметрів, а реакції системи формуються внаслідок взаємодії багатьох підсистем, контексту і впливу на пов'язані компоненти. Навіть незначна зміна у вхідних даних — наприклад, оновлення розміру одягу, статури користувача чи його стилістичних уподобань в анкеті — може спричинити повністю інший набір рекомендованих образів, які буде згенеровано AI-модулем. Ці нові образи передаються у віртуальну примірочну, яка створює іншу візуалізацію, що може змінити сприйняття одягу користувачем. Зміна лише одного колірного параметра може призвести до відмови від покупки, падіння конверсії або появи негативного зворотного зв'язку, що у свою чергу вплине на рейтинг товару в каталозі, рекомендаційні моделі та статистику продажів. Нелінійність проявляється і в маркетингових сценаріях. Навіть одна негативна подія, як-от збій у віртуальній примірочній або помилка у формуванні розміру, може призвести до каскаду втрат — зниження довіри, погіршення конверсії, збільшення

навантаження на службу підтримки та негативних відгуків у публічному просторі. Усі ці ефекти не є лінійно передбачуваними — невелика локальна проблема може мати значні глобальні наслідки. Також, якщо система рекомендацій змінить ваги пріоритетів (наприклад, почне сильніше враховувати сезон або тренди), навіть за незмінного товарного складу та профілю користувача результати рекомендацій можуть стати абсолютно іншими. І навпаки — масивне оновлення даних у каталозі не завжди призведе до відчутних змін на рівні користувацького досвіду, бо AI-модель може відфільтрувати нові товари як нерелевантні. Ще один прояв нелінійності — порогові стани. Система працює стабільно до певного навантаження (кількість сесій, розмір зображень, число одночасних запитів до AI), але після цього виникає різке збільшення часу відповіді або навіть відмова підсистем (наприклад, примірочна перестає рендерити аватари або зависають платіжні транзакції). Такі "злами стабільності" неможливо пояснити лише обсягом вхідних даних — вони формуються на перетині кількох залежностей. Загалом, система інтернет-магазину з віртуальною примірочною та AI-дизайном є нелінійною за своєю природою, оскільки її реакція на зміну даних або середовища визначається не окремими факторами, а їхнім комплексним, багатоплановим і часом прихованим впливом. Вона формує контекстуально чутливу поведінку, що постійно змінюється в залежності від поєднання внутрішніх параметрів, дій користувача і зовнішніх умов. Саме тому вона ілюструє критерій нелінійності в повній мірі, будучи типовим прикладом складної, самонавчальної, багатомодульної інформаційної системи з високим рівнем емерджентної поведінки.

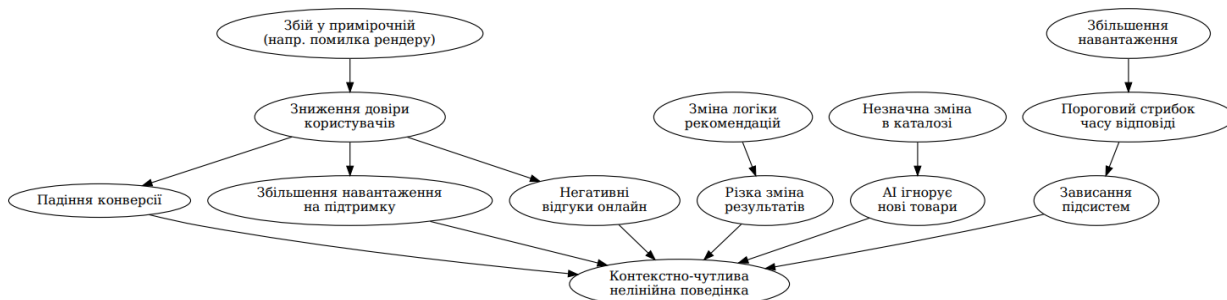


Рис. 3. Нелінійність інформаційної система інтернет-магазину з віртуальною примірочною

В інформаційній платформі інтернет-магазину з віртуальною примірочною та AI-дизайном одягу в ній проявляються нові властивості та форми поведінки, які не можна пояснити або передбачити, розглядаючи окремі модулі системи ізольовано. Такі властивості виникають у результаті взаємодії між компонентами, контекстного опрацювання даних, реакцій на поведінку користувача та адаптації до динамічного середовища, що характерно для складних систем з емерджентністю. Користувацький досвід, наприклад, формується не просто як результат роботи інтерфейсу — він виникає через складну комбінацію дій. AI-модуль аналізує вподобання, генерує персоналізовані образи, які передаються у віртуальну примірочну, де візуалізуються з урахуванням анатомії користувача. Користувач взаємодіє з образом, змінює ракурс, позу чи одяг, після чого система адаптує рекомендації та оновлює інтерфейс у реальному часі. Це породжує нову поведінку системи, якої не існувало на етапі первинного проектування — наприклад, зміну вподобань або раптове збільшення продажів нетипових товарів внаслідок AI-композиції, яка «зайшла» користувачам візуально. Сам по собі жоден з модулів (ані AI, ані каталог, ані примірочна) не здатен створити такий ефект — він виникає тільки внаслідок взаємодії. Ще одним проявом емерджентності є врахування зміни вподобань користувача під впливом генеративного дизайну. Користувач, який ніколи не обирав, скажімо, речі у пастельних тонах, може змінити свою поведінку, побачивши згенеровані образи в такій гамі в контексті актуального сезону і тренду. Така реакція — результат інтеграції AI-моделі, аналітики, знань про моду, сезони і особисті дані користувача. Вона не була явно запрограмована, але виникла як нова властивість системи — формування смаку.

Також у системі постійно змінюється результат рекомендацій і поведінка навіть при схожих вхідних умовах. Наприклад, два користувачі з однаковими параметрами тіла можуть отримати різні образи — через контекстну обробку даних: історію переглядів, динаміку попередніх дій, час доби, актуальні тренди. Отже, поведінка системи є непередбачуваною у класичному сенсі. Крім того, емерджентність проявляється у реакції на зовнішні впливи: наприклад, зміна доступності товару чи негативний відгук про конкретну річ може змінити ланцюг подій — викликати перебудову луку, вплинути на релевантність, оновити позиції товарів у списках — навіть якщо модуль рекомендацій не був напряму змінений. Це показує, що система реагує як єдине ціле, навіть якщо зміна відбулась лише в одному її компоненті. У тестуванні така система поводить складно: передбачити результати A/B-тестів, вплив незначних змін у інтерфейсі або логіці AI на загальний продаж або конверсію важко, оскільки результат залежить не тільки від змінного фактору, а й від повної конфігурації системи та взаємодії компонентів на момент виконання. Отже, інформаційна система інтернет-магазину з віртуальною примірочною та AI-дизайном демонструє повноцінну емерджентність. Її нові властивості з'являються в результаті взаємодії модулів, змін у поведінці користувача, адаптації до контексту та реакції на зовнішнє середовище. Це робить її поведінку такою, що не зводиться до логіки окремих частин, а формується як результат складного, динамічного цілого, — тобто цілком відповідає критерію емерджентності за теорією складних систем.

Інформаційна система інтернет-магазину з віртуальною примірочною та AI-дизайном одягу повною мірою відповідає критерію адаптивності та самоорганізованості, оскільки її поведінка змінюється залежно від

динамічного середовища, взаємодій з користувачами та внутрішніх алгоритмічних рішень, які приймаються автоматично, без централізованого керування. Система виявляє адаптивну поведінку у багатьох аспектах. Наприклад, AI-модуль персоналізованих дизайнерських рішень змінює рекомендації на основі того, як користувач взаємодіє з одягом, що додає у вибране, що приміряє, які стилі або кольори ігнорує. Алгоритми машинного навчання аналізують ці дані й коригують свої ваги та правила, що впливає на майбутні образи. У такий спосіб система навчається на досвіді — без прямого втручання адміністратора або програміста. Водночас віртуальна примірочна адаптується до типу пристрою, якості підключення, параметрів тіла користувача, вибираючи оптимальні 3D-моделі, пози або фонове середовище.

Система контекстно залежна. Однакові вхідні дані можуть призвести до різної поведінки залежно від контексту — сезону, наявності акцій, трендів, поточного асортименту або навіть часу доби. Наприклад, той самий користувач у листопаді та в червні отримає абсолютно різні стилістичні рішення, навіть якщо його профіль не змінився. Також можливі динамічні переналаштування: при підвищеному навантаженні (наприклад, у «чорну п'ятницю») система автоматично змінює частоту оновлення рекомендацій, активує спрощені шаблони примірочної або кешує топ-пропозиції.

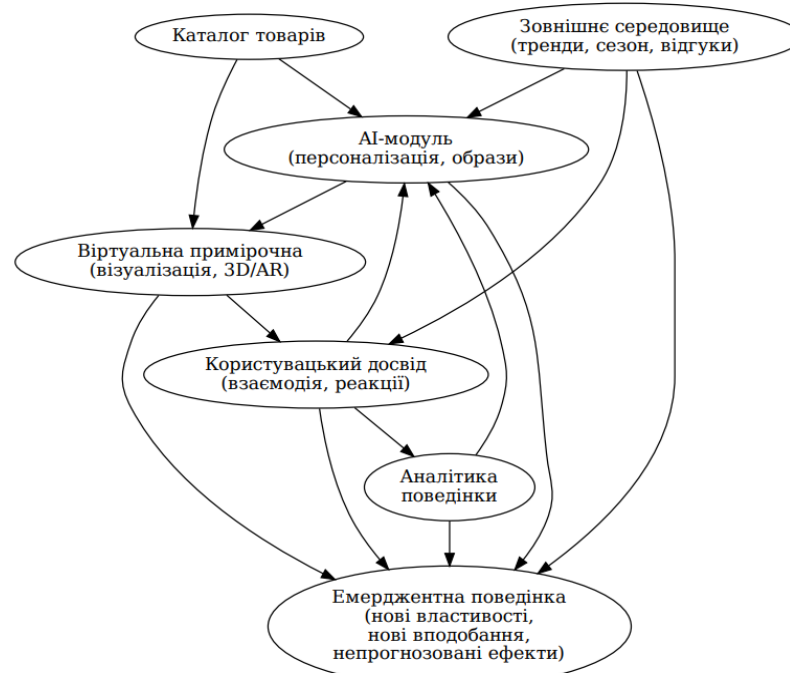


Рис.4 Емерджентність інформаційної системи інтернет-магазину з віртуальною примірочною

Самоорганізація системи проявляється у здатності змінювати свою структуру без зовнішнього втручання. Наприклад, якщо певна категорія товарів починає масово ігноруватися або отримує негативні оцінки, система може автоматично зменшити її пріоритет у рекомендаціях або повністю виключити з релевантних образів. Таке рішення приймається на основі агрегованих локальних реакцій користувачів, а не жорстких правил, заданих вручну. У CRM-модулі при виявленні певного типу поведінки (наприклад, повернення товарів однієї марки) система може ініціювати автоматичне налаштування email-маркетингової кампанії з альтернативними пропозиціями.

Технічно ця адаптивність і самоорганізованість підтримується завдяки архітектурі, що базується на мікросервісах і подієвій логіці. Кожен модуль — від AI до платежів — може автономно приймати рішення, реагувати на події, адаптувати параметри. Наприклад, зміна наявності товару в каталозі тригерить перерахунок look'ів, що синхронізується з примірочною та кошиком. Такі взаємодії формують самоналаштувану мережу рішень, яка оновлюється в реальному часі без централізованого контролю.

Таким чином, інтернет-магазин з віртуальною примірочною та AI-дизайном демонструє усі ознаки адаптивної і самоорганізованої системи. Він не тільки реагує на зміну даних, а й самостійно перебудовує логіку, структуру та стратегії взаємодії — зберігаючи при цьому узгодженість, ефективність та орієнтацію на користувача в умовах динамічного середовища. Це робить його типовим прикладом складної адаптивної інформаційної системи нового покоління.

Інформаційна система інтернет-магазину з віртуальною примірочною та AI-дизайном одягу цілком відповідає критерію децентралізованого управління, оскільки її архітектура побудована на основі взаємодії автономних модулів, які приймають локальні рішення й взаємодіють між собою через узгоджені протоколи без централізованого контролера. У цій системі кожна частина функціонує незалежно: модуль віртуальної примірочної відповідає за генерацію 3D-візуалізації, самостійно адаптуючись до потужності пристрою користувача й обираючи рівень деталізації моделей одягу. Модуль AI-дизайну, у свою чергу, аналізує поведінку користувача й генерує персоналізовані образи, оновлюючи свою логіку рекомендацій без зупинки або

втручання в роботу інших частин системи. Каталог товарів, платіжна система, кошик, аналітика, CRM — усі вони реалізовані як окремі сервіси або мікросервіси, кожен з яких має власну логіку, базу даних і API для взаємодії.

Подієво-орієнтована логіка управління дозволяє модулям реагувати на події, а не очікувати команди з центра. Наприклад, коли користувач обирає певний look, ця подія ініціює паралельну активацію кількох модулів: примірочна отримує дані для візуалізації, кошик готується до обробки покупки, CRM оновлює профіль, аналітика фіксує дію. Немає єдиного модуля, який директивно координує ці процеси — кожен компонент діє за своєю логікою у відповідь на подію.



Рис.5. Адаптивність і самоорганізованість інформаційної системи інтернет-магазину з віртуальною примірочною

Децентралізованість також проявляється в локальних рішеннях щодо кешування та оптимізації. Наприклад, кожен фронтенд-сервер сам вирішує, які товари або рекомендації кешувати, залежно від запитів конкретного користувача. Також безпекові обмеження — такі як автентифікація або шифрування — реалізуються окремо на рівні кожного модуля, а не через загальний монолітний фаєрвол.

Система демонструє масштабованість: нові модулі — наприклад, сервіс обробки повернень або новий AI-фільтр — можуть бути додані без переробки всієї системи. Вона також має високу стійкість до збоїв: навіть якщо, скажімо, тимчасово недоступна аналітика або CRM, користувач все одно зможе взаємодіяти з примірочною, каталогом і оформити замовлення. Це досягається завдяки незалежності модулів і відсутності централізованої критичної точки відмови.

Таким чином, інтернет-магазин з віртуальною примірочною та AI-дизайном є досконалим прикладом системи з децентралізованим управлінням, де локальні рішення окремих модулів породжують глобальну поведінку, а архітектура підтримує гнучкість, автономність і високу адаптивність до змін. Це відповідає всім основним ознакам децентралізованої складної системи за теорією складних систем. Інформаційна система інтернет-магазину з віртуальною примірочною та AI-дизайном одягу цілком відповідає критерію ієрархічної структури з багатьма рівнями абстракції, оскільки має виражену багаторівневу архітектуру, де кожен рівень виконує окрему функцію та взаємодіє з іншими через інтерфейси або API. На нижньому рівні — знаходяться технічні компоненти, зокрема бази даних (наприклад, PostgreSQL або MongoDB), які зберігають інформацію про користувачів, товари, транзакції, лог-файли взаємодії тощо. Вони формують основу для всього подальшого опрацювання. Наступний рівень складають сервіси опрацювання даних — модулі, які відповідають за авторизацію, реєстрацію, додавання товарів у кошик, формування замовлень, підтвердження платежів. Кожен із цих сервісів має власну логіку, правила валідації та іноді — окрему базу даних (як у мікросервісній архітектурі).

Ще вище — функціональні підсистеми, зокрема: віртуальна примірочна (3D-рендеринг, сканування аватара, AR-візуалізація), AI-дизайнер (модулі генерації образів, ранжування, класифікації), рекомендаційна система (аналіз уподобань, поведінкові патерни), підсистема замовлень (інвентаризація, логістика, підтвердження доставки), CRM тощо. Кожна з цих підсистем об'єднує кілька сервісів, має свої інтерфейси та внутрішню взаємодію.

На надсистемному рівні знаходиться аналітика, яка агрегує дані з різних підсистем: аналізує поведінку користувачів у примірочній, ефективність дизайнерських рекомендацій, частоту покинення кошика, ефективність каналів комунікації. Такі модулі працюють із великими обсягами даних і приймають управлінські або автоматизовані рішення. На верхньому рівні — інтерфейс користувача. Вебпортал чи мобільний застосунок, що дозволяє користувачу взаємодіяти з усією багаторівневою системою через спрощений візуальний інтерфейс. Також тут розташований адміністративний інтерфейс для керування товарами, користувачами, статистикою тощо. Крім вертикальної ієрархії, система має перехресні зв'язки між рівнями — наприклад, AI-дизайнер взаємодіє як з даними користувача, так і з результатами примірки; аналітика працює з даними з CRM, логів платежів і рекомендацій.



Рис. 6 Децентралізоване управління інформаційною системою інтернет-магазину з віртуальною примірочною

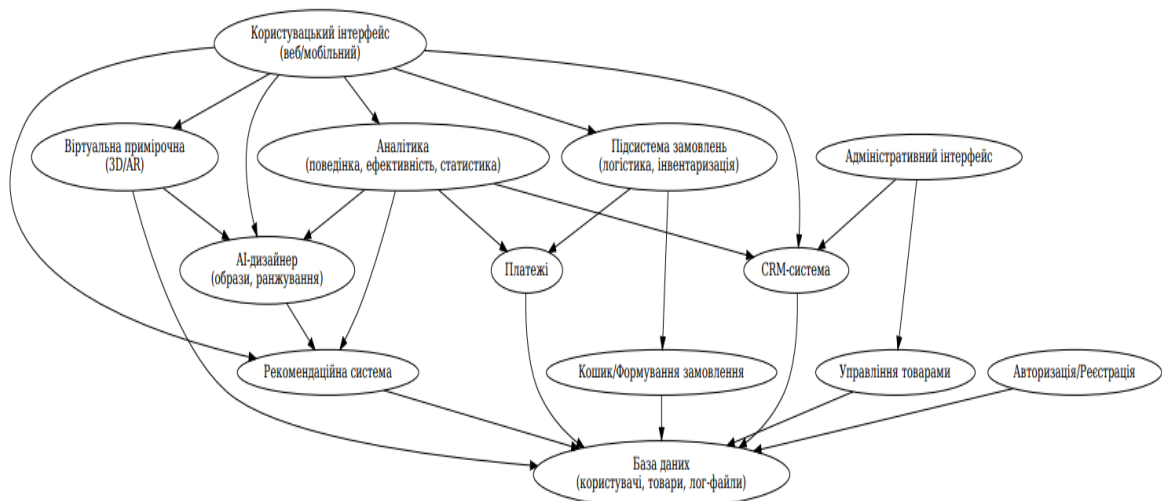


Рис.7. Ієрархічна структура інформаційної системи інтернет-магазину з віртуальною примірочною з багатьма рівнями абстракції

Інформаційна система інтернет-магазину з віртуальною примірочною та AI-дизайном одягу чітко відповідає критерію високого рівня невизначеності та чутливості до початкових умов, який є характерною ознакою складних систем. Насамперед, високий рівень невизначеності зумовлений численними зовнішніми та внутрішніми факторами, які не піддаються повному контролю або передбаченню. До зовнішніх факторів належать: зміни модних трендів, сезонність, поведінка конкурентів, соціальні впливи (наприклад, вплив інфлюенсерів), доступність товарів на складі, коливання валют (у випадку мультивалютної системи). Внутрішні джерела невизначеності включають змінність уподобань користувача, неповноту чи неточність його профілю, зміну структури асортименту або логіки рекомендацій.

Особливо яскраво невизначеність проявляється у взаємодії з AI-модулем. Навіть незначна зміна у вхідних параметрах — наприклад, користувач оновив дані про фігуру або вподобання — може спричинити повністю інший набір рекомендованих образів. Подібно, зміна ваг в моделі ранжування, наприклад зміщення акценту зі стилю на сезонність, може кардинально змінити результати. Це вказує на чутливість системи до початкових умов: малі варіації у вхідних даних викликають непропорційні зміни у вихідних результатах. Також слід врахувати чутливість примірочної до параметрів тіла та якості зображення/фото, на основі яких будується 3D-аватар. Наприклад, помилка в параметрі «об'єм талії» на кілька сантиметрів може призвести до некоректного візуального ефекту, що змінить сприйняття образу користувачем. У підсистемі поведінкового аналізу та персоналізації також фіксується сильна залежність від початкових дій: перші кліки користувача на сайті формують початкову модель вподобань, яка визначає наступні рекомендації. Якщо ці перші дії були випадковими або нехарактерними — система може побудувати хибний профіль, що змінить подальшу взаємодію.

Таким чином, інформаційна система інтернет-магазину з віртуальною примірочною та AI-дизайном одягу функціонує в умовах багатофакторної, контекстно-залежної невизначеності, а її поведінка має виражену чутливість до початкових умов, що унеможливує повне прогнозування результатів взаємодії. Це відповідає

ключовим характеристикам складної системи згідно з теорією складних систем і підкреслює необхідність адаптивного, гнучкого підходу до проектування, тестування та експлуатації такої платформи.

Інтернет-магазин з віртуальною примірочною та AI-дизайном є типовим прикладом складної ієрархічної інформаційної системи, де на кожному рівні реалізовані окремі підсистеми з високим ступенем інтеграції, які взаємодіють через чітко визначені інтерфейси, формуючи багаторівневу архітектуру, характерну для складних систем.

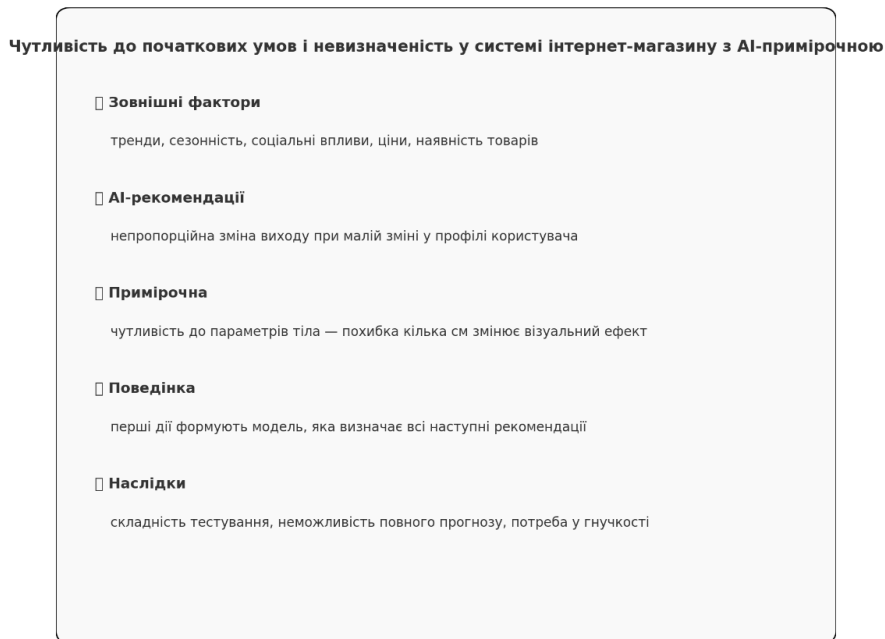


Рис.8. Інформаційна система інтернет-магазину з віртуальною примірочною в умовах багатфакторної, контекстно-залежної невизначеності

На основі проведеного аналізу можемо сформулювати модель оцінювання складності інформаційної системи з урахуванням основних критеріїв складності, що згадуються у теорії складних систем і детально представлені у вашому документі.

Узагальнено формулу оцінки складності інформаційної системи:

$$C_{total} = w_1N + w_2I + w_3E + w_4A + w_5D + w_6H + w_7U, \quad (2.1.)$$

де N — кількість взаємодіючих елементів, I — ступінь нелінійності, E — наявність емерджентних властивостей, A — рівень адаптивності та самоорганізації, D — ступінь децентралізованості управління, H — ієрархічна глибина системи, U — індекс чутливості до невизначеності / початкових умов, $w_1 \dots w_7$ — вагові коефіцієнти для відповідних критеріїв, які задаються експертом або визначаються емпірично.

Таблиця 1

Елементи формули комплексного оцінювання інформаційної системи

Позначення	Назва критерію	Пояснення
Ctotal	Загальний рівень складності системи	Інтегральна міра, яка враховує всі ключові аспекти складності
N	Нелінійність системи	Ступінь непередбачуваності реакцій на зміну параметрів або зовнішнього впливу
I	Кількість взаємодіючих елементів	Кількість модулів, підсистем і зв'язків між ними
E	Емерджентність	Рівень нових властивостей, що виникають унаслідок взаємодії елементів
A	Адаптивність і самоорганізованість	Здатність системи змінювати логіку дій без втручання ззовні
D	Децентралізованість управління	Рівень автономності компонентів і відсутності єдиного центру керування
H	Ієрархічність і багаторівнева структура	Складність організації системи за рівнями абстракції, глибина взаємозалежностей
U	Невизначеність і чутливість до початкових умов	Залежність поведінки системи від незначних варіацій у вхідних даних, множинність сценаріїв та ефект невизначеності
$w_1 \dots w_6$	Вагові коефіцієнти	Визначають відносну важливість кожного критерію залежно від типу системи або контексту

Кожен параметр N, I, E, A, D, H можна оцінити на шкалі від 0 до 1 або 0 до 10, залежно від бажаної точності. Вагові коефіцієнти w_i можна задати емпірично (наприклад, у системі з високим рівнем взаємодії — $w_2 > w_5$). Формула дозволяє моделювати складність у сценаріях, де потрібно оцінити ризики, зусилля на тестування, масштабованість або гнучкість архітектури. Оцінимо складність інформаційної системи інтернет-магазину з віртуальною примірочною та AI-дизайном одягу за узагальненою формулою (2.1.).

Припустимо, що вагові коефіцієнти усі рівні ($w_i=1$). На основі експертного оцінювання кожного із критеріїв за десятибальною шкалою (0 — мінімум, 10 — максимум) присвоїмо їм вагові коефіцієнти.

Таблиця 2

Результати оцінювання критеріїв.

Критерій	Позначення	Оцінка (0–10)	Обґрунтування
Нелінійність	N	9	Поведінка системи змінюється непередбачувано внаслідок дій користувача, зміни даних, сезонних трендів, порогових ефектів
Кількість взаємодіючих елементів	I	10	Система містить численні модулі: AI-дизайнер, віртуальна примірочна, каталог, платіжна система, CRM, аналітика — кожен із них взаємодіє з іншими
Емерджентність	E	9	Загальний користувацький досвід формується як результат взаємодії модулів, що породжує нові властивості (наприклад, зміна смаку користувача)
Адаптивність і самоорганізованість	A	9	AI-модуль адаптується до дій користувача, система перебудовує логіку без втручання ззовні
Децентралізованість	D	8	Архітектура системи реалізована на основі мікросервісів із подієвим керуванням — кожен модуль автономний
Ієрархічність	H	9	Система має багаторівневу структуру від баз даних і сервісів до аналітичних і користувацьких інтерфейсів, з перехресними зв'язками
Невизначеність і чутливість до початкових умов	U	10	Невеликі зміни у вхідних параметрах (профіль користувача, обрані товари, поведінка) можуть спричинити радикально інші результати; складно передбачити наслідки

Обчислення за результатами експертного оцінювання

$$C_{total} = 1 \cdot 9 + 1 \cdot 10 + 1 \cdot 9 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 9 + 1 \cdot 10 = 64$$

Можливий максимум: $7 \cdot 10 = 70$

$$C_{total} = 64/70$$

Система має дуже високий рівень складності (90%), що цілком відповідає її опису як інтегрованої, адаптивної, інтелектуальної, багаторівневої інформаційної системи з сильним впливом поведінкових і контекстних чинників.

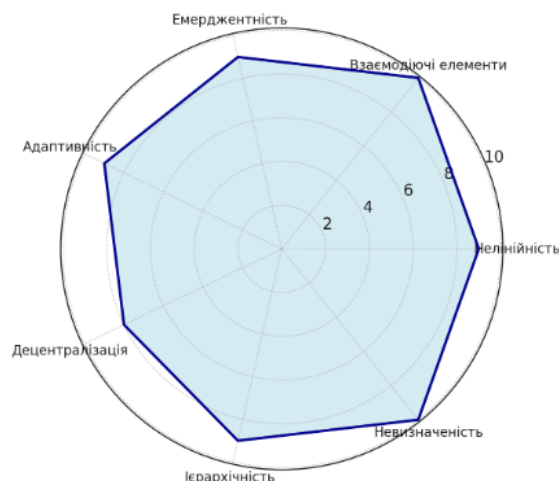


Рис. 9. Результати оцінювання складності ІС інтернет-магазину одягу з AI-примірочною

Наведена формула відображає інтегральний підхід до кількісної оцінки складності інформаційної системи, що базується на ключових принципах теорії складних систем, і може бути використана для порівняння альтернативних архітектур, визначення ризиків, ресурсного планування або проектної експертизи.

Висновки

У статті розглянуто інтернет-магазин одягу з віртуальною примірочною та AI-дизайном як приклад складної інформаційної системи, що поєднує елементи класичної електронної комерції з інтелектуальними

технологіями персоналізації, 3D/AR-візуалізації та аналітики. Проведений аналіз підтвердив, що дана система повністю відповідає ключовим критеріям складності згідно з теорією складних систем: високій кількості взаємодіючих елементів, нелінійній поведінці, емерджентності, адаптивності, децентралізованому управлінню, ієрархічній структурі та чутливості до початкових умов. Поведінка платформи виникає не як сума функцій окремих модулів, а як результат їх взаємодії, динамічного навчання й реакцій на середовище. Визначено, що навіть незначні зміни у вхідних параметрах можуть спричинити складні каскадні ефекти, що унеможлиблює лінійне прогнозування результатів. Така властивість вимагає застосування нових підходів до проектування, тестування та підтримки таких систем — з фокусом на контекстну адаптацію, гнучкість і стійкість до змін.

Запропонована математична модель оцінювання складності дозволяє кількісно оцінити рівень складності системи за сукупністю критеріїв, що сприяє прийняттю обґрунтованих інженерних рішень на етапах проектування та розвитку платформи. Отримані результати можуть бути корисними при розробці сучасних персоналізованих рішень у сфері fashion-tech, smart retail і цифрової моди, а також при моделюванні поведінки користувачів і вдосконаленні UX-компонентів складних інтерактивних систем.

Література

1. Bai, S., Zhou, H., Li, Z., Zhou, C., & Yang, H. (2022). Single Stage Virtual Try-On Via Deformable Attention Flows. In Avidan S., Brostow G., Cissé M., Farinella G.M., & Hassner T. (Eds.), *Lect. Notes Comput. Sci.*: Vol. 13675 LNCS (pp. 409–425). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; Scopus. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19784-0_24.
2. Miell, S., Gill, S., & Vazquez, D. (2018). Enabling the digital fashion consumer through fit and sizing technology. *Journal of Global Fashion Marketing*, 9(1), 9–23. <https://doi.org/10.1080/20932685.2017.1399083>
3. Minar, M. R., Tuan, T. T., & Ahn, H. (2021). CloTH-VTON+: Clothing Three-Dimensional Reconstruction for Hybrid Image-Based Virtual Try-ON. *IEEE Access*, 9, 30960–30978. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3059701>.
4. Lee, H.-J., Koo, B., Ahn, H.-E., Kang, M., Lee, R., & Park, G. (2021). Full body virtual try-on with semi-self-supervised learning. *Electronics Letters*, 57(24), 915–917. <https://doi.org/10.1049/ell2.12307>.
5. Sivaranjani, Lingala & Rachamadugu, Sandeep & Reddy, B.V. & Avula, Basi Reddy & Muthusamy, Sakthivel & Depuru, Sivakumar. (2023). Fashion Recommendation System Using Machine Learning. 1367-1374. 10.1109/ICOSEC58147.2023.10275967
6. Holland, John H. (2014) Complexity: A Very Short Introduction, Very Short Introductions (Oxford, 2014; online edn, Oxford Academic, 24 July 2014), <https://doi.org/10.1093/actrade/9780199662548.001.0001>
7. Mitchell, Melanie & Toroczkai, Zoltan. (2010). Complexity: A Guided Tour. *Physics Today*. 63. 47-. 10.1063/1.3326990.
8. Amy B.Z. Zhang, Siyun Wang , Raphael Louca , Karl Ni & Diane Hu (2023) Quantifying Exploration Preference for E-Commerce Recommendation 6th Workshop on Online Recommender Systems and User Modeling. <https://ceur-ws.org/Vol-3549/>
9. Lehkyi M., Zhuravchak L. (2024) Virtual Online Garment Fitting Using Augmented Reality Information systems and networks, Issue 15, 184 – 199 <https://doi.org/10.23939/sisn2024.15.1>
10. Adikari, Sasadara & Ganegoda, Naleen & Meegama, Ravinda & Wanniarachchi, W. K.. (2020). Applicability of a Single Depth Sensor in Real-Time 3D Clothes Simulation: Augmented Reality Virtual Dressing Room Using Kinect Sensor. *Advances in Human-Computer Interaction*. 2020. 1-10. 10.1155/2020/1314598.

References

1. Bai, S., Zhou, H., Li, Z., Zhou, C., & Yang, H. (2022). Single Stage Virtual Try-On Via Deformable Attention Flows. In Avidan S., Brostow G., Cissé M., Farinella G.M., & Hassner T. (Eds.), *Lect. Notes Comput. Sci.*: Vol. 13675 LNCS (pp. 409–425). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; Scopus. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19784-0_24.
2. Miell, S., Gill, S., & Vazquez, D. (2018). Enabling the digital fashion consumer through fit and sizing technology. *Journal of Global Fashion Marketing*, 9(1), 9–23. <https://doi.org/10.1080/20932685.2017.1399083>
3. Minar, M. R., Tuan, T. T., & Ahn, H. (2021). CloTH-VTON+: Clothing Three-Dimensional Reconstruction for Hybrid Image-Based Virtual Try-ON. *IEEE Access*, 9, 30960–30978. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3059701>.
4. Lee, H.-J., Koo, B., Ahn, H.-E., Kang, M., Lee, R., & Park, G. (2021). Full body virtual try-on with semi-self-supervised learning. *Electronics Letters*, 57(24), 915–917. <https://doi.org/10.1049/ell2.12307>.
5. Sivaranjani, Lingala & Rachamadugu, Sandeep & Reddy, B.V. & Avula, Basi Reddy & Muthusamy, Sakthivel & Depuru, Sivakumar. (2023). Fashion Recommendation System Using Machine Learning. 1367-1374. 10.1109/ICOSEC58147.2023.10275967
6. Holland, John H. (2014) Complexity: A Very Short Introduction, Very Short Introductions (Oxford, 2014; online edn, Oxford Academic, 24 July 2014), <https://doi.org/10.1093/actrade/9780199662548.001.0001>
7. Mitchell, Melanie & Toroczkai, Zoltan. (2010). Complexity: A Guided Tour. *Physics Today*. 63. 47-. 10.1063/1.3326990.
8. Amy B.Z. Zhang, Siyun Wang , Raphael Louca , Karl Ni & Diane Hu (2023) Quantifying Exploration Preference for E-Commerce Recommendation 6th Workshop on Online Recommender Systems and User Modeling. <https://ceur-ws.org/Vol-3549/>
9. Lehkyi M., Zhuravchak L. (2024) Virtual Online Garment Fitting Using Augmented Reality Information systems and networks, Issue 15, 184 – 199 <https://doi.org/10.23939/sisn2024.15.1>
10. Adikari, Sasadara & Ganegoda, Naleen & Meegama, Ravinda & Wanniarachchi, W. K.. (2020). Applicability of a Single Depth Sensor in Real-Time 3D Clothes Simulation: Augmented Reality Virtual Dressing Room Using Kinect Sensor. *Advances in Human-Computer Interaction*. 2020. 1-10. 10.1155/2020/1314598.