

Економіка

Орлова Катерина Олегівна

Незалежний дослідник, UI/UX дизайнер,

веб- та маркетинговий дизайнер

(Харків, Україна)

ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ АДАПТИВНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ У МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКАХ НА ОСНОВІ ПОВЕДІНКОВИХ ПАТЕРНІВ КОРИСТУВАЧІВ

***Анотація.** У цьому дослідженні фокус спрямовано на здійснення оцінювання економічної результативності адаптивних користувацьких інтерфейсів (AUI) у мобільних застосунках на тлі експоненційного зростання мобільного трафіку та посилення запиту на глибоку персоналізацію, орієнтовану на поліпшення бізнес-метрик. Наукова й прикладна значущість теми визначається дефіцитом уніфікованого методологічного апарату, який давав би змогу однозначно співвіднести складні поведінкові патерни користувачів із показниками повернення інвестицій (ROI) за істотних стартових витрат, характерних для розроблення AUI. Як домінуючу дослідницьку рамку використано поєднання концептуального моделювання онтології контексту та інструментарію машинного навчання з підкріпленням, зокрема Модель винагороди за юзабіліті. Проведений аналіз корпусу академічних робіт (Scopus, IEEE, ACM) та галузевих звітів (McKinsey, Gartner) демонструє, що впровадження AUI, як правило, пов'язане зі збільшенням операційних і капітальних витрат унаслідок потреби проектування та супроводу ускладнених дизайн-систем. Водночас адаптивна оптимізація інтерфейсу, що спирається на поведінкові дані, забезпечує істотне зниження когнітивного навантаження та частоти користувацьких помилок, що*

статистично транслюється у зростання конверсії (C/R) і збільшення довічної цінності клієнта (LTV). Додатково обґрунтовано, що AUI виступає значущим драйвером вилучення макроекономічної цінності, оцінюваної в трильйони доларів, зокрема в таких секторах, як охорона здоров'я та роздрібна торгівля. Подані матеріали мають виражену практичну застосовність для UI/UX-архітекторів, продуктових менеджерів та інвесторів, які ухвалюють рішення щодо масштабування цифрових продуктів і зорієнтовані на кількісне оцінювання ефективності дизайну.

Ключові слова: *адаптивний інтерфейс, поведінкові патерни, економічна доцільність, roi, usability reward model, машинне навчання, дизайн-система, конверсія, онтологія контексту, мобільний застосунок.*

Вступ. Актуальність дослідження задається системною зміною конфігурації цифрової взаємодії: мобільні застосунки закріпилися в ролі провідного каналу доступу до цифрових сервісів, витісняючи сценарії, орієнтовані на традиційний веб-браузинг. Digital 2020 фіксує, що застосунки становлять 10 із кожних 11 хвилин використання мобільних пристроїв, тоді як мобільний веб відповідає лише приблизно за 9% часу [17, 18]. Одночасно мобільні пристрої формують 50,1% часу, проведеного в інтернеті [18]. Ці дані підтримують висновок про те, що конкурентоспроможність мобільних продуктів дедалі частіше визначається якістю арр-взаємодії та здатністю інтерфейсу адаптуватися до контексту.

Зростання конкуренції та ускладнення користувацьких очікувань посилюють обмеженість уніфікованих статичних інтерфейсних рішень. В умовах насиченого ринку застосунки змушені оптимізувати не лише функціональність, а й корисність взаємодії, виражену у зниженні помилок, пришвидшенні ключових завдань і зростанні завершення цільових сценаріїв. Персоналізація та контекстна адаптація виступають прикладною

відповіддю на це завдання: практики UX-персоналізації підкреслюють необхідність узгодження контенту та інтерфейсних рішень із намірами й контекстом користувача [6], а стандартизаційні ініціативи (наприклад, семантика персоналізації) спрямовані на формалізацію параметрів адаптації [14].

Макроекономічний вимір додатково посилює значущість проблематики. McKinsey Global Institute показує, що сценарії advanced connectivity (включно з 5G та edge-підходами) можуть забезпечити приріст глобального ВВП у діапазоні \$1,2–2,0 трлн до 2030 року в ключових доменах застосування [4]. Водночас мобільна екосистема вже має масштаб, співставний із великими секторами економіки: за оцінкою GSMA Intelligence, у 2019 році мобільні технології та сервіси створили \$4,1 трлн економічної доданої вартості (4,7% ВВП) [19]. У цій логіці здатність інтерфейсу переводити технологічні можливості (швидкість, нові формати взаємодії, сенсорні канали) у зрозумілий та ефективний UX стає умовою вилучення цінності.

На рівні мікроекономіки (продукт/канал) економічний ефект персоналізації підтверджується даними консалтингових досліджень: McKinsey зазначає, що лідери персоналізації досягають зростання виручки на 5–15% і зростання ефективності маркетингових витрат на 10–30%, переважно через рекомендації та тригерні комунікації [20]. Однак методологічний розрив зберігається: відсутня сувора уніфікована схема, що дає змогу квантифікувати внесок адаптивного UI саме в ROI та відокремити його від супутніх чинників (маркетинг, асортимент, сезонність, зміни цін).

У науковій літературі сформовано помітний масив робіт, присвячених побудові концептуальних засад адаптивних інтерфейсів. Розробляються фреймворки, орієнтовані на самоадаптивні користувацькі інтерфейси для мобільних платформ, де ключовим механізмом часто виступають онтологічні моделі, призначені для формалізації та структурування

користувацького контексту [8]. Інтеграція онтологій із патернами UI-дизайну дає змогу проєктувати застосунки, здатні динамічно перебудовувати взаємодію відповідно до актуальних потреб користувача та параметрів середовища [8]. Емпіричні результати в межах цього напрямку вказують на позитивний вплив адаптивності на задоволеність користувача та сукупну продуктивність системи [7]. На технологічному рівні особлива увага концентрується на методах машинного навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL) як на інструменті безперервної автоматичної адаптації, що забезпечує поліпшення якості взаємодії за рахунок навчання системи та оптимізаційних процедур [1].

За наявності розвинених концептуальних та інженерних рішень зберігається принциповий науковий розрив, пов'язаний із кількісним вимірюванням економічної ефективності AUI. Станом на сьогодні відсутня суворо уніфікована методологія, що дає змогу коректно співставляти складні поведінкові патерни користувачів із фінансовими результатами, зокрема з показниками повернення інвестицій (ROI). У прикладній практиці оцінювання ефективності мобільних продуктів нерідко зводиться до спрощених метрик (CTR, CPA), які фіксують локальні прояви поведінки, але не відображають фундаментальну споживчу корисність (utility) застосунку як інтегральну характеристику цінності взаємодії [3]. Водночас упровадження AUI потребує істотних капіталовкладень і подальших операційних витрат, зумовлених необхідністю розроблення ML-архітектури, побудови складної логіки адаптації та супроводу високо розвинених дизайн-систем [2]. У результаті формується потреба в моделі, здатній суворо та відтворювано показати, яким чином значні стартові витрати та витрати життєвого циклу компенсуються зростанням поведінково детермінованих економічних показників (C/R, LTV) і трансформуються у вимірюваний ROI.

Метою дослідження є розроблення та апробація методологічного

підходу до оцінювання економічної доцільності впровадження адаптивних мобільних інтерфейсів шляхом аналізу впливу поведінкових патернів користувачів на ключові бізнес-метрики, зокрема ROI.

Для досягнення поставленої мети передбачається розв'язання сукупності взаємопов'язаних **завдань**: систематизація концепцій АUI, включно з архітектурними вимогами та підходами до класифікації поведінкових патернів користувачів у мобільному середовищі; аналіз та інтеграція кількісних моделей оцінювання юзабіліті та конверсії, включно з фреймворком Моделі винагороди за юзабіліті як інструментом об'єктивного вимірювання ефекту адаптації; синтез даних, що демонструють кореляцію між рівнем адаптивності інтерфейсу та показниками економічної ефективності (C/R, LTV, ROI); виявлення ключових економічних, технічних та етичних бар'єрів, здатних модифікувати траєкторію окупності інвестицій в адаптивні інтерфейси.

Наукова новизна полягає в представленні комплексної моделі оцінювання економічної доцільності адаптивних мобільних інтерфейсів, у якій інтегруються фреймворки контекстно-залежної онтології та метрики винагороди за юзабіліті, сформовані на основі аналізу поведінкових патернів.

Авторська гіпотеза формулюється так: упровадження адаптивних інтерфейсів, що спираються на глибокий аналіз поведінкових патернів користувачів із застосуванням систем машинного навчання, забезпечує позитивне й вимірюване повернення інвестицій, виражене у статистично значущому зростанні конверсії та утримання, попри високі початкові капітальні й операційні витрати.

Матеріали та методи. Дослідження спиралося на систематичний аналітичний огляд у поєднанні з методом кількісного синтезу, що забезпечило поєднання теоретичних розробок у галузі Human-Computer Interaction (HCI) з прикладними вимогами цифрової економіки.

Методологічний фокус було зміщено в бік інтеграції концептуальних моделей контексту та економетричних фреймворків, що застосовуються під час оцінювання ефективності цифрових продуктів. Добір емпіричної та теоретичної бази здійснювався з пріоритетом на рецензовані академічні публікації (Scopus, WoS, IEEE, ACM) і авторитетні аналітичні звіти консалтингових агентств (McKinsey, Gartner), що дало змогу підтримати актуальність висновків і зіставність використаних даних.

Для забезпечення повноти аналізу масив джерел було структуровано за трьома взаємодоповнювальними кластерами. Технологічний кластер включав роботи, що розкривають архітектурні принципи АUI, підходи до онтологічного моделювання контексту та вимоги до дизайн-систем як до інфраструктури масштабованої адаптації. Поведінковий кластер об'єднував публікації, присвячені типологізації поведінкових патернів, зокрема особливостям використання смартфонів, а також методам трансляції юзабіліті-метрик у кількісну винагороду, релевантну для алгоритмічної оптимізації. Економічний кластер формувався з джерел, що фіксують макроекономічні ефекти та потенціал зростання ВВП, а також із матеріалів, що аналізують ROI, OpEx і CapEx у контексті цифрової персоналізації та результативності продуктових змін.

Як перший дослідницький метод застосовувалося концептуальне моделювання онтології контексту, орієнтоване на підвищення ефективності адаптації інтерфейсу. Онтологія в цьому разі трактується як формалізоване й структуроване представлення знань про користувача (зокрема вподобання), виконувані завдання та параметри поточного середовища (характеристики пристрою, освітленість, якість і швидкість мережі). Представлення контекстних чинників у вигляді онтології адаптації дає змогу перейти від реактивного підлаштування під спостережувану поведінку до предиктивного оновлення інтерфейсних станів у реальному часі. У прикладній площині розроблення мобільних інтерфейсів,

вибудованій на принципах UX-інженерії (проектування wireframes, формування user personas), онтологія виступає базовим механізмом специфікації об'єктів адаптації та її цілей, зокрема зниження кількості помилок і оптимізації ефективності виконання завдань.

Другий методичний блок був пов'язаний з аналізом поведінкових патернів і процедурами UX-інженерії. Поведінкова аналітика мобільної взаємодії включала класифікацію інтенсивності використання, а також виявлення повторюваних проблемних дій, таких як часті повернення на попередні екрани або некоректні свайпи, інтерпретовані як маркери тертя в користувацькому шляху. Ітеративне юзабіліті-тестування та A/B-тестування застосовувалися як інструменти формулювання й верифікації гіпотез щодо адаптацій, здатних зменшити вираженість патернів, асоційованих зі падінням конверсії. В операційному сенсі ця методологія спрямована на скорочення надлишкових когнітивних і моторних витрат під час виконання дій у складному системному оточенні.

Третім, ключовим з погляду кількісного обґрунтування економічної доцільності, виступало імітаційне моделювання на основі Моделі винагороди за юзабіліті (URM), інтегрованої у фреймворк багатоагентного навчання з підкріпленням (MARL). URM забезпечує трансляцію класичних показників HCI, зокрема зниження частоти помилок, скорочення часу виконання завдання та зростання ефективності, у числову функцію винагороди, придатну для оптимізаційних процедур. В основі URM лежить формульний апарат вимірювання юзабіліті, що дає змогу формально зіставляти зміни в якості взаємодії та цільову функцію навчання. У результаті алгоритм RL (наприклад, Actor-Critic) отримує можливість навчатися стратегіям адаптації, що максимізують корисність взаємодії, що функціонально пов'язано з автоматичною оптимізацією інтерфейсу і, як наслідок, зі зростанням конверсії (C/R) та довічної цінності клієнта (LTV). У цій конструктивній схемі URM виконує роль зв'язувального механізму,

що дає змогу переводити спостережувані поведінкові ефекти у вимірюваний економічний результат.

Результати та обговорення. Економічна ефективність АUI зумовлюється здатністю цього підходу забезпечувати точну й оперативну інтерпретацію складного користувацького контексту [7]. Реалізація такої функціональності передбачає наявність високорозвиненої архітектури, орієнтованої на оброблення великих масивів даних у режимі реального часу.

Результативність самоадаптивного мобільного інтерфейсу визначається архітектурними рішеннями, що дають змогу агрегувати відомості з різнорідних джерел і здійснювати їх динамічне оброблення без істотних затримок [6]. Методологічною основою, на яку спирається формування адаптаційних рішень, виступає онтологія контексту, що забезпечує структурування знань про сукупність чинників, які впливають на характер і якість взаємодії [8]. У межах такої онтології задаються підстави для вибору параметрів, що підлягають зміні, а також допустимий ступінь їх модифікації, співвіднесений із цілями адаптації, зокрема мінімізацією помилок і оптимізацією ефективності [11]. Емпіричні результати засвідчують, що фреймворки, які використовують онтологічний підхід під час адаптації, демонструють підвищення задоволеності користувача та поліпшення досвіду взаємодії [7].

Для наочного подання комплексного взаємозв'язку між даними, контекстом і механізмом адаптації подано рисунок 1.

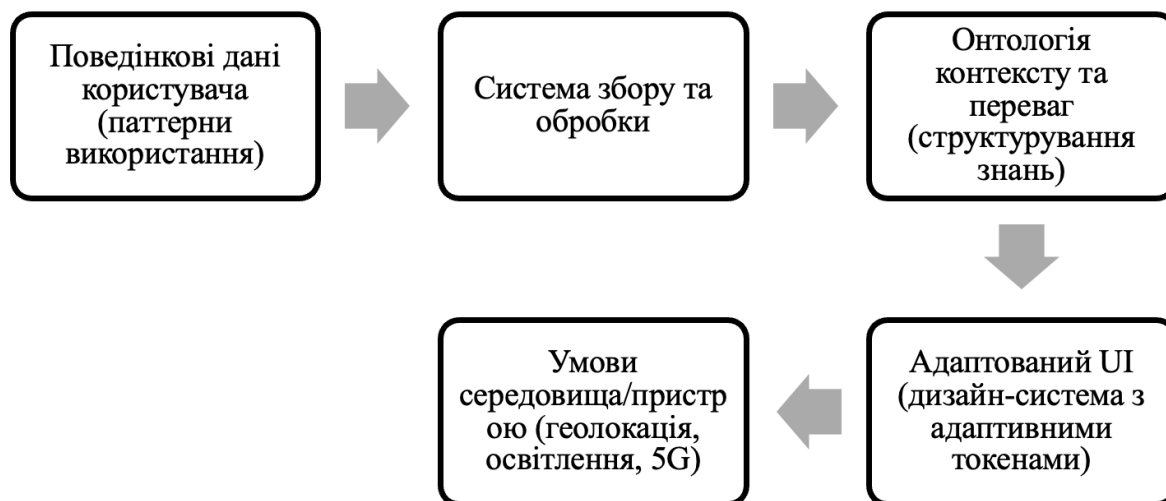


Рис. 1. Концептуальна схема архітектури контекстно-залежного адаптивного інтерфейсу

Джерело: складено автором на основі [6, 7]

Поведінкові патерни виступають первинними маркерами необхідності адаптації: статистично повторювані помилки та зупинки сценаріїв корелюють зі зниженням показника завершення цільових дій [5]. У мобільному середовищі тертя є особливо критичним, оскільки користувачі чутливі до затримок і перевантаження екранів. Дані галузевих звітів демонструють прямий зв'язок швидкості та економічного результату: 100 мс затримки може знижувати конверсію на 7%, а 53% мобільних відвідувачів покидають ресурс за завантаження >3 секунд [22]. Дослідження Google/SOASTA показують, що за зростання часу завантаження з 1 до 10 секунд імовірність відмови зростає на 123% [23]. Ці залежності підтримують тезу про те, що адаптація інтерфейсу, яка усуває тертя (включно зі зменшенням кроків, оптимізацією форм, зниженням візуального перевантаження), має трактуватися як економічно значуще втручання.

Економічне обґрунтування АUI спирається на положення про те, що зростання юзабіліті, досягнуте завдяки адаптації, веде до зниження когнітивного навантаження та скорочення кількості помилок, що

безпосередньо зменшує операційні витрати користувача, виражені в часі та витратах зусиль [11]. Кожне запобігнуте припинення використання (churn) і кожне прискорення виконання транзакційної дії становлять форму монетизації поліпшеного UX, оскільки покращують конверсійну стійкість і підвищують продуктивність взаємодії.

Ключовим елементом обґрунтування ROI є коректна квантифікація економічного ефекту поведінкових зсувів, індукованих адаптацією, тобто переведення спостережуваних змін у метриках поведінки в зіставні показники фінансового впливу.

URM, інтегрована в алгоритмічну основу MARL, формує об'єктивний і безперервний контур оцінювання результативності адаптації [1]. У межах цього підходу математично формалізовані метрики юзабіліті, включно з Fitts' Law та індексами ефективності, перетворюються на функцію винагороди, максимізація якої задає цільову спрямованість поведінки системи [1]. Завдяки цьому забезпечується автономне навчання та відбір адаптацій, що демонструють найбільшу результативність з позиції UX.

У логіці цифрової економіки URM набуває значення інструмента прогностичного оцінювання ROI. За сталої оптимізації юзабіліті, наприклад завдяки зниженню частоти помилок на 15-30% у критичних точках взаємодії, формується закономірне зростання фінансової віддачі, оскільки усувається тертя процесу, яке раніше підвищувало ймовірність відмови від транзакції та переривання користувацького шляху.

У таблиці 1 описано зв'язок основних поведінкових метрик з економічним ефектом.

Таблиця 1

Зв'язок ключових поведінкових метрик з економічним ефектом (ROI)

Поведінковий Патерн (Проблема)	Вимірювана Метрика (НСІ)	Цільовий Показник (AUI)	Економічний Показник (ROI)
Високий когнітивний бар'єр, складність пошуку	Час до виконання ключового завдання (Time-to-task)	Скорочення шляху (наприклад, на 20%)	Рівень конверсії (C/R), Швидкість транзакції
Відмова від заповнення форми, часті натискання не туди	Рівень помилок, Частота виходу (Bounce Rate)	Зниження помилок на 15-30%	Зниження відтоку (Churn Rate), Підвищення утримання (Retention)
Незадоволеність досвідом, невідповідність очікувань	Рівень використання контекстно-залежних функцій	Збільшення залученості (Engagement)	Підвищення LTV, Збільшення доходу на одного користувача (ARPU)

Джерело: складено автором на основі [1, 5]

Економічні показники AUI демонструють виражену перевагу порівняно зі статичними інтерфейсами, оскільки керована даними адаптація забезпечує врахування базових детермінант користувацької корисності, які нерідко залишаються поза фокусом під час оцінювання та ранжування застосунків на основі спрощених метрик [3].

Систематичне підвищення сприйманої корисності інтерфейсу за рахунок AUI асоціюється зі стабільним, а згідно з результатами імітаційного моделювання — з нелінійним збільшенням коефіцієнта конверсії (C/R). Зниження тріння у взаємодії в інтерфейсі, оптимізованому за допомогою URM, супроводжується помітним прискоренням виконання цільових дій.

Рисунок 2 демонструє прогнозований вплив адаптивності UI на коефіцієнт конверсії (C/R) у мобільних застосунках.

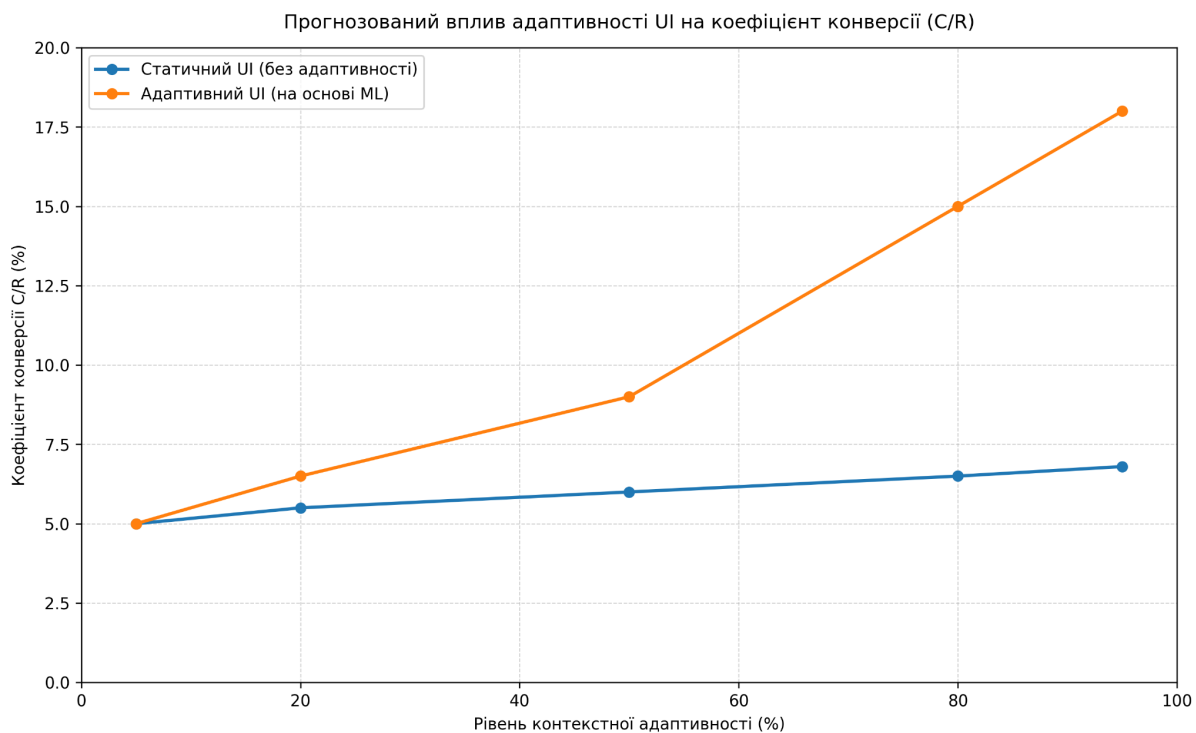


Рис. 2. Прогнозований вплив адаптивності UI на коефіцієнт конверсії (C/R) у мобільних застосунках

Джерело: складено автором на основі [1]

Дані, відображені на рисунку 2, демонструють, що збільшення коефіцієнта конверсії (C/R) для адаптивного UI, керованого методами машинного навчання, прискорюється в міру нарощування глибини контекстної адаптивності. Це слугує емпіричним підтвердженням того, що за високої стартової вартості впровадження потенціал ROI істотно перевищує межі, характерні для стандартних відзивчивих інтерфейсів. Підвищений C/R у поєднанні зі зростанням утримання формує експоненційну траєкторію збільшення позиттєвої цінності клієнта (LTV).

Незважаючи на виражені переваги, економічна доцільність AUI підлягає оцінюванню з урахуванням значущих витрат і бар'єрів, що супроводжують впровадження.

Реалізація AUI передбачає стратегічні інвестиції в дизайн-систему та інфраструктуру експериментів. Наявність дизайн-систем стала поширеною організаційною практикою: 50% дизайн-професіоналів зазначають, що їхня

компанія використовує дизайн-систему; 74% — що понад два роки; понад третина — що є виділені ролі/команди підтримки [21]. Це означає, що економічне оцінювання АUI має враховувати не лише ML-модуль, а й вартість масштабованої компонентної бази, токенів, QA-матриць та керованості варіативності UI.

У таблиці 2 подано результати аналізу CapEx і OpEx для Responsive та Складного Адаптивного UI.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз CapEx і OpEx для Responsive та Складного Адаптивного UI

Параметр Витрат	Responsive Design (Базовий)	Adaptive UI (На основі ML)	Економічне Обґрунтування
Початкові Капітальні Витрати (CapEx)	Розроблення єдиної дизайн-системи, медіа-запити	Розроблення ML-архітектури, створення онтології, упровадження URM, інтеграція з Big Data	Високий поріг входу. Потрібна висока впевненість у прогнозованих LTV і C/R для обґрунтування витрат.
Операційні Витрати (OpEx)	Підтримка сумісності, стандартний А/В-тестинг	Безперервне навчання ML-моделей, керування складною логікою адаптації, QA багатьох сценаріїв	Вищі, ніж OpEx. Ризик зростання витрат на технічне обслуговування за недостатнього архітектурного опрацювання.
Потенційний ROI	Помірний, обмежений універсальністю макета	Високий, досягається за рахунок глибокої персоналізації, що суттєво підвищує LTV і C/R	Витрати окупуються за наявності критичного масиву даних і користувачів.

Джерело: складено автором на основі [1, 2, 3, 6]

Макроекономічний аналіз свідчить про те, що розкриття потенційної цінності нових технологій часто обмежується не стільки їхніми технічними характеристиками, скільки організаційними умовами впровадження, зокрема дефіцитом узгодженої координації між ланками ланцюга створення вартості та невідповідністю стимулів учасників. У подібних конфігураціях капітальні вкладення в інфраструктуру нерідко здійснюються суб'єктом,

який не отримує прямого доступу до основного потоку фінансових вигід, унаслідок чого очікувана віддача розподіляється асиметрично й не збігається з профілем прийнятих інвестиційних ризиків [4].

До числа найзначущіших бар'єрів належить управління даними та пов'язані з ним етичні ризики. Персоналізація спирається на оброблення великих масивів користувацьких даних [6], тому недостатня прозорість алгоритмічних процедур і неможливість забезпечити суб'єктам даних дієвий контроль над збиранням, використанням і передаванням інформації формують виражені репутаційні та регуляторні загрози [6]. Розширення практик застосування передових рішень, зокрема концепції Цифрових двійників людини (HDTs) у контурі персоналізованого охорони здоров'я, посилює гостроту етичних проблем; за відсутності надійних механізмів підзвітності та захисту прав такі ризики здатні підірвати довіру, що зрештою призводить до погіршення економічних показників упровадження та зниження ROI [12].

Економічна обґрунтованість АUI вимагає організації безперервного контуру експериментальної перевірки та подальшого навчання, у якому кожна зміна проходить емпіричне оцінювання до масштабування. Центральне місце в такому контурі посідає А/В-тестування як метод суворої валідації гіпотез, сформульованих на основі аналізу поведінкових патернів, оскільки саме воно дає змогу відокремлювати статистично підтверджені ефекти від ситуативних коливань користувацької поведінки.

В архітектурі, керованій MARL, А/В-тестування функціонально включається в сам цикл навчання і стає механізмом відбору адаптацій за критерієм корисності. Кожна впроваджувана модифікація оцінюється крізь призму максимізації URM-винагороди, що виступає формалізованим проксі-показником якості та економічної результативності. У разі виявлення деградації — збільшення часу виконання завдань або зростання

частоти помилок — фіксується від'ємна винагорода, що ініціює коригування параметрів моделі та перегляд стратегії адаптації. За підтвердженого поліпшення показників адаптація закріплюється в політиці керування, а накопичення успішних рішень забезпечує стійку траєкторію оптимізації, що виражається в систематичному підвищенні ефективності і, як наслідок, у безперервній оптимізації ROI.

Сформований контур експериментування та навчання забезпечує не лише технічну реалізованість AUI, а й його стійку економічну результативність за рахунок регулярної перевірки впливу адаптацій на цільові показники. Безперервне налаштування інтерфейсу, що спирається на поведінкові дані, підтримує стабільно високий рівень LTV, унаслідок чого інвестиції в залучення аудиторії через платні рекламні кампанії зберігають економічну виправданість. У результаті зв'язка URM і MARL, вбудована в DS, переводить AUI з разового, статичного рішення в галузі дизайну на постійно діючий механізм оптимізації бізнес-метрик, де поліпшення формуються й закріплюються на основі вимірюваного ефекту.

Висновки. Проведене дослідження забезпечило методологічно сувору аргументацію економічної доцільності впровадження адаптивних користувацьких інтерфейсів у мобільні застосунки. Показано, що за наявності значущих капітальних і операційних витрат, зумовлених створенням ML-архітектури, ускладненої логіки адаптації та robust дизайн-систем, відповідні вкладення здатні формувати високий повернення інвестицій (ROI).

Визначальним фактором позитивного ROI виступає застосування Моделі винагороди за юзабіліті (URM). Ця модель дає змогу верифіковано вимірювати та переводити в грошові показники приріст користувацької корисності, досягнутий за рахунок зниження когнітивного навантаження та зменшення частоти поведінкових помилок. Унаслідок цього спостерігається виражене нелінійне зростання коефіцієнта конверсії (C/R) і

пожиттєвої цінності клієнта (LTV). Тим самим підтверджується гіпотеза про позитивний і вимірюваний повернення інвестицій в АІ, заснований на поведінкових патернах, за умови застосування суворих процедур розроблення та оцінювання.

На макроекономічному рівні впровадження АІ розглядається як значущий драйвер вилучення потенційної цінності, оцінюваної у трильйони доларів у галузях охорони здоров'я та мобільності. Водночас стійкість економічної моделі АІ визначається здатністю компенсувати організаційні обмеження та виконувати жорсткі етичні вимоги, зокрема забезпечення прозорості алгоритмів і надання контролю над персональними даними.

У прикладному контурі АІ слід трактувати як стратегічне архітектурне вкладення, а не як ізольоване продуктове поліпшення. Ефективна реалізація передбачає створення адаптивної дизайн-системи, здатної керувати адаптивними токенами та компонентною базою без деградації узгодженості інтерфейсу. Фінансова аргументація має спиратися на прогнозування LTV і C/R, отримане за допомогою імітаційного моделювання URM та безперервного А/В-тестування, вбудованого в цикл навчання MARL, що забезпечує стійку перевірку економічного ефекту кожної адаптації.

Подальша дослідницька повістка пов'язана з необхідністю розширення емпіричної бази за рахунок великомасштабних даних, що дають змогу підтвердити зв'язок метрик URM із фактичними значеннями ROI у широкому діапазоні індустрій. Пріоритетним напрямом залишається розроблення стандартів прозорості та етичності адаптивних алгоритмів, особливо стосовно просунутих підходів, зокрема Human Digital Twins, оскільки інституціоналізація таких стандартів є умовою збереження довгострокової довіри та стійкості економічної моделі АІ.

Література

1. Model-based adaptive user interface based on context and user experience evaluation. (2018). *Journal of Multimodal User Interfaces*. <https://doi.org/10.1007/s12193-018-0258-2>.

2. W3C Strategic Highlights. Retrieved from: <https://www.w3.org/news/2020/w3c-strategic-highlights-october-2020/> (date accessed: November 23, 2020).

3. He, J., Fang, X., Liu, H., & Li, X. (2019). Mobile app recommendation: An involvement-enhanced approach. *MIS Quarterly*, 43(3), 827–849. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2019/15049>.

4. An evolution in connectivity beyond the 5G revolution (Discussion paper). Retrieved from: https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/technology%20media%20and%20telecommunications/telecommunications/our%20insights/connected%20world%20an%20evolution%20in%20connectivity%20beyond%20the%205g%20revolution/mgi_connected-world_discussion-paper_february-2020.pdf?utm (date accessed: March 12, 2020).

5. Identifying diverse usage behaviors of smartphone apps. (2011). In *Proceedings of the 2011 ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement Conference (IMC '11)*. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2068816.2068847>.

6. Tips for Successful Personalization. Retrieved from: <https://www.nngroup.com/articles/personalization/?utm> (date accessed: January 28, 2020).

7. Plessas, A., Stefanis, V., Komninos, A., & Garofalakis, J. (2017). Field evaluation of context aware adaptive interfaces for efficient mobile contact retrieval. *Pervasive and Mobile Computing*, 35, 51–64. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2016.04.011>.

8. Iqbal, M. W., Ahmad, N., Shahzad, S. K., Feroz, I., & Mian, N. A. (2018). Towards Adaptive user Interfaces for Mobile-Phone in Smart World. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(11). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.091177>.

9. Salehan, M., & Negahban, A. (2013). Social networking on smartphones: When mobile phones become addictive. *Computers in Human Behavior*, 29(6), 2632–2639. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.07.003>.

10. Dynamic Yield named a leader in personalization engines by Gartner. Retrieved from: <https://www.prnewswire.com/news-releases/dynamic-yield-named-a-leader-in-personalization-engines-by-gartner-300884713.html?utm> (date accessed: February 18, 2021).

11. Gullà, F., Ceccacci, S., Germani, M., & Cavalieri, L. (2015). Design adaptable and adaptive user interfaces: A method to manage the information. In B. Andò, P. Siciliano, V. Marletta, & A. Monteriù (Eds.), *Ambient Assisted Living (Biosystems & Biorobotics, Vol. 11)*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18374-9_5/.

12. Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital twin: enabling technologies, challenges and open research. *IEEE access*, 8, 108952-108971.

13. Data Tools: Performance Matrix – Mobile 2019. Retrieved from: <https://www.gartner.com/en/marketing/research/data-tools?utm> (date accessed: March 15, 2021).

14. World Wide Web Consortium (W3C). (2020, January 27). Personalization Semantics Explainer 1.0 (W3C Working Draft). Retrieved from: <https://www.w3.org/TR/2020/WD-personalization-semantics-1.0-20200127/?utm> (date accessed: March 10, 2021).

15. Ethics guidelines for trustworthy AI. Retrieved from: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=60419(date accessed: March 18, 2021).

16. McKinsey Quarterly 2018 Number 4. Retrieved from: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/mckinsey%20digital/our%20insights/mckinsey%20quarterly%202018%20number%204%20overview%20and%20full%20issue/mckinsey-quarterly-2018-number-4.pdf>(date accessed: March 15, 2021).

17. Digital 2020: Global Digital Overview. Retrieved from: <https://datareportal.com/reports/digital-2020-global-digital-overview?utm> (date accessed: January 13, 2021).

18. Digital 2020: Nearly Half the World Online. Retrieved from: <https://www.hootsuite.com/newsroom/press-releases/digital-2020-social-media-use-spans-almost-half-global-population?srsltid=AfmBOooGEOhVYU2RNAeEV1fIPGZjovZYNqZAb5n3W-9zcRWrt7qN1Dxv&utm> (date accessed: January 13, 2021).

19. The Mobile Economy 2020. Retrieved from: <https://www.gsmainelligence.com/research/the-mobile-economy-2020?utm> (date accessed: March 03, 2020).

20. The future of personalization—and how to get ready for it. Retrieved from: <https://www.mckinsey.com/capabilities/growth-marketing-and-sales/our-insights/the-future-of-personalization-and-how-to-get-ready-for-it?utm> (date accessed: March 03, 2021).

21. Why And How To Create A Design System And Get Help With It. Retrieved from: <https://www.forrester.com/blogs/why-and-how-to-create-a-design-system-and-get-help-with-it/> (date accessed: February 3, 2021).

22. Akamai releases Spring 2017 State of Online Retail Performance Report. Retrieved from: <https://www.akamai.com/newsroom/press-release/akamai-releases-spring-2017-state-of-online-retail-performance-report?utm> (date accessed: February 3, 2021).

23. Mobile page speed: load time vs bounce. Retrieved from: <https://www.thinkwithgoogle.com/marketing-strategies/app-and-mobile/mobile->

page-speed-new-industry-benchmarks-load-time-vs-bounce/(date accessed:
February 3, 2021).