

## SECTION 16.

### INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

Бондар Олена Станіславівна 

канд. екон. наук, доцент кафедри інформаційних технологій, вищої математики та фізики  
*Білоцерківський національний аграрний університет, Україна*

## ОЦІНКИ КОРИСТУВАЦЬКОГО ДОСВІДУ (UX) НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЦІЇ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВЕБНАЛІТИКИ

Стрімка цифровізація економічних процесів зумовлює критичну залежність успіху програмних продуктів від якості взаємодії користувача з інтерфейсом. Традиційні методи оцінки користувацького досвіду (UX), такі як юзабіліті-тестування або анкетування, часто мають суб'єктивний характер, потребують значних часових ресурсів і не дозволяють аналізувати поведінку аудиторії в масштабі реального часу [1]. Постає гостра потреба у впровадженні об'єктивних методів оцінки, що ґрунтуються на математичному апараті та автоматизованому зборі великих даних (Big Data).

Основна проблема полягає у відсутності формалізованих алгоритмів, які б дозволяли трансформувати сирі метрики вебаналітики (кількість подій, тривалість сесій, глибина скролінгу) у якісні показники зручності інтерфейсу. Інтеграція методів математичного моделювання у процеси вебаналітики дає можливість не лише фіксувати поточний стан системи, а й прогнозувати поведінкові патерни користувачів, виявляючи точки аномального зниження конверсійної здатності інтерфейсу на етапі експлуатації цифрового продукту [2].

Розглянемо алгоритмічне забезпечення для автоматизованої оцінки UX-метрик шляхом синергії аналітичних можливостей сучасних ІТ-платформ та статистичних моделей прийняття рішень. В основі запропонованого алгоритму оцінки UX лежить подієво-орієнтована архітектура (event-driven approach), яка є стандартом для сучасних систем вебаналітики (наприклад, Google Analytics 4) [4]. На відміну від застарілих моделей, що базувалися на переглядах сторінок (session-based), цей підхід дозволяє розглядати кожну дію користувача як дискретну зміну стану системи [5].

Нехай кожна взаємодія користувача з інтерфейсом (клік на кнопку,

скролінг до певного блоку, заповнення текстового поля) визначається як окрема подія  $E_i$ , яка несе в собі набір параметрів (час, координати, контекст). Процес взаємодії з інформаційною системою моделюється як послідовність переходів між станами  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  (дискретна зміна стану). Кожна подія  $E$  виступає тригером, що ініціює перехід системи зі стану  $S_t$  у стан  $S_{t+1}$ .

Таку послідовність можна представити у вигляді ланцюга Маркова, де ймовірність переходу до наступного стану залежить від поточного та типу ініційованої події. (наприклад, якщо користувач викликає подію `scroll_depth_50`, стан системи змінюється з «ознайомлення з заголовком» на «вивчення основного контенту»). Використання event-driven моделі дозволяє ідентифікувати аномальні послідовності подій (наприклад, багаторазові кліки на неактивні елементи - «rage clicks»), що математично інтерпретується як відхилення від оптимального графа взаємодії та сигналізує про дефекти UX-дизайну. Такий підхід дозволяє декомпонувати складний процес користувацького досвіду на елементарні одиниці аналізу, що робить можливим застосування методів статистичного аналізу та алгоритмів машинного навчання для автоматичного виявлення вузьких місць в архітектурі інформаційної системи.

Для формалізації процесу взаємодії користувача з інтерфейсом пропонується використання апарату теорії орієнтованих графів [3]. Це дозволяє представити структуру інформаційної системи як математичний об'єкт, приданий для алгоритмічного аналізу.

Формалізація моделі. Інтерфейс системи представляється у вигляді орієнтованого графа

$$G = (V, E) \quad (1)$$

де:

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  - множина вершин, що відповідають ключовим станам інтерфейсу (сторінки, екранні форми або блоки лендінгу).

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$  - множина дуг (ребер), що відповідають подіям-переходам (Events) між станами.

Кожному ребру  $e_{ij}$ , що з'єднує вершини  $v_i$  та  $v_j$ , присвоюється ваговий коефіцієнт  $w_{ij}$ , який розраховується на основі даних вебаналітики:

$$w_{ij} = P_{ij} * \frac{1}{t_{ij}} \quad (2)$$

де:

$P_{ij}$  - ймовірність переходу зі стану  $i$  у стан  $j$  (процентне співвідношення користувачів, що виконали дію);

$t_{ij}$  - середній час, витрачений на виконання переходу (метрика когнітивного навантаження).

Граф будується автоматично на основі вивантаження даних з GA4. Ми не малюємо шлях вручну, його малює математика на основі реальних дій тисяч людей.

Аналіз UX-ефективності доцільно проводити за таким алгоритмом.

1. Визначення еталонного шляху  $L_{ref}$ - найкоротшого або найбільш логічного шляху від точки входу до цільової дії (конверсії), визначений на етапі проектування в Figma.

2. Розрахунок реальної траєкторії  $L_{act}$ , який формується на основі масиву подій, зафіксованих Google Analytics 4.

3. Оцінка девіації (відхилення) - математичне порівняння  $L_{ref}$  та  $L_{act}$  дозволяє виявити цикли (повернення на попередні етапи) та "тупикові" вершини, де показник відмов (Bounce Rate) є аномально високим.

Використання такої моделі дозволяє ідентифікувати UX-тертя. Якщо вага ребра  $w_{ij}$  зменшується за рахунок зростання часу  $t_{ij}$ , це математично доводить складність сприйняття даного вузла інтерфейсу, що потребує редизайну архітектури системи.

Подієво-орієнтований підхід (event-driven approach), реалізований у системах типу Google Analytics 4, є оптимальним джерелом первинних даних для математичного моделювання, оскільки дозволяє декомпонувати складну поведінку користувача на дискретні стани та вимірювані операції.

Застосування апарату теорії графів дозволяє формалізувати архітектуру інформаційної системи та автоматизувати пошук аномалій у поведінці користувачів. Побудова навігаційного графа дає змогу наочно ідентифікувати зони функціональних бар'єрів, де реальна траєкторія взаємодії суттєво відхиляється від еталонної.

Запропонована математична модель вагових коефіцієнтів ребер графа (із врахуванням імовірності переходу та часу затримки) забезпечує перехід від суб'єктивного UX-дизайну до предиктивної аналітики. Це дозволяє прогнозувати ризики втрати залученості аудиторії ще на етапі прототипування або раннього бета-тестування.

#### Список використаних джерел:

1. Круг С. Не примушуйте мене думати! Веб-юзабіліті та здоровий глузд. Львів: ВСЛ, 2022. 216 с.
2. Нільсен Я., Лорінджер Х. Пошукова оптимізація та юзабіліті веб-ресурсів. Київ: Діалектика, 2019. 448 с.
3. Березюк В. О., Гнитка С. П. Математичне моделювання складних систем: навч. посіб. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. 156 с.
4. Google Analytics 4 Fundamentals. Google Skillshop. Вилучено з: <https://skillshop.exceedlms.com/>.
5. Cuttler J. Event-Driven Architecture: Components, Patterns, and Applications. O'Reilly Media, 2023. 240 p.