

УДК 004.5

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ СТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ ВЕБРЕСУРСІВ ДЛЯ АДАПТАЦІЇ ДО КОГНІТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОРИСТУВАЧІВ

Д. С. Афанасьєва, Н. Р. Веселовська

Анотація. У дослідженні проаналізовано методи автоматизованого структурного аналізу вебресурсів як обчислювальну основу для когнітивно-орієнтованої адаптації інтерфейсів. Розглянуто підходи до розбору DOM-дерева, просторової сегментації макетів і семантичної класифікації вебконтенту. Описано конвеєр автоматизованої побудови структурної карти сторінки та механізми її застосування для генерації адаптованих подань. Обґрунтовано стратегії трансформації інтерфейсів для користувачів із дислексією, розлад дефіциту уваги та когнітивним перевантаженням. Показано, що програмна інтеграція DOM-аналізу з ARIA-семантикою забезпечує достатню формальну основу для реалізації адаптивних систем без модифікації серверної частини вебресурсу.

Ключові слова: структурний аналіз, вебінтерфейс, когнітивна адаптація, DOM-дерево, адаптивні інтерфейси.

Вступ. Архітектура сучасних вебдодатків характеризується зростаючою структурною складністю: динамічно генеровані макети, багаторівневі навігаційні ієрархії та різномірні інформаційні регіони утворюють середовище, що становить суттєві когнітивні труднощі для значної частини аудиторії. За оцінками досліджень [1], приблизно 15 % населення має стійкі когнітивні особливості: дислексію, розлад дефіциту уваги та гіперактивності (РДУГ), розлади аутистичного спектра або вікові порушення оброблення інформації, що безпосередньо знижують ефективність взаємодії з вебінтерфейсами.

Чинний стандарт WCAG 2.2 формулює нормативні вимоги до доступності вебконтенту [2], проте його положення є декларативними, адже вони визначають цільові властивості інтерфейсу, не надаючи обчислювальних механізмів автоматичної діагностики й трансформації наявних ресурсів. Поширені підходи до адаптивного вебдизайну реагують на технічні характеристики пристрою: роздільну здатність екрана, тип вказівного пристрою – і залишають поза увагою когнітивний вимір взаємодії. Настанови W3C для осіб із когнітивними та навчальними труднощами [3] засвідчують, що користувацькі бар'єри нерідко зумовлені не апаратними обмеженнями, а організацією інформаційної архітектури сторінки: надмірною щільністю контенту, непослідовністю навігаційних патернів і відсутністю чіткої ієрархії смислових одиниць.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нормативну основу сфери становлять два документи W3C. WCAG 2.2 [2] систематизує критерії сприйняття, операбельності, зрозумілості та надійності вебінтерфейсів, зокрема критерії 3.2.3 і 3.2.4, що регулюють послідовність навігації та стабільність ідентифікації компонентів. Настанови COGA [3] конкретизують ці вимоги для осіб із когнітивними та навчальними труднощами, пропонуючи патерни для перевірки проектування, наприклад, спрощення навігаційних структур і прогресивне розкриття деталей. Обидва документи, однак, не містять алгоритмічних методів автоматичного аналізу чи трансформації інтерфейсу.

Технічний стандарт HTML Living Standard [4] специфікує визначений алгоритм побудови DOM-дерева, що є відправною точкою для будь-якого автоматизованого структурного аналізатора. Специфікація WAI-ARIA 1.2 [5] розширює семантичні можливості HTML за рахунок атрибутів, ролей та станів, даючи змогу ідентифікувати функціональне призначення елемента незалежно від його тегового найменування. Зменшення зовнішнього навантаження через спрощення макета є ефективнішим, ніж зміна змістового наповнення.

Практичний вектор дослідження окреслюють настанови British Dyslexia Association [6], що специфікують типографічні параметри для осіб із дислексією: міжрядковий інтервал не менше 1,5 від кегля, міжлітерний інтервал 0,12–0,15 em, довжина рядка 60–70 символів. Результатом аналізу наявних публікацій можна вважати твердження, що більшість робіт дослідження або нормативні вимоги до доступності, або технічні аспекти DOM-аналізу, тобто без

пов'язування структурного оброблення вебдокумента з когнітивно-орієнтованою адаптацією інтерфейсу напряму.

Мета дослідження. Метою є систематизація алгоритмічних методів структурного аналізу вебресурсів та обґрунтування архітектурних підходів до побудови систем когнітивно-орієнтованої адаптації вебінтерфейсів. Для досягнення поставленої цілі вирішуються такі завдання: аналіз методів DOM-розбору та просторової сегментації вебсторінок; опис конвеєра автоматизованого формування структурної карти; обґрунтування стратегій трансформації інтерфейсу для конкретних когнітивних характеристик; ілюстрація підходів через архітектурні сценарії реалізації.

Виклад основного матеріалу. Структурний аналіз вебсторінки охоплює три підходи: розбір DOM-дерева, просторову сегментацію макета та семантичну класифікацію регіонів.

DOM-дерево є деревоподібною програмною абстракцією HTML-документа, що надає доступ до вузлів, їх атрибутів і взаємозв'язків. HTML Living Standard [4] визначає детермінований алгоритм побудови цього дерева з потоку токенів. Коректне відтворення ієрархії елементів є необхідною умовою надійного аналізу. Для кожного вузла обчислюється ознаковий вектор: тег і тип елемента, значення атрибутів `role` та `aria-*`, глибина у дереві, кількість нащадків у піддереві, довжина текстового вмісту, `text-to-tag ratio`. Останній показник (частка текстових вузлів у піддереві) є ефективним розділювачем між регіонами основного контенту і навігаційними чи рекламними блоками. Принципове обмеження статичного DOM-аналізу полягає в тому, що клієнтський JavaScript може суттєво змінювати дерево після початкового парсингу. Тому аналіз виконується на живому DOM повністю відрендереної сторінки за допомогою `headless browser`. Інструменти на кшталт `Puppeteer` та `Playwright` надають програмний інтерфейс для отримання обчисленого компоновання (`computed layout`) після завершення всіх ініціалізаційних сценаріїв. Це критично для односторінкових застосунків (SPA), де вихідний HTML містить лише порожній каркас.

Просторова сегментація виявляє функціональні регіони сторінки на підставі зорових характеристик: координат і розмірів обмежувальних прямокутників (`bounding box`), кольору фону, наявності CSS-рамки і відступів між блоками. Алгоритми, похідні від методу VIPS, рекурсивно застосовують правила злиття та розрізання областей, формуючи ієрархічне дерево блоків. Точність класифікації зростає під час збагачення просторових ознак даними ARIA-семантики [5]. Атрибути ролей `landmark` та `widget` однозначно ідентифікують призначення елемента незалежно від його тегового найменування. Злиття DOM-ієрархії з результатами просторової сегментації виконується через зіставлення координат вузлів за критерієм максимального перекриття обмежувальних прямокутників. Семантична класифікація призначає кожному виявленому регіону функціональну роль: основний контент, навігаційне меню, бічна панель, рекламний блок, форма, колонтитул. Якщо HTML5-орієнтири `article`, `nav`, `aside` та `header` наявні, вони безпосередньо задають роль, в іншому разі вона виводиться за непрямыми ознаками. Настанови COGA [3] підкреслюють, що коректна ідентифікація ролей є обов'язковою передумовою адаптації, адже без розуміння функції блоку неможливо алгоритмічно вирішити, які регіони зберегти в спрощеному поданні, а які приховати або реорганізувати.

Повноцінна система структурного аналізу вебсторінок може бути представлена як обчислювальний конвеєр з чотирма етапами. На першій стадії (завантаження і рендеринг) сторінка відкривається у `headless-браузері` та виконується до моменту повної ініціалізації всіх скриптів. Після цього отримується версія живого DOM-дерева разом із даними про обчислені стилі (`computed style`) та геометричні параметри елементів. Друга стадія (вилучення ознак) передбачає формування ознакових векторів для кожного видимого вузла DOM. Ознаки поділяються на дві групи. До структурних належать глибина вузла у DOM-дереві, кількість нащадків, тип HTML-тега, а також значення атрибутів `role` і `aria-*`. До просторово-зорових належать координати та площа обмежувального прямокутника (`bounding box`), а також деякі CSS-власності, зокрема `font-size`, `line-height`, `background-color` і `z-index`. Паралельно формується дерево доступності (`accessibility tree`), яке надає нормалізоване представлення ARIA-семантики [5]. На третій стадії (класифікація та агрегація) кожному вузлу призначається функціональна міт-

ка за допомогою класифікатора. Після цього спеціальний алгоритм об'єднує вузли у більші блоки, враховуючи їх просторову близькість та ієрархічні зв'язки у DOM-дереві. Внаслідок цього формується структурна карта сторінки – граф функціональних регіонів із зазначенням їх координат, ролей і взаємозв'язків. Четверта стадія (генерація адаптованого подання) транслює структурну карту у набір перетворень відповідно до активного когнітивного профілю. Реалізація можлива у двох варіантах: клієнтська ін'єкція, де браузерне розширення застосовує CSS-перевизначення та DOM-мутації, або серверне проксіювання, коли проксісервер трансформує HTML-відповідь до доставки клієнту. Обидва варіанти не потребують доступу до вихідного коду вебресурсу і сумісні з довільним технологічним стеком.

Структурна карта є формальним посередником між результатами аналізу і стратегіями трансформації. Кожен регіон може бути незалежно підданий елімінації (вилученню з відображуваного потоку), реорганізації (переміщенню або зміні компоновання) чи рестилізації (модифікації типографічних параметрів і відступів). Для користувачів із дислексією алгоритм виявляє текстові регіони з параметрами, що ускладнюють читання: `line-height` менше 1,5, `text-align: justify` для кириличного тексту, кегль менше 16 px або ширина колонки, що генерує рядки довжиною понад 80 символів. Ці параметри перевизначаються відповідно до рекомендацій BDA [6]: міжрядковий інтервал 1,5, міжлітерний інтервал 0,12–0,15 em, ліве вирівнювання без переносів. Додатково, аналіз навігаційного піддерева вимірює глибину та середню довжину пунктів меню. У разі перевищення порогових значень виконується згортання другорядних рівнів і доповнення текстових міток піктограмами. У разі РДУГ блочний аналіз ідентифікує відволікаючі елементи за комбінацією ознак: ненульова тривалість `CSS animation` або `transition`, значення `z-index` вище основного потоку, відхилення насиченості кольору від середнього по сторінці. Такі властивості конкурують із цільовим контентом за ресурси робочої пам'яті, що спричиняє значне когнітивне навантаження. Система ініціалізує сторінку у режимі фокусу і відображаються лише основний контентний регіон та мінімальна навігаційна панель. Решта блоків відновлюється за явним запитом через згенеровані елементи керування. За когнітивного переважання структурна карта надає кількісні метрики складності: ширину графу блоків і висоту навігаційного піддерева. Адаптаційна стратегія ранжує регіони за функціональним пріоритетом і реалізує прогресивне розкриття, коли початкове відображення містить лише блоки першого рівня ієрархії, а деталізація доступна через нативний HTML-патерн `summary/details` [4]. Для осіб із порушеннями послідовного оброблення інформації критично важлива структурна передбачуваність. Виконання критеріїв WCAG 2.2 3.2.3 і 3.2.4 [2] може перевірятися автоматично. Для цього алгоритм порівнює навігаційні піддерева на різних сторінках сайту за допомогою метрики відстані між деревами. Якщо виявляються відмінності, система формує узгоджений навігаційний блок, однаковий для всіх сторінок. ARIA-ролі [5] використовуються як орієнтири для зіставлення елементів.

Можна виділити кілька доступних архітектурних сценаріїв реалізації. Перший сценарій – браузерне розширення для клієнтської адаптації. Після події `DOMContentLoaded` розширення запускає конвеєр у поточній вкладці, маючи доступ до живого DOM і CSSOM. Трансформаційний рушій ін'єктує `CSS Custom Properties` для рестилізації текстових регіонів, видаляє відволікаючі блоки через DOM-мутації і спрощує навігаційне піддерево. Перевагою є цілковита незалежність від серверної інфраструктури ресурсу, адже розширення застосовується до будь-якого вебсайту незалежно від технологічного стека. Другий сценарій – серверна адаптація. Структурні карти обчислюються під час публікації контенту і зберігаються у кеші. Трансформаційний фільтр на рівні API-шлюзу формує персоналізовану HTML-відповідь на підставі когнітивного профілю аутентифікованого користувача. Профіль будується за результатами адаптивної анкети і уточнюється аналізом поведінкових даних (`clickstream`, тривалість фіксації на блоках). Серверна реалізація уможливорює централізоване аудитування якості адаптації та поступове навчання класифікаційних моделей на агрегованих даних взаємодії. Відповідність кожного етапу конвеєру чинним специфікаціям гарантує сумісність із наявними браузерними рушіями та допоміжними технологіями скринрідерів.

Висновки. У дослідженні було проаналізовано проблему недостатньої адаптації вебконтенту до потреб користувачів із когнітивними особливостями в умовах зростаючої структур-

ної складності сучасних вебдодатків. Для її розв'язання було виокремлено три методи структурного аналізу вебресурсів: розбір DOM-дерева з обчисленням ознакових векторів вузлів, просторову сегментацію макетів та семантичну класифікацію функціональних регіонів. Послідовна інтеграція цих методів в обчислювальний конвеєр дає змогу автоматично формувати структурну карту довільної вебсторінки. На підставі цієї карти адаптаційний рушій реалізує конкретні трансформації вебінтерфейсу: типографічну корекцію текстових регіонів для осіб із дислексією, усунення відволікаючих елементів для користувачів зі РДУГ та прогресивне розкриття ієрархії контенту для зниження когнітивного перевантаження.

Практична значущість отриманих результатів полягає в тому, що обидва архітектурні варіанти реалізації функціонують без модифікації вихідного коду вебресурсу і сумісні з довільним технологічним стеком, що робить підхід придатним як для адаптації власних платформ, так і для покращення доступності сторонніх ресурсів. Перспективи подальших досліджень охоплюють верифікацію класифікаційних моделей на репрезентативних корпусах різнотипних вебдокументів, розроблення моделі когнітивних профілів для машинного оброблення та емпіричне оцінювання ефективності трансформаційних стратегій у контрольованих користувачьких дослідженнях за участю осіб із відповідними когнітивними порушеннями.

Abstract. The research examines automated structural analysis methods for web resources as a computational basis for cognitively oriented interface adaptation. Approaches to DOM tree parsing, spatial segmentation of page layouts, and semantic classification of web content are considered. A pipeline for automated construction of page structure maps and its application for generating adapted renderings are described. Transformation strategies for users with dyslexia, attention deficit disorder, and cognitive overload are substantiated. It is demonstrated that programmatic integration of DOM analysis with ARIA semantics provides a sufficient formal basis for adaptive systems without modifying server-side components.

Keywords: structural analysis, web interface, cognitive adaptation, DOM tree, adaptive interfaces.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. The Neurodiversity Directory. Neurodiversity statistics and research. URL: <https://neurodiversity.directory/neurodiversity-statistics/> (дата звернення: 11.03.2026).
2. W3C/WAI. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2: W3C Recommendation. URL: <https://www.w3.org/TR/WCAG22/> (дата звернення: 08.03.2026).
3. W3C Cognitive Accessibility Task Force. Making Content Usable for People with Cognitive and Learning Disabilities: W3C Working Group Note. URL: <https://www.w3.org/TR/coga-usable/> (дата звернення: 10.03.2026).
4. WHATWG. HTML Living Standard. URL: <https://html.spec.whatwg.org/> (дата звернення: 07.03.2026).
5. W3C. Accessible Rich Internet Applications (WAI-ARIA) 1.2: W3C Recommendation. URL: <https://www.w3.org/TR/wai-aria-1.2/> (дата звернення: 10.03.2026).
6. British Dyslexia Association. Dyslexia Style Guide 2023. URL: <https://www.bumc.bu.edu/jmedday/files/2025/05/Dyslexia-Style-Guide-2023-BDA-Style-Guide-2023.pdf> (дата звернення: 11.03.2026).

УДК 339.138:004.738.5

ІНФОРМАЦІЙНІ ЧИННИКИ ВИБОРУ ЦИФРОВОЇ ТЕХНІКИ В УКРАЇНІ

О. Ю. Боднар, Г. П. Лукаш

Анотація. Стаття присвячена аналізу інформаційних чинників, що впливають на вибір цифрової техніки (смартфонів, ноутбуків, планшетів та інших гаджетів) українськими споживачами в умовах цифровізації ринку та воєнних викликів. Предмет дослідження – роль онлайн-відгуків, соціальних мереж, пошукових систем, AI-рекомендацій та інших інформаційних джерел у процесі прийняття рішень. Методи дослідження: аналіз вторинних даних із репрезентативних опитувань, огляд літератури та синтез емпіричних досліджень українського ринку. Зазначено, що українці готові купувати техніку онлайн без фізичного огляду, ключовими чинниками є онлайн-відгуки, соціальні мережі та довіра до AI для збору інформації. Виявлено пріоритет ціни та якості, а також зростання ролі верифікованих відгуків у поствоєнний період. Простежено вплив штучного інтелекту на інформаційну діяльність споживача.

Ключові слова: інформаційні чинники, інформаційна діяльність, вибір цифрової техніки, онлайн-відгуки, електронна комерція, соціальні мережі, AI-рекомендації.