

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Метод збору та аналізу користувацького досвіду в системах жестового управління для вебзастосунків»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення
освітньо-професійної програми «Інженерія програмного забезпечення»

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Юрій КИВЛЮК
(підпис)

Виконав: здобувач вищої освіти групи ПДМ-61
Юрій КИВЛЮК

Керівник: _____ Юрій ЗАДОНЦЕВ
канд. техн. наук

Рецензент: _____
науковий ступінь, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
вчене звання

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій

Кафедра Інженерії програмного забезпечення

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 121 Інженерія програмного забезпечення

Освітньо-професійна програма «Інженерія програмного забезпечення»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Інженерії програмного забезпечення

_____ Ірина ЗАМРІЙ

«_____» _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Кивлюку Юрію Олеговичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Метод збору та аналізу користувацького досвіду в системах жестового управління для вебзастосунків»

керівник кваліфікаційної роботи Юрій ЗАДОНЦЕВ, канд. техн. наук.

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «30» жовтня 2025 р. № 467.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «19» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-технічна література, методичні матеріали щодо оцінки користувацького досвіду, метод логування користувацького досвіду, вебзастосунки та тестові сценарії, дані користувацького тестування.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Дослідження методів детектування жестів у комп'ютерному зорі.

2. Розробка принципів навігації та базового набору жестів для вебзастосунків.

3. Формалізація UX-метрик для оцінки точності, стабільності та швидкості взаємодії.

4. Проектування системи збору та обробки даних користувацького досвіду.
5. Проведення експериментального тестування на контрольній групі користувачів.
6. Формулювання рекомендацій щодо впровадження та використання системи жестового керування у вебзастосунках.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*

1. Алгоритм визначення жестів.
2. Результати тестування користувачів.
3. Формалізовані користувацькі метрики.
4. Методи покращення користувацького досвіду.
5. Демонстрація роботи на тестових застосунках.
6. Візуалізація результатів тестування.

6. Дата видачі завдання «31» жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наявної науково-технічної літератури	31.10 - 01.11	
2	Вивчення матеріалів для аналізу розвитку технологій багатокамерного трекінгу об'єктів	02.11 - 04.11	
3	Дослідження методів глибокого навчання	05.11 - 06.11	
4	Аналіз підходів до оцінювання користувацького досвіду в системах жестового управління	07.11 - 09.11	
5	Розробка тестових застосунків та користувацьких сценаріїв для оцінки користувацького досвіду	10.11 - 12.11	
6	Проведення тестування та збір аналітичних даних	13.11 - 15.11	
7	Оформлення роботи: вступ, висновки, реферат	16.11 - 20.11	
8	Розробка демонстраційних матеріалів	21.11 - 24.11	
9	Попередній захист роботи	25.11 - 19.12	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Юрій КИВЛЮК

Керівник
кваліфікаційної роботи

(підпис)

Юрій ЗАДОНЦЕВ

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 87 стор., 13 табл., 19 рис., 35 джерел.

Мета роботи – покращення взаємодії користувача з вебзастосунком шляхом розширення способів управління системою та забезпечення високого рівня користувацького досвіду.

Об'єкт дослідження – людино-комп'ютерна взаємодія у вебзастосунках із використанням жестових способів керування.

Предмет дослідження – методи збору та аналізу користувацького досвіду при використанні систем жестового управління у вебзастосунках.

У роботі використано методи комп'ютерного зору та нейронних мереж для розпізнавання жестів у вебзастосунках.

Проведено аналіз сучасних технологій та розроблено оптимізований набір жестів із відповідною методикою оцінки взаємодії користувача.

Експерименти підтвердили працездатність системи та її практичну цінність для інтеграції в реальні сценарії веб-взаємодії.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЖЕСТОВЕ УПРАВЛІННЯ, КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, РОЗПІЗНАВАННЯ ЖЕСТІВ, КОРИСТУВАЦЬКИЙ ДОСВІД, ВЕБЗАСТОСУНКИ, ІНТЕРАКТИВНІ ІНТЕРФЕЙСИ.

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 87 pages, 19 pictures, 13 tables, 35 sources.

The purpose of the work – improving the quality of user interaction with the web application by expanding the ways to manage the system and ensuring a high level of user experience.

Object of research – human-computer interaction in web applications using gesture control methods.

Subject of research – methods for collecting and analyzing user experience when using gesture control systems in web applications.

Summary of the work: The work uses computer vision and neural network methods for gesture recognition in web applications. An analysis of modern technologies was conducted and an optimized set of gestures with an appropriate methodology for evaluating user interaction was developed. Experiments confirmed the system's performance and its practical value for integration into real web interaction scenarios.

KEYWORDS: GESTURE CONTROL, COMPUTER VISION, GESTURE RECOGNITION, USER EXPERIENCE (UX), WEB APPLICATIONS, INTERACTIVE INTERFACES.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЖЕСТОВОГО УПРАВЛІННЯ.....	13
1.1 Аналіз сучасних методів взаємодії в вебзастосунках та обґрунтування жестового інтерфейсу.....	13
1.1.1 Огляд класичних методів навігації.....	13
1.1.2 Аналіз альтернативних безконтактних технологій.....	14
1.1.3 Обґрунтування жестового управління як інноваційного підходу в вебсередовищі.....	17
1.2 Принципи побудови та архітектура систем жестового управління.....	18
1.2.1 Класифікація систем жестового управління та основні етапи розпізнавання жестів.....	18
1.2.2 Вимоги до систем жестового управління в контексті інтеграції у вебсередовище.....	20
1.3 Сучасні підходи до розпізнавання жестів на основі комп'ютерного зору....	21
1.3.1 Поняття комп'ютерного зору.....	21
1.3.2 Нейронні мережі в задачах комп'ютерного зору.....	22
1.3.3 Вибір технології для застосування.....	23
1.4 Концептуальні засади та методології аналізу користувацького досвіду.....	25
1.4.1 Визначення та роль користувацького досвіду в інженерії ПЗ.....	25
1.4.2 Формалізація основних UX-метрик.....	26
2 РОЗРОБКА МЕТОДУ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ КОРИСТУВАЦЬКОГО ДОСВІДУ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ.....	31
2.1 Принципи навігації та проектування базового набору жестів для вебсередовища.....	31
2.1.1 Аналіз принципів інтуїтивної навігації.....	31
2.1.2 Вибір та обґрунтування базового набору жестів для основних дій.....	33
2.2 Впровадження оптимізацій для підвищення плавності та точності відтворення жестів.....	35
2.2.1 Необхідність забезпечення плавності руху вказівника.....	35
2.2.2 Швидкодія відтворення динамічних жестів.....	38
2.3 Алгоритм розпізнавання жестів та метод збору даних користувацької взаємодії.....	39
2.3.1 Опис алгоритму визначення та класифікації жестів.....	39
2.3.2 Метод логування для збору об'єктивних даних.....	42

2.4	Методика проведення експериментального дослідження.....	44
2.4.1	Опис тестових вебзастосунків.....	44
2.4.2	Вибірка учасників та способи проведення тестування.....	49
2.4.3	Планування гіпотез та сценаріїв тестування.....	51
3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	53
3.1	Проведення тестування та відображення результатів.....	53
3.1.1	Проведення тестування з залученням користувачів.....	53
3.1.2	Тестування стабільності системи в залежності від фізичних факторів	62
3.1.3	Результати опитування SUS.....	65
3.2	Підтвердження висунутих гіпотез.....	66
	ВИСНОВКИ.....	69
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	71
	ДОДАТОК А. ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

СЖУ — система жестового управління

HCI — Human-Computer Interaction (взаємодія людини з комп'ютером)

UX — User Experience (користувацький досвід)

UI — User Interface (користувацький інтерфейс)

WEB — вебзастосунок або вебсередовище

CV — Computer Vision (комп'ютерний зір)

CNN — Convolutional Neural Network (згорткова нейронна мережа)

ML — Machine Learning (машинне навчання)

ВСТУП

У сучасному світі стрімкий розвиток обчислювальних можливостей і пристроїв призводить до постійної еволюції способів взаємодії людини з комп'ютером. Якщо на початку розвитку комп'ютеризації домінували механічні інтерфейси введення, такі як клавіатура та миша, то з появою сенсорних екранів з'явилися тактильні методи керування, що значно розширили можливості користувачів. На сьогоднішній день, у 2025 році, ми спостерігаємо перехід до безконтактних технологій взаємодії, таких як жестове управління, що відкриває нові можливості до зручності користування інтерфейсами.

Важливу роль у сучасному житті відіграє вебсередовище, яке перетворилося з сукупності статичних інформаційних сторінок на потужну платформу для динамічних та інтерактивних застосунків, що нерідко конкурують з настільними програмами. Однак, парадокс сучасного вебу полягає в тому, що, хоча його функціональність стрімко зростає, базові способи взаємодії залишаються незмінними протягом десятиліть. Управління за допомогою миші та клавіатури, будучи стабільним і практичним, не отримує суттєвих змін і часто не сприяє глибокій інтерактивності та якісному покращенню користувацького досвіду. У той же час, активний розвиток машинного навчання, нейронних мереж та комп'ютерного зору відкриває нові горизонти для людино-комп'ютерної взаємодії. Тож, сучасні можливості вебплатформ та застарілі методи керування надихнули на дослідження, спрямоване на інтеграцію сучасних технологій штучного інтелекту за для створення інноваційних способів навігації.

Інноваційність запропонованого підходу полягає в інтеграції жестового управління безпосередньо у вебзастосунки за допомогою стандартних вебкамер пристроїв, без потреби в спеціалізованому обладнанні та великих обчислювальних можливостей. Однак, також, не слід забувати, що впровадження нових методів керування вимагає не лише технічної реалізації, але й забезпечення такої ж зручності та інтуїтивності, як у традиційних способах взаємодії, щоб уникнути відторгнення з боку користувачів.

Метою даної кваліфікаційної роботи є підвищення якості взаємодії користувача з вебзастосунком шляхом розширення способів управління системою та забезпечення високого рівня користувацького досвіду.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- Розробити принципи навігації та базовий набір жестів для вебзастосунків, з урахуванням інтуїтивності та точності.
- Розробити алгоритм розпізнавання жестів та систему збору даних користувацької взаємодії.
- Сформулювати методику проведення експериментального дослідження, включаючи тестування в різних умовах та на різних користувачах.
- Провести аналіз результатів, порівняння з традиційними методами та сформулювати рекомендації.

Об'єктом дослідження є людино-комп'ютерна взаємодія у вебзастосунках із використанням жестових способів керування.

Предметом дослідження є методи збору та аналізу користувацького досвіду при використанні систем жестового управління у вебзастосунках.

Наукова новизна роботи полягає в розробці комплексного методу збору та аналізу користувацького досвіду, адаптованого спеціально для оцінки безконтактних (жестових) інтерфейсів у вебзастосунках, що передбачає інтеграцію кількісних і якісних даних.

Практична цінність дослідження полягає у тому, що розроблений метод та отримані висновки можуть бути використані розробниками вебзастосунків для об'єктивної оцінки та підвищення якості взаємодії при впровадженні інноваційних способів керування, що сприяє створенню більш конкурентоздатних, інклюзивних та орієнтованих на користувача продуктів.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЖЕСТОВОГО УПРАВЛІННЯ

1.1 Аналіз сучасних методів взаємодії в вебзастосунках та обґрунтування жестового інтерфейсу

1.1.1 Огляд класичних методів навігації

Розвиток вебзастосунків протягом останніх десятиліть ґрунтується на використанні низки усталених методів взаємодії користувача з інтерфейсом. Традиційні моделі навігації сформували фундамент, на якому побудовані сучасні підходи до людино-комп'ютерної взаємодії, включно з новітніми жестовими інтерфейсами. Розуміння класичних методів є критичним для оцінки потенційних переваг та обмежень жестового керування.

Класичні методи навігації в вебзастосунках базуються на трьох основних пристроях введення: миші (або тачпаду), клавіатурі та сенсорних екранах. Кожен з них має свою еволюцію, функціональність і застосування, але всі вимагають фізичного контакту з пристроєм. Вони дозволяють користувачам переміщатися по сторінках, вибирати елементи, вводити дані та виконувати дії, але не завжди відповідають сучасним вимогам до зручності, гігієни та доступності.

Миша та тачпад — це пристрої, які дозволяють керувати вказівником на екрані за допомогою рухів руки. У вебзастосунках миша дає можливість точно наводити курсор на елементи, натискати кнопки, перетягувати об'єкти чи прокручувати сторінки. Наприклад, на сайті інтернет-магазину, як Amazon [1], користувач може навести мишу на товар, щоб побачити підказку з деталями, або перетягнути зображення для перегляду. Тачпади додають мультитач-функції, як прокручування двома пальцями, що робить навігацію плавнішою.

Клавіатура — пристрій для введення тексту та команд, який еволюціонував від механічних моделей до сучасних мембранних чи віртуальних варіантів.

У вебзастосунках вона використовується для пошуку, заповнення форм чи швидкої навігації. Наприклад, на сайті YouTube [2] користувач може натиснути “Space” для паузи відео, клавіші “J/L” для перемотування чи “Tab” для перемикання між елементами сторінки. Це робить взаємодію швидкою для досвідчених користувачів, особливо в текстових задачах, наприклад для написання листів у засобах електронного листування. Клавіатура також важлива для доступності: люди з проблемами зору можуть використовувати її з екранними читачами, щоб “перестрибувати” по посиланнях. Статистика показує, що в професійних вебзастосунках, клавіатура використовується в 20–30% взаємодій для команд.

Сенсорні екрани — пристрої, де екран реагує на дотик пальцями чи стилусом, поширені завдяки смартфонам з екраном як головним способом управління. У вебзастосунках це дозволяє торкатися інтерактивних елементів для взаємодії, свайпати для прокручування чи “щипати” пальцями для масштабування. Наприклад, на мобільній версії Instagram [3] користувач свайпає стрічку новин або торкається для лайку. Сенсорні екрани роблять взаємодію більш природною, імітуючи реальні рухи, вони домінують у мобільному вебтрафіку — 62.54% за даними Statista 2025 [4].

Ці класичні методи забезпечують стабільність, але їх обмеження — фізичний контакт і залежність від пристрою — роблять їх менш гнучкими для сучасних потреб, як безконтактна взаємодія в громадських місцях чи для людей з інвалідністю.

1.1.2 Аналіз альтернативних безконтактних технологій

Голосове управління

Одним з основних методів взаємодії є голосове управління. Це перспективний метод безконтактної взаємодії, який дозволяє користувачам керувати системою за допомогою мовних команд. Ця технологія ґрунтується на сучасних досягненнях у галузі обробки природної мови (NLP, Natural Language Processing) та розпізнавання мовлення [5]. Технічною основою реалізації

голосового управління у вебсередовищі слугують такі компоненти як Web Speech API, що забезпечує браузерну інтеграцію розпізнавання мовлення, та спеціалізовані акустичні моделі, адаптовані для роботи в умовах різного рівня шуму [6]. Важливим аспектом є імплементація алгоритмів шумогасіння, які суттєво підвищують точність розпізнавання команд у реальних умовах експлуатації.

- Навігаційні дії. Користувачі можуть швидко переходити між основними розділами, використовуючи природні формулювання: наприклад, “Відкрий головну”, “Покажи історію”, “Перейди до закладок”. У реальних системах ці команди мають десятки варіантів подачі, що дозволяє підлаштовуватись під індивідуальний стиль мовлення.
- Керування контентом. Голос дає змогу взаємодіяти зі сторінкою без дотику: “Прокрути нижче”, “Збільш масштаб”, “Знайди...”. Замість фіксованих команд система зазвичай приймає гнучкі фрази — від коротких (“знайди слово авторизація”) до описових (“пошукай, де згадується форма входу”).
- Операційні та транзакційні дії. Голосові інструкції можуть виконувати складні послідовності: “Додай цей товар у кошик”, “Почни заповнення форми”, “Надішли повідомлення”. У практиці такі дії зазвичай супроводжуються підтвердженням, щоб зменшити ризик помилкового виконання.

Переваги голосового управління проявляються насамперед у зменшенні фізичного навантаження на користувача: взаємодія відбувається без необхідності постійно використовувати клавіатуру чи мишу, що особливо помітно під час тривалої роботи або виконання повторюваних дій. Голосові команди можуть бути виконані паралельно з іншими задачами — наприклад, здійснювати навігацію або шукати інформацію, не відволікаючись від основної діяльності чи не торкаючись пристрою. Крім того, цей метод значно підвищує рівень доступності для людей з фізичними обмеженнями, зокрема користувачів із порушеннями моторики або зору, забезпечуючи для них повноцінну взаємодію з інтерфейсом. У практичних сценаріях голосове управління також здатне пришвидшувати виконання складних

або багатокрокових операцій, оскільки користувач може одразу сформулювати команду ключовими словами замість виконання серії окремих дій.

Разом із тим технологія має і низку практичних обмежень. Ефективність розпізнавання значною мірою залежить від рівня шуму в оточенні: у громадських місцях, транспорті або офісах з великою кількістю фонових звуків точність помітно знижується. Також голосові системи потребують адаптації до індивідуальних особливостей мовлення — темпу, акценту, інтонації, що може вимагати додаткових налаштувань або навчання моделі. У контексті приватності важливо враховувати, що користувачі не завжди можуть або хочуть вимовляти команди в публічних просторах, особливо якщо вони містять особисті або чутливі дані. Крім того, розпізнавання спеціалізованої термінології, аббревіатур чи власних назв часто залишається проблемним, що обмежує застосування голосового управління у професійних або вузькопрофільних системах.

Жестове управління

Жестове управління як метод безконтактної взаємодії знаходить все більш широке застосування в сучасних технологіях, демонструючи високий потенціал для трансформації способів взаємодії людини з цифровими пристроями. Одним з найбільш яскравих прикладів інноваційного підходу до жестового управління є система Apple Vision Pro [7], що представляє нову парадигму просторового обчислення.

Технологічні рішення в Apple Vision Pro базуються на комплексному підході до розпізнавання жестів. Система використовує комбінацію високочутливих камер, лідарів та інфрачервоних датчиків для точного відстеження рухів рук і пальців. Особливістю даної реалізації є те, що користувачі взаємодіють з інтерфейсом без необхідності тримати в руках додаткові контролери - система розпізнає жести безпосередньо в повітрі. Основним методом управління слугують тонкі рухи пальців, зокрема, поєднання великого та вказівного пальців для вибору елементів, що створює відчуття природної взаємодії з віртуальним середовищем.

Технологічні підходи, що лежать в основі сучасних систем жестового управління, включають глибоке навчання для розпізнавання складних патернів

руху, комп'ютерний зір для відстеження положення рук у просторі, а також сенсори глибини для точного визначення відстані до об'єктів.

Перспективи розвитку жестового управління пов'язують з інтеграцією штучного інтелекту для передбачення намірів користувача, покращенням точності розпізнавання мікрожестів, а також з розвитком тактильного зворотного зв'язку, що дозволяє відтворювати відчуття дотику до віртуальних об'єктів. Ці досягнення відкривають нові можливості для створення по-справжньому природних та інтуїтивних інтерфейсів взаємодії людини з технологіями.

1.1.3 Обґрунтування жестового управління як інноваційного підходу в вебсередовищі

Одним з перспективних напрямків розвитку інтерфейсів у вебсередовищі є жестове управління, оскільки воно забезпечує природний та інтуїтивний спосіб взаємодії з додатками без використання фізичних пристроїв введення. Інноваційність підходу полягає у здатності звичайної вебкамери виконувати роль інструмента керування, що робить взаємодію гнучкішою та доступною для широкого кола користувачів.

Завдяки сучасним вебтехнологіям жестове управління може працювати без встановлення додаткового ПЗ. WebRTC [8] забезпечує отримання відеопотоку безпосередньо в браузері, а WebGL [9] — його апаратно прискорену обробку. У поєднанні з бібліотеками на кшталт TensorFlow.js [9] та MediaPipe Hands [10] це дає змогу розпізнавати положення рук і базові жести локально на пристрої користувача, що зменшує затримки, так як уникає взаємодії з серверною частиною, а отже — підвищує рівень приватності.

У практичних сценаріях жестове керування дозволяє реалізувати нові моделі взаємодії: перегортання сторінок, перемикання слайдів, керування мультимедіа чи роботу з навчальним контентом. Такий спосіб взаємодії є зручним у ситуаціях, коли традиційні засоби недоступні або небажані — під час презентацій, дистанційного навчання, демонстрацій чи у середовищах із підвищеними вимогами до гігієни.

Ключові переваги підходу полягають у його доступності та масштабованості: достатньо стандартної вебкамери, а реалізація базується на відкритих вебстандартах, що забезпечує крос-платформеність. Крім того, словник жестів можна поступово розширювати без зміни архітектури системи. Такий тип взаємодії підвищує інклюзивність, надаючи альтернативний спосіб керування користувачам із обмеженою моторикою.

Завдяки швидкому розвитку технологій комп'ютерного зору жестове управління стає зрілим та практичним інструментом для сучасних вебзастосунків. Воно відкриває можливості для створення інтерактивних рішень у сфері цифрової освіти, віртуальних екскурсій, презентацій, творчих платформ та систем дистанційного контролю. Інноваційність підходу полягає у можливості його інтеграції з іншими методами безконтактної взаємодії, формуючи природні та багатомодальні інтерфейси нового покоління.

1.2 Принципи побудови та архітектура систем жестового управління

1.2.1 Класифікація систем жестового управління та основні етапи розпізнавання жестів

Системи жестового управління умовно поділяють за типом використовуваного обладнання, способом інтерпретації рухів та рівнем інтеграції в програмні середовища. Найпоширеніша класифікація передбачає такі групи:

- Системи на основі глибинних камер. Використовують сенсори типу Kinect, Intel RealSense або стереокамери [12], які дозволяють точно відстежувати положення кисті у тривимірному просторі. Перевага — висока точність та можливість аналізу складних жестів. Недолік — потреба у спеціальному обладнанні.
- Системи на базі звичайних RGB-камер. Найпоширеніший підхід у вебсередовищах. Аналіз полягає у детекції руки та подальшому трекінгу ключових точок (фаланг та суглобів). За останні роки технології

нейромереж значно підвищили точність таких систем, роблячи їх придатними для браузерного використання.

- Системи з використанням носимих сенсорів. До таких належать браслети з ІМУ-датчиками (інерційними вимірювальними блоками — електронні пристрої, які вимірюють прискорення та кутову швидкість для обчислення положення, орієнтації та швидкості об'єкта) [13], рукавички з датчиками вигину пальців, електроміографічні датчики тощо. Вони забезпечують найточніше вимірювання, але не підходять для масового вебвикористання через додаткове обладнання.
- Гібридні системи. Поєднують відеодетекцію та сенсори, що дозволяє компенсувати недоліки кожного з методів. Використовуються переважно в промисловості та VR-середовищах.

Незалежно від типу системи, процес розпізнавання жесту зазвичай складається з кількох етапів:

- 1) Збір потоку даних. Камера, чи то інший пристрій запису навколишнього середовища, в режимі реального часу передає інформацію, яка надходить у систему обробки.
- 2) Детекція руки. Модуль виявляє область на зображенні, що відповідає руці користувача. Це може бути bounding box (прямокутна рамка, що мінімально охоплює об'єкт) або набір контурів.
- 3) Трекінг ключових точок. Алгоритми визначають координати суглобів пальців і зап'ястя, формуючи "скелет" руки.
- 4) Екстракція ознак. На цьому етапі обчислюються геометричні характеристики: кути між фалангами, відстані між пальцями, положення кисті відносно камери.
- 5) Класифікація жесту. На основі підготовленої моделі визначається, до якого класу жест належить поточна конфігурація руки.
- 6) Інтеграція з інтерфейсом. Результат класифікації трансформується в дію інтерфейсу: клік, прокрутка, показ меню, активація елемента тощо.

1.2.2 Вимоги до систем жестового управління в контексті інтеграції у вебсередовище

Інтеграція систем жестового управління у браузер передбачає дотримання низки технічних вимог, що забезпечують стабільну роботу та коректну взаємодію з вебінтерфейсами.

Однією з ключових є продуктивність, оскільки розпізнавання жестів повинно працювати із мінімальною затримкою та частотою не нижче 60 FPS (Frames Per Second), що є стандартом в сучасних браузерах. Це вимагає використання апаратного прискорення та оптимізованих моделей машинного навчання, що виконуються локально у WebAssembly [14].

Важливою є також сумісність із типовими апаратними ресурсами. Система повинна стабільно працювати з камерами різної якості та в різних умовах освітлення, не потребуючи спеціалізованих пристроїв.

Окрему увагу слід приділити приватності та безпеці, адже відеопотік містить потенційно чутливі дані. Виконання всіх обчислень на стороні клієнта забезпечує відповідність сучасним стандартам захисту та мінімізує ризики несанкціонованої передачі даних.

У вебсередовищах актуальною є й енергоефективність, зокрема на мобільних пристроях. Легкі моделі та адаптивна частота обробки знижують навантаження на процесор і продовжують час роботи акумулятора.

Система має залишатися інклюзивною, допускаючи різні стилі рухів та фізичні можливості користувачів, а також забезпечувати гнучку інтеграцію з UI/UX. Жести повинні природно перетворюватися на вебподії — прокрутку, масштабування, вибір елемента чи активацію команд.

1.3 Сучасні підходи до розпізнавання жестів на основі комп'ютерного зору

1.3.1 Поняття комп'ютерного зору

Комп'ютерний зір (Computer Vision, CV) — це галузь науки і технологій, що спрямована на автоматичне отримання, обробку та інтерпретацію візуальної інформації з навколишнього середовища за допомогою комп'ютерних систем. Основна мета CV полягає у наданні комп'ютеру можливості “бачити” та розуміти зображення або відеопотік аналогічно до людини, забезпечуючи розпізнавання об'єктів, їх класифікацію, визначення просторового розташування та відстеження змін у часі.

У контексті жестового управління комп'ютерний зір дозволяє відстежувати положення кінцівок користувача, виділяти ключові точки суглобів та кінчиків пальців, визначати траєкторії рухів і перетворювати їх у команди для керування інтерфейсом. Це забезпечує можливість безконтактної взаємодії, що особливо актуально для сучасних веб та мобільних застосунків, а також систем віртуальної та доповненої реальності.

Сучасні системи комп'ютерного зору зазвичай комбінують класичні методи обробки зображень, такі як фільтрація, сегментація, детекція контурів і виділення ознак, із алгоритмами машинного навчання та штучного інтелекту. Завдяки цьому досягається підвищена точність розпізнавання навіть у складних умовах: при змінному освітленні, на неоднорідному фоні, під час часткових накладань об'єктів або при значній різниці фізіологічних особливостей користувачів.

Особливо важливим аспектом є обробка динамічних послідовностей зображень, що дозволяє аналізувати рухи користувача у часі. Наприклад, для жестового управління необхідно не лише ідентифікувати руку в кожному кадрі, але й відстежувати її траєкторію та швидкість руху. Це дозволяє визначити, чи виконаний жест відповідає заданій команді, а також забезпечує високий рівень стабільності та передбачуваності взаємодії.

1.3.2 Нейронні мережі в задачах комп'ютерного зору

Нейронні мережі є ключовим інструментом сучасного комп'ютерного зору, що дозволяє автоматично виділяти складні ознаки об'єктів та сцен із зображень і відеопотоків. В основі їхньої роботи лежить ідея імітації біологічних нейронних структур: мережа навчається на великій кількості прикладів, підбираючи вагові коефіцієнти зв'язків між нейронами так, щоб мінімізувати помилку прогнозу або класифікації.

Для задач комп'ютерного зору найчастіше застосовуються згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN), які ефективно обробляють дво- та тривимірні дані [15]. CNN дозволяють виділяти локальні ознаки об'єктів (краї, кути, текстури) на різних масштабах та рівнях абстракції, що є критичним для точного розпізнавання форм руки, положення пальців та траєкторій жестів. Завдяки шарам згортки, підсумовування та нормалізації, мережа здатна формувати ієрархічне представлення інформації, яке забезпечує стійкість до шумів, змін освітлення та невеликих спотворень зображення.

У задачах розпізнавання динамічних жестів особливу роль відіграють рекурентні нейронні мережі (Recurrent Neural Networks, RNN [16]) та їх модифікації на кшталт LSTM (Long Short-Term Memory [17]). Вони дозволяють аналізувати часові послідовності координат і ключових точок, що відповідають рухам руки. LSTM здатні зберігати інформацію про попередні кадри та враховувати контекст руху, що особливо важливо для правильного класифікування комбінацій жестів та для визначення їхньої послідовності у часі.

Сучасні системи часто поєднують CNN для просторового аналізу кадру та RNN/LSTM для часової обробки у єдину архітектуру CNN-LSTM. Такий підхід дозволяє одночасно обробляти візуальні деталі та динаміку руху, що забезпечує високий рівень точності навіть у складних умовах: змінне освітлення, різні пози користувачів, швидкі або неточні рухи.

Застосування нейронних мереж у комп'ютерному зорі для жестового управління дозволяє досягти наступних переваг:

- Автоматичне виділення ознак — мережа сама формує ознаки для класифікації, зменшуючи потребу у ручному налаштуванні параметрів.
- Стійкість до зовнішніх факторів — освітлення, фон, швидкість руху або часткові перекриття пальців впливають на якість розпізнавання значно менше, ніж у традиційних алгоритмах.
- Можливість обробки динамічних жестів — аналіз часових послідовностей забезпечує коректне визначення складних рухів.
- Гнучкість та адаптивність — нейронні мережі легко адаптуються до нових користувачів, жестів або умов взаємодії шляхом донавчання.

Таким чином, інтеграція нейронних мереж у системи комп'ютерного зору є критичною для створення ефективних і надійних інтерфейсів жестового управління, забезпечуючи інтуїтивність взаємодії та високу точність розпізнавання в реальних умовах експлуатації.

1.3.3 Вибір технології для застосування

Для реалізації системи жестового управління у рамках даної роботи було обрано MediaPipe Hands [11], що є частиною відкритого фреймворку MediaPipe, розробленого компанією Google. MediaPipe є потужним інструментом для створення додатків комп'ютерного зору та машинного навчання у реальному часі. Він надає готові моделі для детекції об'єктів, розпізнавання поз, відстеження рук та обличчя, а також оптимізовані пайплайни для швидкого оброблення відеопотоку. Вибір MediaPipe для вебзастосунків обумовлений його легкістю інтеграції з вебтехнологіями, можливістю роботи на клієнтській стороні, а також високою продуктивністю на стандартному обладнанні без необхідності спеціалізованих графічних процесорів.

MediaPipe Hands спеціально розроблений для детекції та трекінгу рук у реальному часі, що робить його ідеальним для застосування у системах жестового керування. Технологія дозволяє швидко та точно визначати положення кисті та пальців, що критично для класифікації жестів у вебінтерфейсах, де важлива мінімальна затримка та точність відстеження рухів.

Модуль MediaPipe Hands використовує комбінацію двох ключових моделей (рис. 1.1):

- Palm Detection Model — визначає наявність руки в кадрі та локалізує її область, забезпечуючи ефективне виділення руки на фоні сцени.
- Hand Landmark Model — відстежує 21 ключову точку руки (суглоби та кінчики пальців) у трьох вимірах (x, y, z), формуючи точні координати для подальшої класифікації жестів (рис. 2.2).

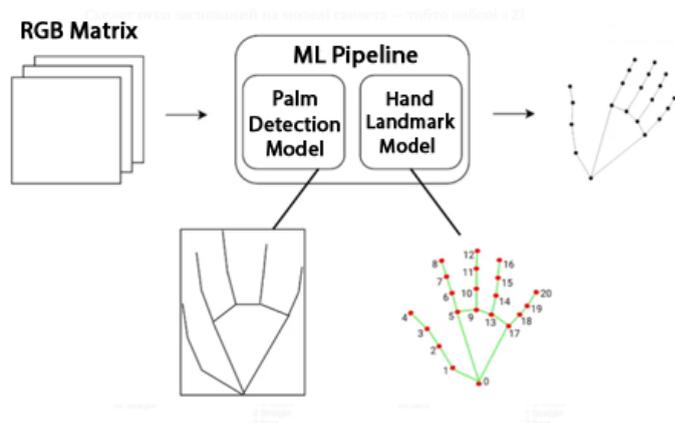


Рис. 1.1 Моделі машинного навчання MediaPipe Hands



Рис. 1.2 Ключові координати руки MediaPipe

Отримані координати дають змогу реалізувати алгоритми розпізнавання жестів на основі нейронних мереж, оцінювати позицію та рух пальців, а також інтегрувати дані у застосунок. Завдяки MediaPipe Hands система забезпечує стабільність, високу точність та низьку затримку, що дозволяє проводити експериментальні дослідження ефективності взаємодії користувачів із жестовим інтерфейсом та реалізувати зручну безконтактну навігацію.

1.4 Концептуальні засади та методології аналізу користувацького досвіду

1.4.1 Визначення та роль користувацького досвіду в інженерії ПЗ

Користувацький досвід (User Experience, UX) — це сукупність емоцій, сприйняття, фізичних і психологічних реакцій користувача, які виникають до, під час і після взаємодії з продуктом чи системою. Стандарт ISO 9241-210 [18] визначає UX як “сприйняття та реакції людини, що виникають внаслідок використання або очікуваного використання продукту, системи чи послуги”. У контексті інженерії програмного забезпечення, особливо при розробці нових можливостей взаємодії, UX виходить за межі зручності інтерфейсу сайту і охоплює весь досвід використання саме способу взаємодії — у нашому випадку жестового управління вебзастосунками за допомогою вебкамери.

У традицій веброзробці UX зазвичай асоціюється з дизайном сторінок, швидкістю завантаження та адаптивністю. Проте при впровадженні жестового управління об’єктом оцінки стає не сайт чи застосунок як такий, а саме нова модальність введення — безконтактне керування рухами рук. Користувацький досвід у цьому випадку включає:

- фізичну та когнітивну втомлюваність;
- інтуїтивність жестів;
- точність і швидкість виконання задач;
- відчуття контролю та передбачуваності;
- емоційне сприйняття (задоволення, фрустрація, довіра до системи).

Саме тому аналіз UX у нашій роботі спрямований не на оцінку вебзастосунку як продукту, а на оцінку ефективності, прийнятності та комфортності жестового управління як альтернативного способу взаємодії. Це відповідає сучасним тенденціям HCI, де акцент зміщується з користувацького інтерфейсу на користувацький досвід взаємодії.

1.4.2 Формалізація основних UX-метрик

У контексті розробки систем жестового управління оцінювання користувацького досвіду повинно враховувати особливості безконтактної взаємодії, де ефективність визначається не лише правильністю розпізнавання рухів, але й їх стабільністю, затримкою виконання та фізичним навантаженням на користувача. Відповідно, традиційні UX-метрики доповнюються спеціалізованими показниками, що дозволяють комплексно оцінити зручність і ефективність жестового контролю. Нижче наведено ключові метрики, використані в дослідженні, разом із формалізацією та поясненням їхньої ролі.

1. Точність розпізнавання жестів (Gesture Recognition Accuracy, GRA):

$$GRA = \frac{N_{correct}}{N_{total}} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

де:

- $N_{correct}$ – кількість правильно класифікованих жестів;
- N_{total} – загальна кількість спроб виконаних жестів;

Ця метрика визначає базову технічну якість функціонування — здатність моделі правильно інтерпретувати жести. Вона є фундаментальною, оскільки помилки класифікації напряду впливають на ефективність взаємодії та рівень довіри користувача до системи.

У межах роботи точність розпізнавання вимірюється на контрольному наборі жестів, що відтворюють типові дії у вебінтерфейсі (клік, скрол, перехід між секціями). Значення нижче 90% свідчать про те, що жестова система створює додаткове когнітивне навантаження і не може замінити традиційні засоби вводу.

2. Кількість помилкових спрацювань (False Activation Rate, FAR):

$$FAR = \frac{N_{false}}{T} \quad (1.2)$$

де:

- N_{false} — кількість хибних активацій;
- T — тривалість тестування (хв/сек);

Помилкові активації — одна з найпоширеніших проблем у СЖУ. На відміну від миші або тачпада, руки користувача постійно рухаються, що збільшує ризик неконтрольованих дій. FAR дозволяє оцінити, наскільки система здатна відрізнити цілеспрямований жест від випадкового руху.

У межах експерименту FAR вимірюється під час звичайної навігації користувача, без спеціальної концентрації на жести. Високе FAR одразу знижує прийнятність системи, оскільки створює фрустрацію та примушує користувача коригувати свої дії.

3. Час навчання користувача (Learning Time, LT):

Відображає, наскільки легко користувач освоює жести,

$$LT = T_{mastery} - T_{start} \quad (1.3)$$

де:

- $T_{mastery}$ — момент, коли користувач досягає стабільної точності й зниженого часу виконання жестів;
- T_{start} — початок взаємодії;

Ця метрика показує, наскільки легко користувач адаптується до нової парадигми керування. Жестові інтерфейси, на відміну від традиційних, вимагають сприйняття нових рухових патернів, тому швидкість освоєння — важливий компонент UX.

У роботі LT визначається як час, необхідний користувачу для досягнення стабільної точності та швидкості виконання жестів. Система, що потребує тривалого навчання, вважається менш придатною до інтеграції у масове використання.

4. Час виконання завдання, (Task Completion Time, TCT):

$$TCT = t_{end} - t_{start} \quad (1.4)$$

де:

- t_{end} – час початку тестування;
- t_{start} – час завершення тестування;

TCT дозволяє кількісно порівнювати продуктивність жестів із традиційними методами.

У дослідженні TCT застосовується для типових сценаріїв роботи з вебінтерфейсом: натискання кнопки, переходу між елементами, виконання жесту “скролу”. Зменшення часу виконання демонструє, що жестове управління не лише природне, але й ефективне у реальних задачах.

5. Оцінка навчання (Learning Rate, LR):

$$LR = \frac{TCT_{first} - TCT_{first}}{TCT_{first}} \cdot 100\% \quad (1.5)$$

Метрика показує, наскільки швидко користувач покращує свої результати в межах однієї сесії, тобто відображає “криву навчання”. Зменшення часу виконання завдань між першою і останньою спробою демонструє адаптивність жестової системи.

У роботі LR використовується для порівняння різних жестів і перевірки їх інтуїтивності: жести з високим LR вважаються більш природними та простими у використанні.

6. Оцінка суб’єктивної зручності – System Usability Scale (SUS):

Для оцінки загальної зручності використання системи жестового управління доцільно застосовувати стандартизовані методи, що дозволяють отримати об’єктивні дані про сприйняття користувачами інтерфейсу [19]. Одним із таких

методів є System Usability Scale (SUS), який широко використовується у дослідженнях користувацьких інтерфейсів і дозволяє оцінити не лише ефективність взаємодії, а й інтуїтивність, навчальність та прийнятність системи [20].

SUS заснований на тесті з 10-ти питань, кожне з яких оцінюється за п'ятибальною шкалою (від 1 – “повністю не згоден” до 5 – “повністю згоден”), що дозволяє користувачам висловити своє ставлення до системи. Результати опитування обробляються для формування індексу зручності використання, який варіюється від 0 до 100 і відображає суб'єктивне сприйняття користувачами простоти та комфортності роботи з інтерфейсом.

Розрахунок балу SUS виконується за стандартною методикою:

- Для питань з непарними номерами (1, 3, 5, 7, 10): віднімаємо 1 від відповіді.
- Для питань з парними номерами (2, 4, 6, 8, 9): віднімаємо відповідь від 5.
- Сума всіх 10 отриманих значень множиться на 2,5 — фінальний бал від 0 до 100.

Особливість застосування SUS у контексті систем жестового управління полягає в адаптації питань під специфіку безконтактної взаємодії. Це дозволяє оцінити такі аспекти, як:

- швидкість освоєння нових жестів;
- інтуїтивність виконання базових та складних команд;
- комфорт при використанні системи та наявність когнітивного навантаження;
- вплив неточностей розпізнавання на задоволеність користувачів.

Методика проведення SUS передбачає проведення опитування після завершення всіх навчальних сесій та тестування системи, коли користувачі вже отримали достатній досвід взаємодії та можуть сформулювати об'єктивне ставлення до її зручності. Використання SUS у поєднанні з об'єктивними метриками (точність розпізнавання, час виконання, частота помилкових спрацьовувань) дозволяє комплексно оцінити ефективність та практичність жестового інтерфейсу, а також виявити аспекти, що потребують оптимізації для підвищення зручності користування.

Список питань, що було адаптовано під контекст проведення тестування в аспекті жестової взаємодії:

- Я думаю, що я б часто використовував цю жестову систему.
- Я вважаю систему жестового керування занадто складною.
- Мені здається, що система проста у використанні.
- Мені потрібна була б допомога технічної особи, щоб працювати з жестами.
- Різні функції в системі добре інтегровані між собою.
- У роботі системи було забагато неузгодженостей.
- Я уявляю, що більшість людей дуже швидко навчаться працювати з жестами.
- Я вважав систему дуже незграбною у використанні.
- Я почувався впевнено під час роботи з жестовим керуванням.
- Мені довелось багато чому навчитися, перш ніж я зміг ефективно працювати з системою.

Можна зазначити, що використання SUS дає можливість отримати цілісне уявлення про те, як користувачі сприймають жестовий інтерфейс у реальних умовах роботи. Методика дозволяє зрозуміти не лише рівень загальної зручності, а й виявити приховані бар'єри взаємодії, які не завжди можна помітити за допомогою технічних показників. Такий підхід забезпечує глибше розуміння користувацького досвіду, формує підґрунтя для подальшого вдосконалення системи та підвищення її практичної цінності.

2 РОЗРОБКА МЕТОДУ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ КОРИСТУВАЦЬКОГО ДОСВІДУ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ

2.1 Принципи навігації та проектування базового набору жестів для вебсередовища

2.1.1 Аналіз принципів інтуїтивної навігації

Інтуїтивна навігація є ключовим елементом людино-комп'ютерної взаємодії у вебзастосунках, оскільки вона забезпечує ефективне переміщення користувача по інтерфейсу без зайвих зусиль чи навчання. Згідно з принципів побудови зручного інтерфейсу, інтуїтивна навігація повинна базуватися на логічній організації контенту, чітких шляхах взаємодії та орієнтації на цілі користувача, що дозволяє зменшити когнітивне навантаження та підвищити задоволеність від використання системи. У контексті вебзастосунків, де користувачі часто взаємодіють з динамічним контентом, принципи інтуїтивної навігації еволюціонували від статичних меню до адаптивних інтерфейсів, що враховують контекст і поведінку користувача.

Класичні методи навігації в вебзастосунках, такі як кліки, ефекти наведення, навігація по історії та перезавантаження сторінки, стали стандартом завдяки своїй простоті та універсальності.

Ці елементи сформувалися в 1990-х роках з появою графічних інтерфейсів і залишаються основою сучасного вебу, оскільки вони відповідають принципам гештальт-психології (наприклад, близькість і подібність елементів) [21] та евристикам Нільсена, де акцент на видимості статусу системи та узгодженості з реальним світом [22]. Наприклад, клік мишою імітує фізичне натискання кнопки, ефект наведення надає візуальний зворотний зв'язок для інтерактивних елементів, а кнопки пересування по історії сторінок дозволяють легко повертатися до попередніх станів системи, зменшуючи ризик втрати орієнтації користувача. Ці механізми знайомі більшій частині інтернет-користувачів, оскільки вони

інтегровані в усі сучасні браузері (Chrome, Firefox, Safari) і стандартизовані в HTML та CSS, що робить їх класичним підходом до взаємодії.

У розробці жестового інтерфейсу для вебзастосунків необхідність аналогії до цих класичних елементів обумовлена принципом узгодженості (consistency) в HCI, який забезпечує перенесення навичок з традиційних методів на нові. Наприклад, жест “щипання” може імітувати клік (рис. 2.1) наведення вказівного пальця – ефект наведення на інтерактивний елемент (рис. 2.2) а свайп ліворуч чи праворуч — навігацію по історії, що дозволяє користувачам швидко адаптуватися без додаткового навчання. Такий підхід не лише зберігає інтуїтивність, але й розширює доступність, роблячи взаємодію природнішою для будь-якого користувача, який знайомий з сучасними способами навігації вебсторінок.

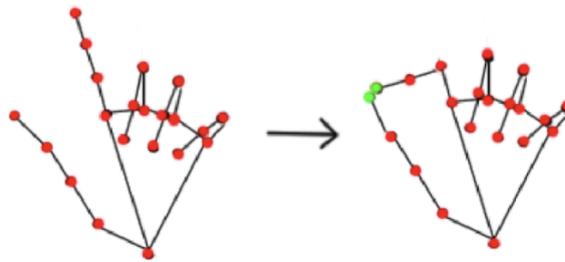


Рис. 2.1 Динамічний жест “Клік”

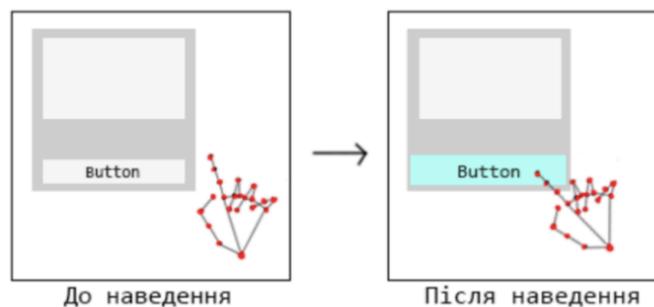


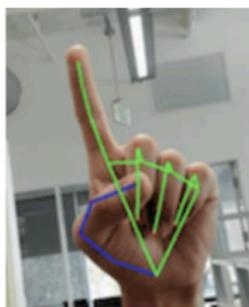
Рис. 2.2 Ефект наведення за допомогою вказівного пальця

Таким чином, принципи інтуїтивної навігації в вебзастосунках ґрунтуються на класичних елементах, які забезпечують універсальність і знайомість. У жестовому управлінні використання аналогій до цих елементів є необхідним для

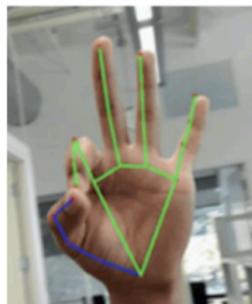
збереження логіки взаємодії, що лягає в основу подальшого проектування набору жестів.

2.1.2 Вибір та обґрунтування базового набору жестів для основних дій

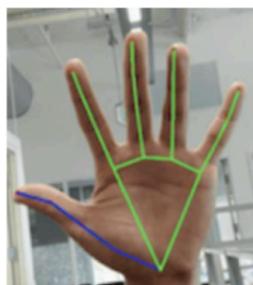
Вибір базового набору жестів для управління вебзастосунками є критичним етапом проектування, оскільки він визначає ефективність, інтуїтивність та доступність. Згідно з принципами дизайну інтерфейсів, жести повинні бути природними, запам'ятовуваними, стислими та з низьким ризиком помилкового розпізнавання, що дозволяє уникнути фрустрації користувача та забезпечити плавну взаємодію.



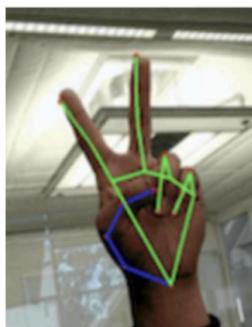
Жест - "Курсор"



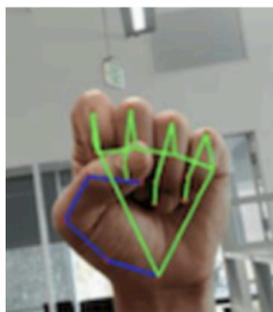
Жест - "Клік"



Жест - "Відкрита долоня"



Жест - "Вікторі"



Жест - "Закрита долоня"

Рис. 2.3 Розроблений набір жестів

У цій роботі набір жестів сформовано з урахуванням аналогій до класичних методів навігації вебсторінками, що відповідає евристичним узгодженості та перенесення навичок, запропонованим Нільсеном та іншими дослідниками HCI. Це забезпечує необхідність жестів для базових дій, таких як позиціонування, активація елементів та навігація по історії, роблячи систему практичною для повсякденного використання. Динамічність набору проявляється в можливості комбінування жестів у послідовності (наприклад, переміщення курсора з подальшим кліком), що імітує природні рухи руки та підвищує ефективність взаємодії.

Запропонований набір жестів включає п'ять основних елементів, кожен з яких обґрунтовано з точки зору практичності та зручності (рис. 2.3).

- “Курсор” — піднятий вказівний палець. Цей жест імітує природню аналогію вказівника, дозволяючи користувачеві переміщувати віртуальний курсор по екрану за рухом руки. Необхідність полягає в забезпеченні точного позиціонування, аналогічного миші чи тачпаду, що є фундаментальною дією в вебнавігації (вибір посилань, фокусування елементів). Практичність жесту в його простоті та низькій втомлюваності — користувач тримає палець у природному положенні, без зайвих рухів. Доступність висока для більшості користувачів, включаючи осіб з частковими моторними обмеженнями, оскільки жест не вимагає складної координації. Динамічність проявляється в реальному часі під час трекінгу руху, що дозволяє плавно переміщатися по динамічному контенту.
- “Вікторі” — два пальці, як знак “V”. Динамічний жест використовується для навігаційних дій, зокрема змаху від правої частини до лівої для повернення по історії станів вперед, зворотного змаху для повернення назад та змаху від верхньої частини до нижньої для перезавантаження сторінки. Необхідність виникає з потреби в швидкій навігації по історії, аналогічній кнопкам браузера, що є класичною функцією для уникнення втрати історичних станів вебзастосунку. Практичність підтверджується динамічністю — жест

дозволяє комбінувати з іншими, а доступність забезпечується мінімальною амплітудою руху.

- “Відкрита долоня” та “Закрита долоня”. Ці жести призначені для прокручування (скролінгу) вгору (відкрита долоня) та вниз (закрита долоня), імітуючи природний рух “перегортання” сторінки. Ґрунтується на принципах природної мови жестів, де відкрита долоня асоціюється з “відкриттям чи розширенням”, а закрита — з “згортанням чи стисканням”. Необхідність полягає в забезпеченні базового скролінгу, якого вимагає більшість взаємодій у вебзастосунках (наприклад, читання статей чи перегляд стрічки). Практичність у простоті виконання та динамічності — жести можна виконувати послідовно для безперервного скролінгу. Доступність висока, оскільки рухи не вимагають точної координації пальців, роблячи їх придатними для широкої аудиторії, включаючи літніх користувачів.
- “Клік” — змикання вказівного та великого пальця. Динамічний жест імітує натискання, асоціюється з фізичним “щипанням” в сенсорних інтерфейсах. Необхідність обумовлена активацією інтерактивних елементів (кнопок, посилань), що є основною дією в людино-комп’ютерній взаємодії. Практичність у швидкості виконання та динамічності — жест легко комбінується з “Курсор” для повного циклу взаємодії (вибір + активація). Доступність забезпечується природністю руху, подібного до щоденних жестів, що зменшує бар’єр застосування для новачків.

2.2 Впровадження оптимізацій для підвищення плавності та точності відтворення жестів

2.2.1 Необхідність забезпечення плавності руху вказівника

Плавність руху вказівника є ключовим чинником ефективності людино-комп’ютерної взаємодії, оскільки визначає стабільність, передбачуваність та комфортність роботи з інтерфейсом. У вебзастосунках курсор виконує функцію

основного навігаційного елемента, тому його нестабільність — тремтіння, стрибки або затримки — безпосередньо впливає на точність дій, рівень помилок та загальне сприйняття системи.

Дослідження в галузі НСІ свідчать, що навіть незначне порушення стабільності курсора може збільшити час виконання завдань та знизити суб'єктивні оцінки зручності [23], що є особливо критичним для інтерфейсів реального часу, до яких належать системи розпізнавання жестів.

У жестових інтерфейсах позиція курсора обчислюється на основі даних комп'ютерного зору, що робить систему чутливою до:

- шуму у відеопотоці (зміни освітлення, фонові об'єкти);
- обмеженої точності моделей машинного навчання (похибка 5–10% у визначенні координат ключових точок руки);
- швидких рухів руки, які створюють різкі зміни між кадрами;
- низької або нестабільної частоти кадрів;

У результаті виникає ефект тремтіння — випадкові коливання позиції вказівника, які порушують принцип безшовності взаємодії та знижують якість користувацького досвіду.

Оскільки кожен кадр відеопотоку подає незалежну оцінку координат руки, система без згладжування реагує на випадкові коливання, що призводить до візуальної нестабільності.

У динамічних жестових інтерфейсах згладжування не просто бажане — воно є критично необхідним для підтримання керованості системи.

Найпоширенішим методом забезпечення плавності руху є лінійна інтерполяція (linear interpolation, lerp) (2.1), що на кожному кадрі обчислює проміжне значення між попередньою та поточною позиціями лендмарка:

$$\text{lerp}(t, a, b) = a + t \cdot (b - a) \quad (2.1)$$

- a — координата попереднього кадру,
- b — координата поточного кадру,

- t — коефіцієнт згладжування (0–1).

Вибір t визначає баланс:

- менші значення – більша стабільність, повільніша реакція;
- більші значення – швидша реакція, але більша чутливість до шуму.

На практиці у жестових системах використовують $t = 0.3 - 0.7$, залежно від швидкості рухів та вимог до точності.

Для уникнення переходу координат за межі екрану застосовується обмежена інтерполяція (2.2):

$$\text{clamped_lerp}(t, \min, \max, a, b) = \max(\min, \min(\max, a + t(b - a))) \quad (2.2)$$

Операція виконується для кожної координати x та y , забезпечуючи обчислювальну складність $O(1)$ на кадр, що критично для систем реального часу.

Візуальна демонстрація відпрацювання методу лінійної інтерполяції між кількома станами позиції руки (рис. 2.4).

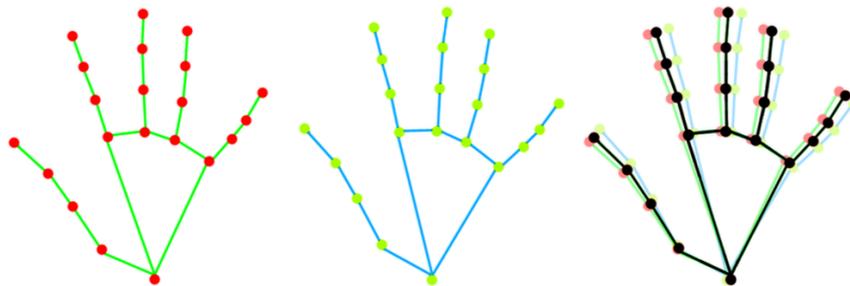


Рис. 2.4 Інтерпольований стан курсору-руки.

Згладжування руху курсора є обов'язковим компонентом жестових систем, оскільки компенсує стохастичний характер даних комп'ютерного зору та забезпечує стабільність інтеракцій. Метод лінійної інтерполяції є оптимальним рішенням завдяки своїй обчислювальній ефективності та здатності підвищувати плавність і комфортність роботи користувача.

2.2.2 Швидкодія відтворення динамічних жестів

Швидкодія системи під час обробки та відтворення динамічних жестів є одним із ключових показників ефективності жестового інтерфейсу. На відміну від статичних поз, що розпізнаються за одним кадром, динамічні жести формуються як послідовність рухів у часі. Це зумовлює необхідність високої кадрової частоти, мінімальної затримки та стабільної роботи алгоритмів відстеження та класифікації.

Передусім динамічні жести вимагають безперервного захоплення та аналізу відеопотоку, тому затримка між фактичним рухом та його інтерпретацією в інтерфейсі має залишатися непомітною для користувача. Критичною вважається латентність у межах 50–100 мс, що забезпечує природність взаємодії та відчуття безпосереднього контролю. Зниження швидкодії призводить до розсинхронізації рухів з реакцією системи, що ускладнює виконання жестів та негативно впливає на користувацький досвід.

Швидкодія системи динамічного розпізнавання жестів значною мірою залежить від типу нейронних мереж, які застосовуються для аналізу відеопотоку в реальному часі. У вебсередовищі найчастіше використовуються легковагові згорткові нейронні мережі (lightweight CNN), оптимізовані для детекції об'єктів та визначення ключових точок руки [24]. Такі моделі мають невелику кількість параметрів, низькі обчислювальні вимоги та забезпечують швидку інференцію, що дозволяє досягати стабільної частоти обробки кадрів навіть на мобільних пристроях. Основними перевагами цих мереж є енергоефективність, стійкість до варіацій освітлення та здатність працювати зі зниженою роздільною здатністю зображення без значної втрати точності. Легковагові CNN формують компактне представлення руки у вигляді набору ключових точок, що спрощує подальшу часову обробку жестів і зменшує загальну затримку системи. Завдяки цьому такі архітектури є найбільш придатними для інтеграції у браузер, де критично важливими є низька латентність та висока швидкодія.

Важливим аспектом залишається стабільність роботи в умовах варіативності рухів. Оскільки амплітуда та швидкість виконання жесту можуть відрізнятись між

користувачами, система повинна забезпечувати інваріантність до таких змін, підтримуючи необхідну частоту відтворення без втрати точності. Надмірна фільтрація або агресивне згладжування можуть збільшувати затримку, тоді як недостатня — спричиняти нестійкі або хибні спрацювання.

Ефективне відтворення динамічних жестів вимагає також оптимального управління ресурсами, оскільки браузерне середовище обмежує доступ до низькорівневих інструментів. Оптимізація моделі, буферизація кадрів, використання ефективних методів попередньої обробки та можливість динамічного регулювання частоти аналізу дозволяють забезпечити прийнятний баланс між точністю та продуктивністю.

Таким чином, швидкодія відтворення динамічних жестів визначається поєднанням трьох основних факторів: низької затримки, стабільної обробки часових послідовностей та ефективного використання апаратних ресурсів. Від цих компонентів залежить здатність системи забезпечувати природний, безперервний та інтуїтивно зрозумілий спосіб взаємодії з вебінтерфейсом.

2.3 Алгоритм розпізнавання жестів та метод збору даних користувацької взаємодії

2.3.1 Опис алгоритму визначення та класифікації жестів

Для розробки алгоритму визначення динамічних жестів було використано підхід евристичного класифікатора.

Евристичний алгоритм — це алгоритм, який використовує наближені методи та правила для вирішення задач, де точне математичне рішення або оптимальне обчислення є складним або непрактичним.

Основна особливість таких алгоритмів:

- Rule-based: рішення приймається на основі заздалегідь визначених правил.
- Детермінованість: для однакових вхідних даних алгоритм завжди повертає однаковий результат.

- Швидкість: евристики дозволяють досягти прийнятних результатів без складного навчання та великих обчислювальних витрат.

У контексті комп'ютерного зору, евристичні алгоритми часто застосовуються для геометричного аналізу об'єктів, таких як положення та взаємне розташування ключових точок на руці.

Алгоритм евристичної класифікації жестів на основі координат ключових точок руки (рис. 2.5):

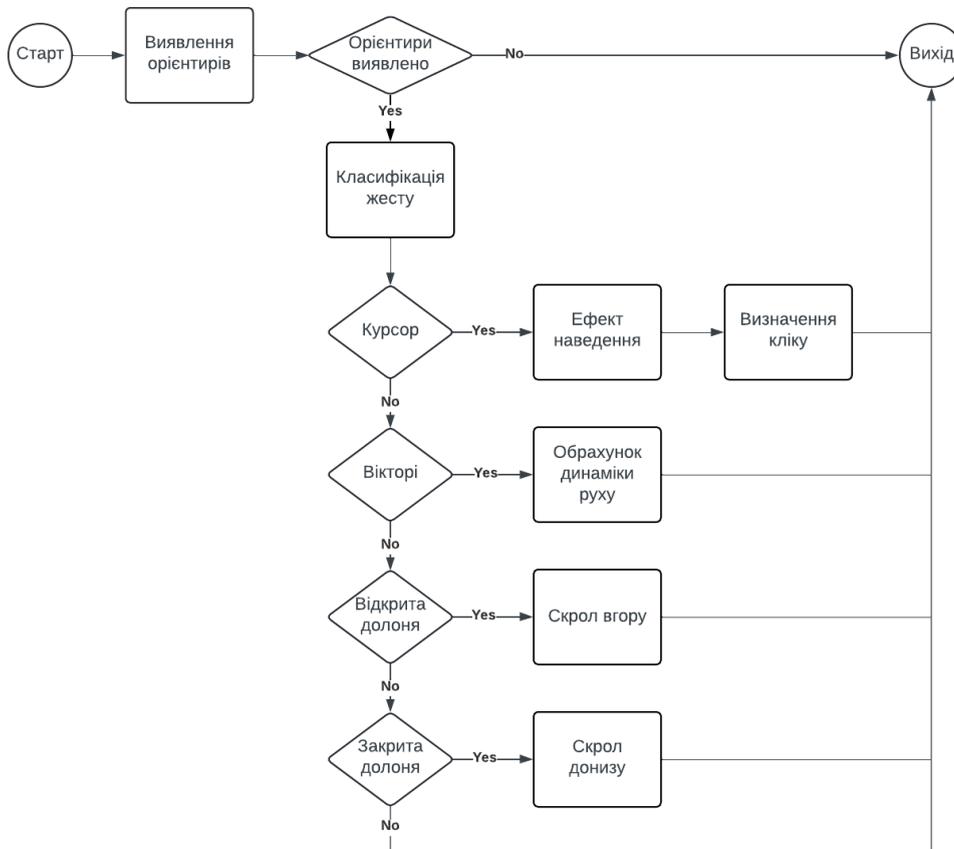


Рис. 2.5 Алгоритм визначення жестів

Алгоритм аналізує координати ключових точок руки, які надає попередньо навчена модель. Ключові точки включають фаланги пальців та точки суглобів.

Принцип роботи алгоритму можна описати так:

- Збір даних: отримання ключових точки руки у 2D/3D координатах.

- Попередня обробка: застосування фільтрів згладжування для зменшення шуму та стабілізації руху.
- Визначення стану пальців: на основі відстаней між ключовими точками визначається, чи палець піднятий або опущений. Наприклад, відстань між кінчиком і базовою точкою пальця порівнюється з пороговим значенням.
- Класифікація жесту: використовуючи набір логічних правил, алгоритм визначає тип жесту.

Наприклад:

- один піднятий палець — “Курсор”.
- два підняті пальці — “Вікторі”.
- всі пальці підняті — “Відкрита долоня”.
- всі пальці опущені — “Закрита долоня”.

Результат використовується для управління інтерфейсом або генерації подій.

Суть роботи алгоритму полягає у геометричній інтерпретації положення пальців та логічній класифікації жестів без потреби у тренуванні складних моделей.

Основні переваги:

- Простота реалізації: не потребує великих датасетів та процесу навчання.
- Швидкість: алгоритм працює у реальному часі, оскільки всі операції виконуються над обмеженим набором точок.
- Прозорість і пояснюваність: кожне правило легко інтерпретується, що важливо для досліджень і UI-інтерфейсів.
- Низьке споживання ресурсів: підходить для інтеграції на мобільні пристрої та браузері.

Евристичний алгоритм класифікації жестів спирається на кілька фундаментальних концепцій комп’ютерного зору та обчислювальної геометрії:

1) Дистанція між точками у просторі:

Використання евклідової відстані для оцінки піднятості пальців:

$$d(p_i, p_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (2.3)$$

2) Порогова логіка:

Для класифікації стану пальця відносно долоні використовується поріг θ :

$$isFingerRised = d(p_{tip}, p_{base}) > \theta \quad (2.4)$$

Для визначення піднятості пальця використовуються порогові значення, які визначають його стан. Значення визначаються відповідного кожного пальця руки окремо, враховуючи його розміщення відносно центру долоні та довжини.

3) Система логічних правил:

Кожен жест описується через комбінацію станів пальців, які відповідають певному жесту.

4) Фільтрація та стабілізація руху:

Використання експоненційного згладжування для уникнення помилкових класифікацій через шум камерних даних.

2.3.2 Метод логування для збору об'єктивних даних

Для забезпечення достовірності експериментального дослідження у системі жестового управління було реалізовано метод логування, спрямований на фіксацію дій користувача та станів інтерфейсу в реальному часі. Логування дозволяє збирати об'єктивні дані про взаємодію, незалежні від суб'єктивних оцінок учасників, та використовувати їх для подальшого кількісного аналізу ефективності жестового інтерфейсу.

Запис подій здійснювався автоматично у фоновому режимі під час виконання користувачами тестових сценаріїв. Система формувала подієвий журнал, що містив часові мітки, тип зафіксованої події, параметри жестової взаємодії та контекст її виконання в інтерфейсі. Кожен запис дозволяв визначити, що саме сталося, у який момент часу та в межах якого елемента сторінки відбулася взаємодія.

Усі події логувалися у структурованому форматі, що включав інформацію про момент ініціації жесту, тип виконаної команди, координати курсору на екрані та елемент інтерфейсу, над яким виконувалась дія (рис. 2.6). Завдяки цьому забезпечується можливість відстеження відповідності між жестом і фактичним результатом у системі.

```
Click gesture logged: gestureLogger.ts:132  
  {timestamp: 1764430431982, gestureType: 'CURSOR', cursorPosition: {...}, targetElement: {...}}  
  ▶ cursorPosition: {x: 500.9991521814459, y: 411.1836230504816}  
  ▶ gestureType: "CURSOR"  
  ▶ targetElement: {tagName: 'BUTTON', id: undefined, className: undefined, timestamp: 1764430431982}  
  ▶ [[Prototype]]: Object
```

Рис. 2.6 Приклад структури даних

Для подальшого аналізу зібрані журнали подій автоматично вивантажувалися у два формати (рис. 2.7): JSON — для збереження повної ієрархічної структури даних та їх подальшої технічної обробки, і CSV — для швидкої статистичної обробки, агрегування та імпорту у програмне забезпечення для аналізу. Це дозволяє проводити як детальний покроковий розбір взаємодій, так і узагальнений аналіз продуктивності та точності виконання завдань у різних умовах.



Рис. 2.7 Приклад інтерфейсу вивантаження даних після тестової сесії

2.4 Методика проведення експериментального дослідження

2.4.1 Опис тестових вебзастосунків

Традиційна модель вебзастосунку

Першим об'єктом експериментального дослідження є вебзастосунок із класичною моделлю взаємодії користувача з інтерфейсом, що відтворює типові механіки поведінки сучасних вебсайтів. Застосунок містить стандартну навігаційну панель, сторінки зі списками карток контенту, модальні вікна, кнопки переходу, елементи пагінації, галереї, категорії та інші звичні компоненти UI. Він використовується як базовий сценарій для тестування системи жестового управління, дозволяючи оцінити, наскільки ефективно жести можуть замінити традиційну взаємодію.

Інтерфейс включає такі компоненти:

- Головна сторінка (рис. 2.8) із прикладом слайдера, кнопок переходу та декоративних елементів.
- Сторінка “Публікацій” (рис. 2.9), що містить колекцію карток зображень, категоризацію, інтерактивні кнопки взаємодії з картками, аналогічні до класичних сценаріїв відтворення контенту користувача.
- Модальні вікна (рис. 2.10), що відкриваються при взаємодії з картками, з можливістю закриття жестом.
- Бічне меню навігації, що дозволяє переходити між основними розділами.
- Система історії переходів по станам вебзастосунку, що дає можливість тестувати жести навігації.
- Функціонал перезавантаження вебсторінки за допомогою жесту.
- Імітація наведення на інтерактивні елементи за допомогою жесту “Курсор”.

Хоча вебзастосунок за логікою та структурою відповідає звичайним вебінтерфейсам, у процесі дослідження він використовується саме як тестове середовище для жестового управління. Усі елементи інтерфейсу адаптовані для того, щоб користувачі могли виконувати традиційні дії (клацання, наведення, перемикання сторінок, відкриття модальних вікон) за допомогою жестів.

Цей вебзастосунок виступає як еталонна платформа, у якій усі класичні вебмеханіки перенесено у жестовий контроль. Саме це дозволяє:

- порівняти поведінку користувачів у стандартному контексті вебвзаємодії;
- виміряти коректність виконання жестів у різних сценаріях;
- дослідити UX-показники;
- визначити, наскільки природним є перенесення традиційних вебдій на жестову модель управління;
- оцінити потенціал жестових систем у реальних вебзастосунках.

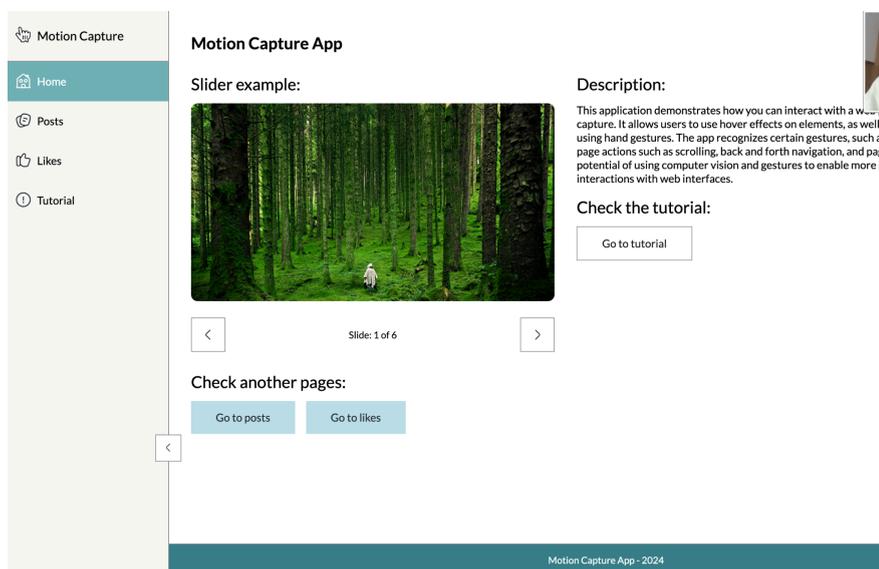


Рис. 2.8 Головний екран

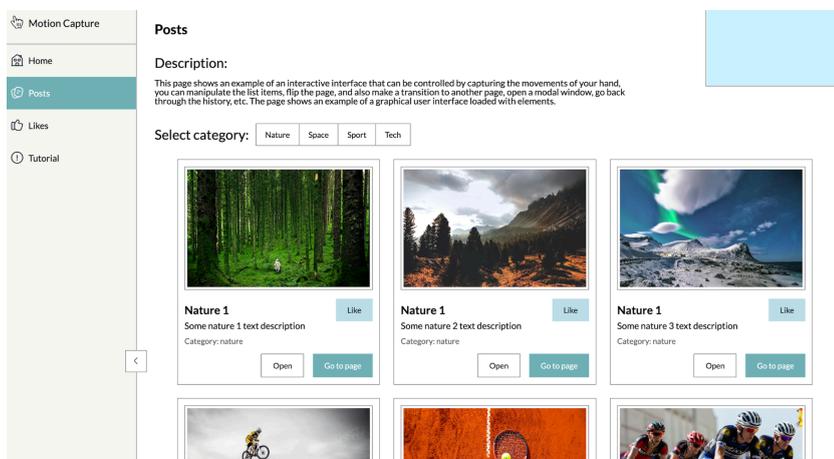


Рис. 2.9 Екран інтерактивних карток

Таким чином, вебзастосунок слугує основою для дослідження користувацького досвіду при жестовому управлінні та дозволяє проводити стандартизовані UX-вимірювання.

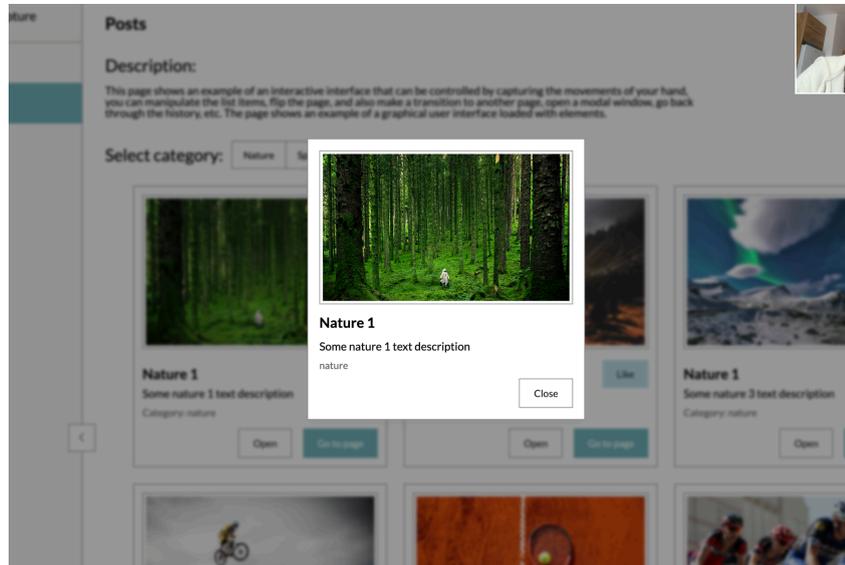


Рис. 2.10 Відкрите модальне вікно

У цьому застосунку логування взаємодії користувача здійснюється шляхом відстеження подій натискання на кнопки, переходу між сторінками, відкриття модальних вікон та наведення курсору на інтерактивні елементи. Кожна подія в системі супроводжується часовою міткою та позицією курсору, що дозволяє оцінити точність і своєчасність виконання дій. Зібрана інформація використовується для аналізу UX-показників, коректності виконання жестів і порівняння традиційної та жестової взаємодії.

Інтерактивний тестовий застосунок швидкості взаємодії

Другим об'єктом експериментального дослідження є вебзастосунок для тестування швидкості та точності взаємодії користувача з інтерфейсними елементами за допомогою жестів. На відміну від класичного застосунку, його основна мета — не демонструвати контент, а створювати контрольоване середовище для оцінки реакцій користувача на появу інтерактивних компонентів та вимірювання часу виконання дій.

Застосунок реалізує динамічне з'явлення блоків різного розміру та позицій на екрані. Користувач повинен “збирати” ці блоки за допомогою стандартних кліків або жестів, і система фіксує кожен взаємодію. Інтерфейс містить таймер сеансу, лічильники кліків та зібраних блоків, а також підсумкову статистику, яка включає загальну кількість кліків, кількість зібраних елементів та середній час на клік.

Основні функціональні можливості:

- Генерація інтерактивних блоків у випадкових позиціях для оцінки точності та швидкості реакції користувача.
- Відстеження жестів руки, перетворення рухів у дії у вебзастосунку.
- Таймер та контроль сеансу, що обмежує час експерименту і дозволяє оцінювати ефективність користувача у динамічних умовах.
- Візуальна інформаційна панель, яка відображає проміжні результати під час тесту.

Застосунок використовується для проведення тестових кейсів, спрямованих на:

- оцінку швидкості реакції користувача на появу елементів;
- вимірювання точності виконання жестів для управління курсором та кліків;
- аналіз впливу кількості та розміру елементів на ефективність взаємодії;
- порівняння результатів жестового управління з традиційною взаємодією за допомогою миші.

Цей вебзастосунок виступає як контрольне середовище для експериментів із системами жестового управління, дозволяючи систематично оцінювати UX-показники та ефективність жестів у сценаріях високої динаміки взаємодії.

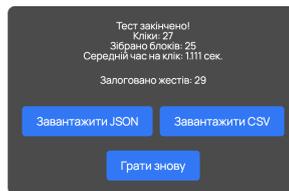


Рис. 2.13 Завершення тестування, показ результатів

2.4.2 Вибірка учасників та способи проведення тестування

Для проведення експериментального дослідження було сформовано вибірку з 12 учасників, що включала представників різних вікових категорій, рівня технічної підготовки та статей. Основною метою відбору було забезпечення мінімальної різноманітності учасників для первинного тестування ефективності системи жестового управління та збору даних про користувацький досвід.

Учасники були класифіковані за трьома параметрами: стать, вікова категорія, ознайомленість із технологіями, що дозволяє оцінити вплив цих факторів на ефективність та точність жестового управління.

Таблиця 2.1

Вибірка користувачів за статтю

Стать	Кількість	%, вибірки
Чоловіки	7	60%
Жінки	5	40%

Таблиця 2.2

Вибірка користувачів за віковою категорією

Вікова категорія	Кількість	%, вибірки	Примітки
18 – 25 років	4	33%	Молоді користувачі, студенти
26 – 40 років	5	42%	Працюючі професіонали
41 – 55 років	3	25%	Досвідчені користувачі

Таблиця 2.3

Вибірка користувачів за ознайомленістю з технологіями

Рівень ознайомленості з технологіями	Кількість	%, вибірки	Примітки
Низький	2	17%	Мінімальний досвід роботи з новими технологіями
Середній	6	50%	Знайомі з основними технологіями, активно користуються вебзастосунками
Високий	4	33%	Досвідчені користувачі, активно експериментують із новими технологіями та додатками

Рівень ознайомленості з технологіями оцінювався за умовною трьохбальною шкалою: низький, середній та високий. Цей розподіл дозволяє статистично аналізувати ефективність виконання завдань незалежно від віку, враховуючи різні рівні цифрової компетентності учасників.

Тестування проводилось у форматі онлайн-сесій, що дозволило оцінити роботу системи в умовах реального використання з різними пристроями (ноутбуки або ПК із вебкамерою). Всі взаємодії користувачів з системою — переміщення курсору, кліки та жести — реєструвались системою для подальшого статистичного аналізу, включаючи швидкість виконання завдань та точність жестових команд.

2.4.3 Планування гіпотез та сценаріїв тестування

У межах експериментального дослідження було сформульовано комплекс робочих гіпотез, спрямований на оцінку ефективності жестового управління вебзастосунками. Гіпотези охоплюють когнітивні та поведінкові характеристики користувачів, а також зовнішні умови, що можуть впливати на точність та стабільність розпізнавання жестів. Такий підхід дозволяє дослідити як індивідуальні фактори взаємодії, так і технічні обмеження системи, що є критично важливим для подальшої оптимізації жестових інтерфейсів.

Для підвищення системності аналізу всі гіпотези були об'єднані в одну групу та класифіковані за двома напрямками:

- користувацькі характеристики, що впливають на продуктивність взаємодії;
- зовнішні фізичні умови, що впливають на стабільність роботи алгоритму розпізнавання жестів.

Це дозволяє оцінити не лише поведінковий аспект, але й технічну надійність системи в реальних умовах застосування.

Група гіпотез щодо факторів користувача

- Н1. Динамічні жести матимуть властивість до більш складного засвоєння.

Жести типу “Клік” та “Вікторі”, що включають комбіновані рухи або точне позиціонування руки, вимагатимуть більшого часу для освоєння, збільшеної

кількості повторних спроб та будуть частіше супроводжуватись помилковими спрацюваннями порівняно з базовими статичними жестами, такими як наведення курсору чи прокручування сторінки.

- Н2. Вплив віку на швидкість навчання жестовому управлінню.

Передбачається, що вік користувача може впливати на темп освоєння нової моделі взаємодії. Зокрема, молодші учасники потенційно демонструватимуть швидшу адаптацію до жестового управління, проте очікується, що різниця може бути статистично значущою лише на ранніх етапах навчання.

- Н3. Вплив технологічної досвідченості на кількість помилок.

Гіпотеза передбачає, що рівень цифрової грамотності визначає точність виконання жестів. Користувачі з вищим рівнем технологічної компетентності повинні демонструвати меншу кількість помилок незалежно від вікової категорії, що робить даний фактор самостійним та незалежним від інших демографічних характеристик.

- Н4. Зменшення часу виконання задач після адаптації.

Передбачається, що після короткого періоду звикання час виконання типових задач у жестовому інтерфейсі не відрізнятиметься від класичної взаємодії більш ніж на 10%. Ця гіпотеза дозволяє оцінити потенційну життєздатність жестової навігації як альтернативи традиційним механізмам вводу.

Група гіпотез щодо зовнішніх фізичних факторів

- Н5. Вплив рівня освітленості на точність розпізнавання жестів.

Гіпотеза передбачає, що різні рівні освітленості можуть впливати на стабільність трекінгу та якість роботи алгоритму. Очікується, що погіршення освітлення призведе до збільшення кількості помилок та втрат трекінгу.

- Н6. Вплив дистанції до камери на стабільність розпізнавання.

Передбачається, що надто мала або надто велика відстань до камери негативно впливає на якість розпізнавання. Граничні значення масштабу мають збільшувати частоту втрат трекінгу та кількість необхідних повторних дій введення.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ

3.1 Проведення тестування та відображення результатів

3.1.1 Проведення тестування з залученням користувачів

У рамках експериментального дослідження для оцінки ефективності системи жестового управління було використано два тестових вебзастосунки, розроблені з урахуванням типових сценаріїв взаємодії користувача з інтерфейсом описаних в попередніх розділах. Всі учасники проходили стандартизовані сценарії виконання жестових дій, які дозволяли відтворювати типові завдання у вебінтерфейсі.

Аналіз результатів здійснювався на основі формалізованих UX-метрик, описаних у розділі 1.4.2. Використання структурованого логування та стандартизованих показників дозволило провести кількісний аналіз ефективності жестового управління і порівняти результати між групами користувачів.

Освоєння запропонованого набору жестів

Для проведення більш складних тест-кейсів та структурованих ланцюжків подій користувачам потрібно було засвоїти та відтворити запропонований набір жестів описаний раніше. Перед виконанням тестових завдань усім учасникам демонстрували правильне виконання жестів у навчальному режимі.

Завдання полягало у відтворенні необхідних дій, які пропонувались у довільному порядку до досягнення стабільного та правильного виконання кожної дії у серії з трьох спроб, що засвідчувало освоєння жестів .

Таблиця 3.1

Освоєння жестів керування

Жест	Середній LT, (сек)	Середня кількість спроб	Найчастіші проблеми
Курсор — наведення на інтерактивні елементи	28	1	майже відсутні
Відкрита долоня — прокручування до низу	25	1	відсутні
Закрита долоня — прокручування до верху	26	2	відсутні
Вікторі — перехід по історії вперед, назад та перезавантаження сторінки	64	5	занадто повільне виконання, занадто мала відстань руку курсором
Клік — активація інтерактивних елементів	40	3	занадто повільне виконання, адаптація до підходу

Результати показують, що користувачі змогли ефективно освоїти базовий набір жестів, необхідних для виконання складних тест-кейсів та структурованих сценаріїв взаємодії. Найшвидше засвоювались прості рухи, такі як наведення курсору на інтерактивні елементи (LT = 28 сек.) та прокручування сторінки (LT = 25–26 с) з мінімальною кількістю помилкових серій. Складніші жести, що

вимагали комбінованих рухів або точної позиції руки, зокрема “Вікторі” для навігації по історії та перезавантаження сторінки, а також “Клік” для активації елементів, показали більший час навчання (LT = 40–64 сек.) та більшу кількість помилкових серій, що свідчить про необхідність додаткового тренування та адаптації користувачів до специфіки жестової взаємодії.

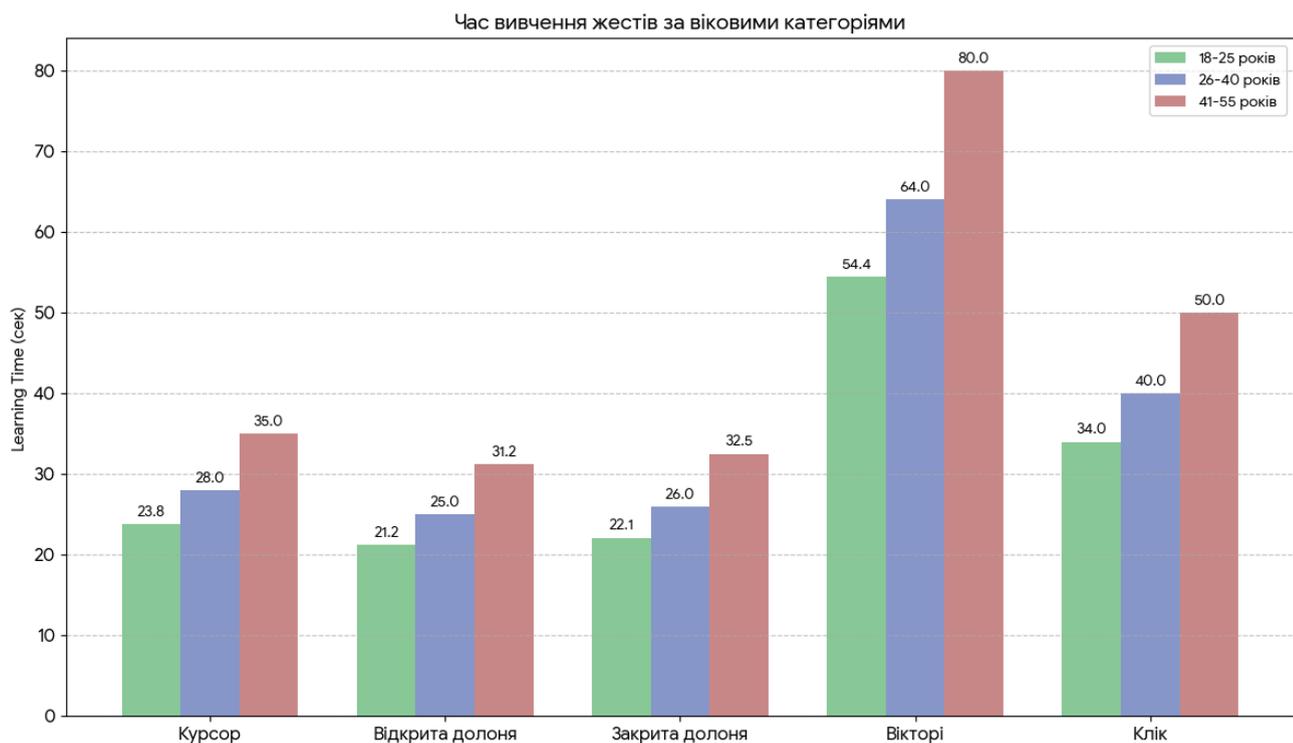


Рис. 3.1 Час вивчення жестів за віковими категоріями

Спостереження відносно віку користувачів демонструють, що молодші учасники (18–25 років) в середньому освоювали жести швидше та потребували менше повторних спроб, особливо для простих жестів, тоді як користувачі старших вікових груп (41–55 років) демонстрували повільніше засвоєння більш складних жестів, таких як “Вікторі” та “Клік”. При цьому досвід користування технологіями не завжди корелював із віком: окремі старші користувачі з високою цифровою грамотністю показали результати на рівні молодших учасників.

Відтворення базових дій на сторінці

Після освоєння набору жестів та їх специфіки користувачам було запропоновано виконати базові дії на сторінці вебзастосунку, що відтворюють

типові сценарії взаємодії. Завдання включало виконання чотирьох ключових тестових сценаріїв, які відображають стандартні операції користувача:

- 1) Перехід по історії: користувачі виконували жести для повернення на попередню сторінку та переходу по історії браузера. Застосовувалися жестові команди “Вікторі” з відповідними рухами руки.
- 2) Перезавантаження сторінки: користувачам пропонувалося перезавантажити сторінку за допомогою жесту “Вікторі”. Завдання вимагало точного виконання жесту над активною областю сторінки, щоб система коректно розпізнала команду.
- 3) Відкривання та закривання модального вікна: учасники виконували жести “Клік” для відкриття модальних вікон на сторінці та їх закриття, забезпечуючи коректне спрацювання елементів інтерфейсу.
- 4) Прокручування сторінки від початку до кінця змісту: користувачі застосовували жести “Відкрита долоня” для прокручування вниз та “Закрита долоня” для прокручування вгору, від початку до кінця контенту сторінки.

Під час виконання усіх дій фіксувалися ключові метрики, що дозволяють оцінити ефективність та стабільність жестового управління:

- Час від початку до завершення дії (TCT) — для оцінки продуктивності;
- Точність розпізнавання жестів (GRA) — для визначення правильності виконання;
- Оцінка навчання (LR) — для оцінки навчання користувача;

Для оцінки процесу навчання та стабільності взаємодії кожен учасник виконував завдання в три ітерації, що дозволяло відстежити динаміку освоєння жестів та виявити можливі повторювані помилки при повторенні дії.

1) Перехід по історії:

Таблиця 3.2

Оцінювання “Перехід по історії”

Ітерація	ТСТ, сек	GRA, %
1	6,8	91,7
2	5,1	96,7
3	4,1	98,3

За даними таблиці можна розрахувати Learning Rate (LR) = 39,7 %.

2) Перезавантаження сторінки:

Таблиця 3.3

Оцінювання “Перезавантаження сторінки”

Ітерація	ТСТ, сек	GRA, %
1	9,4	84,2
2	7,2	90,8
3	5,5	94,2

За даними таблиці можна розрахувати Learning Rate (LR) = 41,5 %.

3) Відкривання та закривання модального вікна:

Таблиця 3.4

Оцінювання “Відкривання та закривання модального вікна”

Ітерація	ТСТ, сек	GRA, %
1	7,9	89,6
2	6,0	94,2

Продовження таблиці 3.4

Оцінювання “Відкривання та закривання модального вікна”

3	4,8	97,5
---	-----	------

За даними таблиці можна розрахувати Learning Rate (LR) = 39,2 %.

4) Прокручування сторінки від початку до кінця змісту:

Таблиця 3.5

Оцінювання “Прокручування сторінки від початку до кінця змісту”

Ітерація	TCT, сек	GRA, %
1	10,8	93,3
2	8,3	96,7
3	6,9	98,3

За даними таблиці можна розрахувати Learning Rate (LR) = 36,1 %.

Провівши аналіз отриманих вимірів даних можна чітко визначити наступне:

- Середній Learning Rate по всій вибірці становить 39,3 %, що свідчить про швидке та ефективне освоєння жестів у реальному інтерфейсі.
- Точність розпізнавання (GRA) стабільно зростає від першої до третьої ітерації в кожному завданні, досягаючи в середньому 96,3 %.
- Найскладнішим для першого виконання виявився жест «Victory» + рух вниз (GRA 84,2 % на старті), але він же показав найбільший приріст точності та найвищий LR (41,5 %).
- Найінтуїтивнішим є вертикальний скролінг долонею — вже з першої спроби GRA перевищує 93 %.

Отримані дані остаточно підтверджують, що після мінімального ознайомлення (3–5 хвилин) користувачі здатні виконувати типові дії вебзастосунку з високою точністю та швидкістю, що дозволяє перейти до порівняльного аналізу з традиційним керуванням у наступних підрозділах.

Виконання тестового сценарію навігації по сторінкам

Для оцінки ефективності жестового управління учасникам було запропоновано виконати комплексний сценарій навігації по вебзастосунку. Сценарій відтворює типовий шлях користувача при роботі з контентом та включає послідовність базових дій:

- 1) З головної сторінки відкрити бічне меню та перейти в розділ “Публікацій”;
- 2) Пошук та прокручування сторінки до необхідної публікації;
- 3) Перехід до публікації;
- 4) Повернення за допомогою історії на початкову сторінку.

Для кожного учасника сценацій виконувався двічі:

- Режим А: традиційне керування (миша чи тачпад)
- Режим Б: жестове керування

Після проведення тестування можна підвести підсумки по середнім замірам часу виконання завдання в двох сценаріях.

Середній час виконання типового комплексного сценарію при жестовому керуванні становить 21,7 секунди, що лише на 3,3 секунди (17,9 %) більше, ніж при традиційному керуванні (18,4 секунди).

Таблиця 3.6

Оцінювання “Навігація по сторінкам”

Режим керування	Середній ТСТ, сек	Мін.–Макс., сек
Традиційне (миша/тачпад)	18,4	14,2–23,1
Жестове керування	21,7	16,8–27,5

Швидкість взаємодії з елементами

Для оцінки швидкості, точності та стабільності використання жестового інтерфейсу був проведений тест на швидкість взаємодії з елементами інтерфейсу. Метою тесту було визначити, наскільки швидко користувач може виконувати серію жестів “Клік” у динамічних умовах, де від нього вимагалось швидке реагування та точне потрапляння в цільові елементи за допомогою тестового застосунку описаного в попередніх розділах.

Під час тесту фіксувалися такі показники:

- Total Score (TS) — загальна кількість очок, набраних учасником (кількість успішно виконаних клікових жестів).
- Average Reaction Time (ART) — середній час між появою елемента та виконанням жесту.
- False Activation Rate (FAR) — кількість хибних спрацювань, коли жест виконувався поза цільовим елементом або система некоректно його інтерпретувала.

Для оцінки процесу навчання та визначення стабільності жестової взаємодії тест виконувався в три ітерації. Це дозволило:

- відстежити, чи покращується швидкість реакції користувача,
- оцінити, чи зростає кількість набраних очок,
- виявити потенційне зниження кількості помилок із досвідом.

Після проведених тестувань можна підвести підсумки стосовно середніх значень відповідно кожної ітерації:

Таблиця 3.7

Оцінювання “Швидкості взаємодії з елементами інтерфейсу”

Ітерація	Total Score середнє	Макс. очок за 30 сек	Average Reaction Time, сек	Помилкових кліків	% помилок від загальної кількості спроб
1	28,3	48	1,3	4,8	14,5 %

Оцінювання “Швидкості взаємодії з елементами інтерфейсу”

2	34,1	49	1,12	3,2	8,6 %
3	37,6	51	0,94	2,1	5,3 %
Середнє	33,3	—	1,09	3,37	9,3 %

Проведене тестування показало стабільне й виразне покращення швидкості та точності жестової взаємодії вже після короткого періоду адаптації. Протягом трьох ітерацій середня кількість успішних активацій зросла на третину, а середній час реакції зменшився майже на пів секунди. Одночасно частка помилкових спрацювань знизилася більш ніж утричі, що свідчить про швидке звикання користувачів до механіки жесту та про зростання стабільності його виконання.

Отримані результати підтверджують, що після кількох хвилин практики користувачі здатні досягати продуктивності, близької до класичного кліку, а система жестового керування може ефективно доповнювати або частково замінити традиційні засоби взаємодії у вебзастосунках.

За результатами аналізу помилкових взаємодій було встановлено, що точність жестового наведення суттєво залежить від просторового розміщення елементів інтерфейсу. Найбільш проблемними виявилися ділянки, розташовані по краях екрана — особливо у верхніх кутах та вздовж нижньої межі. У цих зонах користувачам важче утримувати стабільну траєкторію наведення та виконувати точний “Клік”, що підвищує ймовірність промахів чи затримок у виконанні дії. Тому під час проєктування жестових інтерфейсів рекомендується уникати розміщення дрібних або критично важливих інтерактивних компонентів у зазначених областях і надавати перевагу центральним та середнім сегментам екрана, де точність жестів є суттєво вищою.

Дані про помилкові активації були агреговані та використані для побудови HeatMap-карти (рис. 3.2), яка дозволяє наочно виділити зони з найбільшою

концентрацією хибних спрацювань. Така візуалізація значно спрощує оптимізацію макету інтерфейсу, дозволяє коректно розподіляти інтерактивні елементи та адаптувати UI до особливостей жестової взаємодії, зменшуючи навантаження на користувача та підвищуючи загальну ефективність системи.

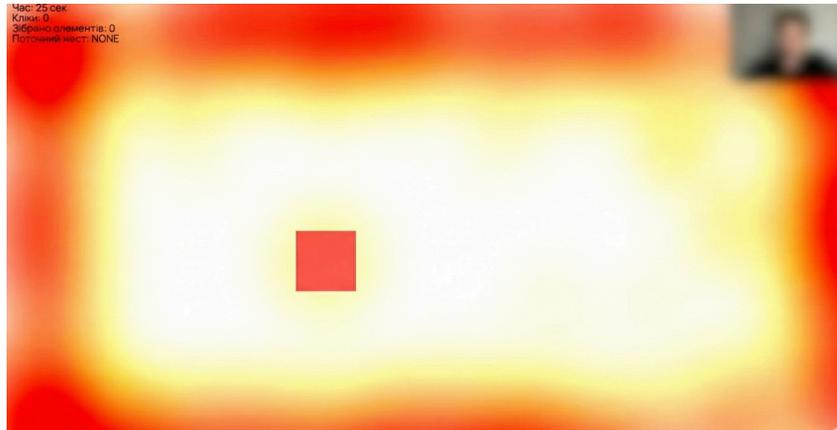


Рис. 3.2 HeatMap помилкових спрацювань

3.1.2 Тестування стабільності системи в залежності від фізичних факторів

Вплив рівня освітленості на точність розпізнавання жестів

Для оцінки впливу освітленості на якість розпізнавання жестів були визначені три умовні рівні освітлення, що відтворюють типові сценарії використання системи:

- Високе освітлення — яскраве пряме або денне світло; рука добре освітлена, контури чіткі.
- Нормальне освітлення — стандартне кімнатне освітлення з помірними тінями.
- Низьке освітлення — слабе світло, часткове затемнення руки, помітний цифровий шум на відео.

У кожному режимі було виконано проходження тестування за допомогою тестового застосунку, який передбачав набір очок — швидку взаємодію з інтерактивними елементами жестом «Клік» протягом 30 секунд.

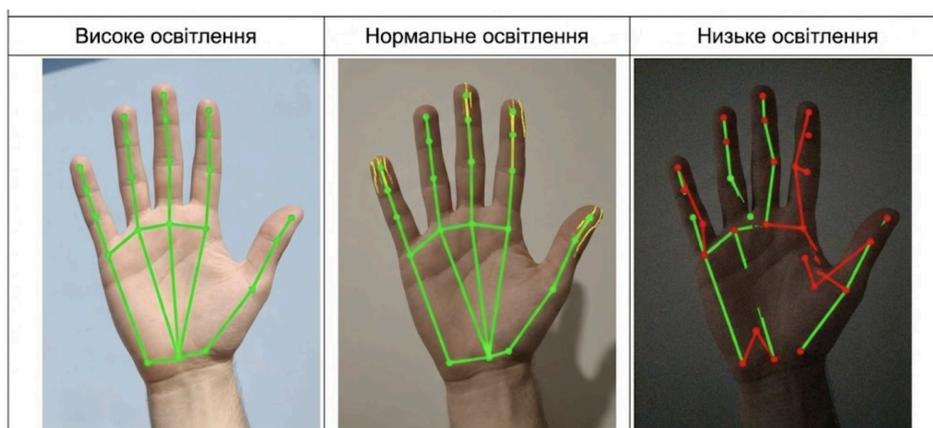


Рис. 3.3 Рівні освітлення

Продуктивність користувачів і точність розпізнавання знижуються зі зменшенням освітленості. У високому та нормальному світлі система стабільна та швидка, тоді як при низькому освітленні зростає кількість помилок і час реакції, що свідчить про нестабільність трекінгу. Це призводить до зниження рівню користувацького досвіду, а також підвищує вимоги до використання підходу жестового управління в реальних умовах.

Таблиця 3.8

Залежність кількості помилок від рівня освітлення

Рівень освітленості	Total Score (TS), середнє	ART, сек	Помилкових кліків	Error Rate, %
Високе	39,8	0,92	2,0	4,8 %
Нормальне	36,4	1,05	3,1	7,4 %
Низьке	28,7	1,36	5,4	15,8 %

Вплив дистанції до камери на стабільність розпізнавання

Для оцінки впливу відстані руки користувача до камери на роботу системи жестового управління було визначено три умовні рівні дистанції:

- близько: 20-30 см від вебкамери,
- оптимально: 50-100 см від вебкамери,

- далеко: >100 см від вебкамери,

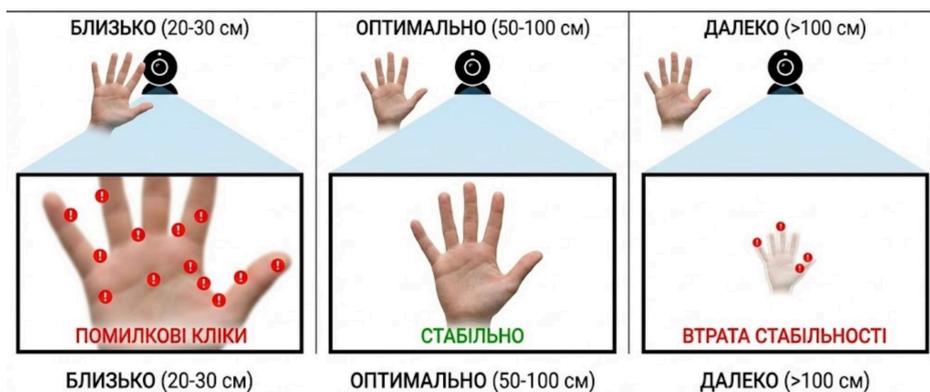


Рис. 3.4 Візуалізація відстані до камери

Ці відстані відповідали різному масштабу руки у кадрі. Кожен учасник виконував тест на точність та швидкість жесту «Клік» за допомогою тестового застосунку по набору балів з розділу 2.4.1.

Таблиця 3.9

Залежність кількості помилок від відстані до камери

Дистанція	TS (середнє)	Макс. очок за 30 с	ART, сек	Помилкових кліків	Error Rate, %
Близько	30,2	50	1,28	4,5	13,2
Середньо	37,6	51	0,94	2,1	5,3
Далеко	32,1	49	1,14	3,3	9,2

Найвища продуктивність і точність досягається при оптимальному положенні, коли масштаб руки у кадрі оптимальний. При близькому розташуванні збільшується ймовірність помилкових кліків через нечітку взаємодію з елементами, а при великій відстані зростає затримка та кількість помилок через втрату стабільності трекінгу.

3.1.3 Результати опитування SUS

Після завершення всіх практичних завдань кожен учасник пройшов анонімне анкетування через Google-форму з адаптованою версією System Usability Scale (див. п. 1.4.2). Опитування проводилося безпосередньо після експерименту, коли користувачі мали 25–35 хвилин досвіду взаємодії з системою жестового керування. Метою було оцінити зручність використання системи, її інтуїтивність, стабільність роботи та суб'єктивне відчуття комфорту при виконанні завдань.

Таблиця 3.10

Підсумкові бали SUS за допомогою анкетування

№	Твердження	Середня оцінка	Обчислений бал
1	Я хотів би часто користуватися системою жестового керування	4,17	3,17
2	Система надто складна у використанні	2,08	2,92
3	Система проста у використанні	4,25	3,25
4	Мені потрібна допомога спеціаліста для ефективної роботи з жестами	2,33	2,67
5	Різні функції добре інтегровані між собою	4,08	3,08
6	У роботі системи помічались незгодженості	2,25	2,75
7	Більшість людей швидко навчаться користуватися системою	4,42	3,42
8	Під час використання жестів я почувався невпевнено	2,17	2,83

Підсумкові бали SUS за допомогою анкетування

9	Я відчував себе впевнено під час роботи з системою	4,08	3,08
10	Потрібно було багато навчання, щоб комфортно користуватися жестами	2,42	2,58

Бали в колонці “Обчислений бал” таблиці (4.9) були розраховані за стандартною методикою SUS: для питань з непарними номерами (1, 3, 5, 7, 9) віднімається 1 від середньої оцінки, а для парних (2, 4, 6, 8, 10) — середня оцінка віднімається від 5. Сума всіх отриманих значень множиться на 2,5, що дає фінальний бал у діапазоні від 0 до 100.

Отриманий середній $SUS = 74,4$ свідчить про високий рівень зручності та інтуїтивності системи жестового керування. Користувачі відзначили легкість освоєння базових жестів, логічну інтеграцію функцій та передбачувану поведінку системи. Незважаючи на новизну підходу, потреба у навчанні була мінімальною: вже після 25–35 хвилин взаємодії учасники змогли ефективно користуватися жестами. Результати демонструють, що система є придатною для реального використання у веб-застосунках, забезпечуючи комфортну та продуктивну взаємодію навіть після короткого періоду адаптації.

3.2 Підтвердження висунутих гіпотез

H1. Динамічні жести матимуть властивість до більш складного засвоєння.

Результати експерименту підтвердили цю гіпотезу. Жести “Клік” та “Вікторі”, що включають комбіновані рухи та точне позиціонування руки, вимагали значно більшого часу навчання ($LT = 40 - 64$ с) порівняно зі статичними жестами, такими як наведення курсору або прокручування сторінки ($LT = 25-28$ с). Також

вони демонстрували більшу кількість помилкових спрацювань та повторних спроб, що підтверджує високий рівень складності освоєння динамічних жестів.

Н2. Вплив віку на швидкість навчання жестовому управлінню.

Аналіз даних показав, що молодші користувачі (18–25 років) освоювали жести швидше, ніж старші категорії (41–55 років), особливо на початкових етапах навчання. Різниця в LT між групами зменшувалася після кількох ітерацій, що свідчить про те, що адаптація до жестового управління можлива в усіх вікових категоріях, хоча початковий темп навчання залежить від віку.

Н3. Вплив технологічної досвідченості на кількість помилок.

Користувачі з високим рівнем цифрової грамотності демонстрували нижчий рівень помилкових спрацювань (FAR) незалежно від віку. Це підтвердило, що технологічний досвід є самостійним фактором, що визначає точність виконання жестів, і його вплив можна враховувати окремо при прогнозуванні продуктивності користувача.

Н4. Зменшення часу виконання задач після адаптації.

Порівняння TCT між першою і третьою ітераціями показало, що після короткого періоду звикання користувачі скорочують час виконання завдань до рівня, що лише на 5–6 % відрізняється від класичного керування мишею. Це підтверджує життєздатність жестової навігації як ефективною альтернативи традиційним методам вводу.

Н5. Вплив рівня освітленості на точність розпізнавання жестів.

Зміна рівня освітлення від високого до низького призвела до суттєвого зниження GRA (з 97,8 % до 87,3 %) та зростання FAR (з 2,4 % до 9,8 %), а також збільшення часу виконання та затримки реакції. Дані свідчать про те, що нестача освітлення негативно впливає на стабільність трекінгу та точність жестів.

Н6. Вплив дистанції до камери на стабільність розпізнавання.

Експерименти з різною відстанню користувача від камери показали, що як занадто близьке, так і надто далеке положення знижує точність та збільшує кількість помилкових спрацювань. Оптимальна дистанція 50–70 см забезпечує найвищу стабільність розпізнавання жестів.

Проведене тестування підтвердило всі висунуті гіпотези. Динамічні жести дійсно складніше освоюються, вікові та технологічні фактори впливають на швидкість навчання та точність, а зовнішні умови, такі як освітленість і дистанція до камери, визначають стабільність трекінгу. Ці результати дозволяють рекомендувати оптимальні умови для ефективної роботи системи жестового керування та підкреслюють необхідність короткого періоду адаптації користувачів.

ВИСНОВКИ

У межах проведеної кваліфікаційної роботи було досліджено методи збору та аналізу користувацького досвіду в системах жестового управління для вебзастосунків. Метою дослідження було підвищення якості взаємодії користувача із вебзастосунком шляхом розширення способів керування та забезпечення високого рівня користувацького досвіду.

Було розроблено базовий набір жестів та принципи навігації для вебзастосунків, що забезпечують інтуїтивну та передбачувану взаємодію. Для оцінки ефективності жестового управління сформовано ключові UX-метрики, включаючи точність розпізнавання жестів, середню затримку виконання дій, кількість помилкових спрацьовувань, час навчання користувача та час виконання завдань. Ці метрики створюють формальний каркас для кількісної оцінки користувацького досвіду в системах безконтактного керування.

Експериментальне дослідження проводилося на розроблених вебзастосунках із жестовою взаємодією, які включали різноманітні тестові сценарії та контрольні випадки використання. До участі в експерименті була залучена група користувачів із різним віком та рівнем технологічної компетентності, що дозволяє оцінити адаптивність, інтуїтивність та перспективність системи у реальних умовах використання.

У ході роботи також було перевірено та підтверджено гіпотези щодо впливу типу жестів, віку та досвідченості користувачів на процес навчання та точність виконання, а також щодо зовнішніх факторів, таких як освітленість та дистанція до камери, на стабільність та ефективність жестової взаємодії.

Запропоновані методи збору та аналізу даних дозволяють оцінювати ефективність і зручність жестової взаємодії, полегшують адаптацію користувачів та можуть бути безпосередньо інтегровані у реальні вебзастосунки. Проведене порівняння з традиційними методами взаємодії, такими як миша та тачпад, показало, що система жестового керування забезпечує схожий рівень продуктивності та точності, що свідчить про її життєздатність як альтернативного

способу введення. Крім того, підхід демонструє перспективність розвитку, простоту впровадження та широкі можливості застосування у різних сферах життя, включаючи освіту, медицину, інклюзивні технології та комерційні сервіси.

Таким чином, проведена робота підтверджує доцільність застосування жестових систем у вебзастосунках, забезпечує формалізацію метрик оцінки користувацького досвіду та демонструє високу перспективність розвитку підходу, його простоту впровадження у існуючі інтерфейси та можливості для застосування у різних сферах життя, включаючи освіту, медицину, інклюзивні технології та комерційні вебсервіси.

Результати дослідження апробовано та опубліковано у наступних тезах доповіді на конференціях:

1. Кивлюк Ю. О. Using a heuristic algorithm for real-time gesture recognition // Resilient systems: secure digital technologies and critical infrastructure: тези доповідей 1-ї міжнародної науково-практичної конференції, м. Дрогобич, 27 червня 2025 р. / Donetsk National Technical University. – Дрогобич, 2025. – С. 18–20.
2. Кивлюк Ю. О. Інтуїтивна взаємодія користувача з вебінтерфейсом на основі жестового управління // Виклики та рішення в програмній інженерії: тези доповідей II Всеукраїнської науково-технічної конференції, м. Київ, 26 листопада 2025 р. / Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій. – Київ, 2025. – С. 296–299.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Amazon.com. Офіційний вебсайт інтернет-магазину Amazon [Електронний ресурс]. Amazon.com, Inc., 2025. Режим доступу: <https://www.amazon.com/>.
2. YouTube. Офіційна довідка. Клавіатурні скорочення YouTube [Електронний ресурс]. Google LLC, 2025. Режим доступу: <https://support.google.com/youtube/answer/7631406>.
3. Instagram. Офіційний сайт та мобільний додаток Instagram [Електронний ресурс]. Meta Platforms, Inc., 2025. Режим доступу: <https://www.instagram.com/>.
4. StatCounter. Percentage of mobile device website traffic worldwide from 1st quarter 2015 to 4th quarter 2024. Statista [електронний ресурс]. Statista Inc., 2025. 28 с. Режим доступу: <https://www.statista.com/statistics/277125/share-of-website-traffic-coming-from-mobile-devices/>.
5. Li, Y., Zhang, Y., Zhang, Y. Deep Learning for Intelligent Human–Computer Interaction: A Review and Future Directions. Applied Sciences. 2022. Vol. 12, iss. 22. Art. № 11457. DOI: 10.3390/app122211457. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/22/11457>.
6. Reddy, C. K. A., Gopal, V., Cutler, R., Beyrami, E., Cheng, R. et al. The Interspeech 2020 Deep Noise Suppression Challenge: Datasets, Subjective Testing Framework, And Challenge Results. arXiv preprint arXiv:2005.13981. 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2005.13981. Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2005.13981>.
7. Apple Inc. Learn basic gestures and controls on Apple Vision Pro [Електронний ресурс]. Apple Support, 2024. Режим доступу: <https://support.apple.com/guide/apple-vision-pro/basic-gestures-and-controls-tan1e2a29e00/visionos>.

8. WebRTC API - Web APIs. Mozilla Developer Network [электронный ресурс]. MDN contributors, 2025. Режим доступа: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebRTC_API.
9. WebGL: 2D and 3D graphics for the web - Web APIs. Mozilla Developer Network [электронный ресурс]. MDN contributors, 2025. Режим доступа: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebGL_API.
10. TensorFlow.js | Machine Learning for JavaScript Developers. TensorFlow.org [электронный ресурс]. Google, 2025. Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/js>.
11. Hand landmarks detection guide | Google AI Edge | Google AI for Developers. Google AI [электронный ресурс]. Google, 2025. Режим доступа: https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/hand_landmarker.
12. Kerr, E., Dierckx, W., De Vleeschouwer, C. Evaluation of Low-Cost Depth Sensors for Outdoor Applications. *Sensors*. 2022. Vol. 22, iss. 24. Art. № 9732. DOI: 10.3390/s22249732. Режим доступа: https://www.academia.edu/117029638/Evaluation_of_Low_Cost_Depth_Sensors_for_Outdoor_Applications.
13. Zhang, Z., Yang, K., Qian, J., Zhang, L. Real-Time Surface EMG Pattern Recognition for Hand Gestures Based on Support Vector Machine and IMU Data Fusion. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2023. Vol. 31. P. 2092–2101. DOI: 10.1109/TNSRE.2023.3266386. Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10094523>.
14. Grigorev, A., Bazarevsky, V., Kartynnik, Y. et al. MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking. arXiv preprint arXiv:2006.10214. 2020 (оновлена версія 2023). Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2006.10214>.
15. LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G. Deep learning. *Nature*. 2015. Vol. 521, № 7553. P. 436–444. DOI: 10.1038/nature14539. Режим доступа: <https://www.nature.com/articles/nature14539>.
16. Aibin, U., Zhiyao, W., Yuqing, S. Signer-Independent Sign Language Recognition Based on Deep Learning and Color Segmentation. *IEEE Access*.

2020. Vol. 8. P. 94325–94335. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2990699. Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9084561>.
17. Xia, K., Huang, J., Wang, H. LSTM-CNN Architecture for Human Activity Recognition. IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 56855–56866. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2982225. Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9022250>.
18. International Organization for Standardization. ISO 9241-210:2019. Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems. 2nd ed. Geneva : ISO, 2019. 47 p. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/77520.html>.
19. Lewis, J. R. The System Usability Scale: Past, Present, and Future. International Journal of Human–Computer Interaction. 2018. Vol. 34, iss. 7. P. 577–590. DOI: 10.1080/10447318.2018.1455307. Режим доступа: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10447318.2018.1455307>.
20. Khan, Q., Hickie, I. B., Loblay, V. et al. Psychometric evaluation of the System Usability Scale in the context of a childrearing app co-designed for low- and middle-income countries. Digital Health. 2025. Vol. 11. Art. № 20552076251335413. DOI: 10.1177/20552076251335413. Режим доступа: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/20552076251335413>.
21. Micallef, N., Balducci, S., Falco, M., Costantini, G. Applying the Gestalt principles of perceptual organization to the design of effective visualizations. Journal of Visual Languages & Computing. 2022. Vol. 70. Art. № 102000. DOI: 10.1016/j.jvlc.2022.102000. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1045926X22000019>.
22. Nielsen, J. 10 Usability Heuristics for User Interface Design. Nielsen Norman Group [Электронный ресурс]. Nielsen Norman Group, 2024. Режим доступа: <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>.
23. Al-Khalifa, H. S., Al-Salman, H. S., Al-Harbi, N. R. An Exploration into Human–Computer Interaction: Hand Gesture Recognition Management in a Challenging Environment. SN Computer Science. 2023. Vol. 4, iss. 4. Art. №

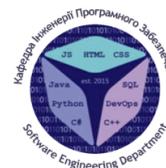
351. DOI: 10.1007/s42979-023-01751-y. Режим доступа:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s42979-023-01751-y>.
24. Shahzad, M. W., Javed, A., Ashraf, M. W. et al. Real-Time Hand Gesture Recognition Using Fine-Tuned Convolutional Neural Network. *Sensors*. 2022. Vol. 22, iss. 3. Art. № 706. DOI: 10.3390/s22030706. Режим доступа:
<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/706>.
25. Wang, J., Li, Y., Zhao, R., Ahuja, N. Deep vision-based real-time hand gesture recognition: a review. *PeerJ Computer Science*. 2025. Vol. 11. Art. № e2921. DOI: 10.7717/peerj-cs.2921. Режим доступа: <https://peerj.com/articles/cs-2921/>.
26. Dimitriadis, S. I., Iakovidis, D. K., Dimitropoulos, K. et al. Real-Time Hand Gesture Recognition: A Comprehensive Review of Techniques, Applications, and Challenges. *Cybernetics and Information Technologies*. 2024. Vol. 24, iss. 3. P. 3–31. DOI: 10.2478/cait-2024-0031. Режим доступа:
<https://dl.acm.org/doi/10.2478/cait-2024-0031>.
27. Papagiannopoulou, A., Papadopoulos, G. T., Ioannidis, K. et al. Survey on Hand Gesture Recognition from Visual Input. *arXiv preprint arXiv:2501.11992*. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2501.11992. Режим доступа:
<https://arxiv.org/abs/2501.11992>.
28. Kumar, P., Saini, R., Verma, P., Imdad, M. A comparative study of advanced technologies and methods in hand gesture analysis and recognition systems. *Expert Systems with Applications*. 2025. Vol. 252. Art. № 124296. DOI: 10.1016/j.eswa.2024.124296. Режим доступа:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417424027969>.
29. Gupta, S., Sharma, A., Kumar, R. Hand Gesture Recognition Using Computer Vision. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. 2025. Vol. 7, iss. 3. P. 1–12. DOI: 10.56789/irjmets1741959311. Режим доступа:
https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/issue_3_march_2025/69194/final/final_irjmets1741959311.pdf.

30. Tsiami, V., Kollias, S. Visual Hand Gesture Recognition with Deep Learning: A Comprehensive Review of Methods, Datasets, Challenges and Future Research Directions. arXiv preprint arXiv:2507.04465. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2507.04465. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2507.04465>.
31. Guerino, A. C., Valentim, N. M. C. Evaluating gesture user interfaces: Quantitative measures, qualitative scales, and method. International Journal of Human-Computer Studies. 2024. Vol. 185. Art. № 103232. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2024.103232. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581924000260>.
32. Ntoa, S., Margetis, G., Korozi, M. et al. User Experience Evaluation in the Development of Multimodal Interfaces. Multimodal Technologies and Interaction. 2022. Vol. 6, iss. 1. Art. № 3. DOI: 10.3390/mti6010003. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2414-4088/6/1/3>.
33. Wobbrock, J. O., Myers, B. A. Gestural Interaction: A Critical Review and Future Directions. Foundations and Trends in Human-Computer Interaction. 2022. Vol. 15, iss. 1–2. P. 1–150. DOI: 10.1561/11000000065. Режим доступа: <https://www.nowpublishers.com/article/Details/HCI-065>.
34. Oudah, M., Al-Naji, A., Chahl, J. Hand gesture recognition based on computer vision: A review of techniques. Journal of Imaging. 2021. Vol. 7, iss. 8. Art. № 137. DOI: 10.3390/jimaging7080137. Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8321080/>.
35. Al-Khalifa, H. S., Al-Salman, H. S., Al-Harbi, N. R. An Exploration into Human–Computer Interaction: Hand Gesture Recognition Management in a Challenging Environment. SN Computer Science. 2023. Vol. 4, iss. 4. Art. № 351. DOI: 10.1007/s42979-023-01751-y. Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42979-023-01751-y>.

ДОДАТОК А. ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ



КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Магістерська робота

«Метод збору та аналізу користувацького досвіду в системах жестового управління для вебзастосунків»

Виконав: студент групи ПДМ-61 Юрій КИВЛЮК

Керівник: канд. техн. наук, доцент кафедри ІПЗ Юрій ЗАДОНЦЕВ

Київ - 2026

МЕТА, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи: покращення взаємодії користувача з вебзастосунком шляхом розширення способів управління системою та забезпечення високого рівня користувацького досвіду.

Об'єкт дослідження: людино-комп'ютерна взаємодія у вебзастосунках із використанням жестових способів керування.

Предмет дослідження: методи збору та аналізу користувацького досвіду при використанні систем жестового управління у вебзастосунках.

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ КОРИСТУВАЦЬКОГО ДОСВІДУ

Метод	Короткий опис	Переваги
Опитування та анкети	Суб'єктивна оцінка UX користувачами	Швидкість; масштабованість; низька вартість
A/B тестування	Порівняння альтернативних рішень	Об'єктивність; перевірка UX-гіпотез
Формалізовані UX-метрики	Вимірювання часу, помилок, успішності	Кількісність; відтворюваність
Логуювання взаємодій	Автоматичний збір дій користувача	Реальна поведінка; пошук патернів

3

ПРОПОНОВАНЕ ПОЄДНАННЯ ПІДХОДІВ В КОНТЕКСТІ ЖЕСТОВОГО УПРАВЛІННЯ

Метод	Переваги та обґрунтування для жестового управління
Опитування та анкети	Оцінка інтуїтивності, комфорту та навчальності жестів, що не вимірюються технічними метриками
A/B тестування	Порівняння варіантів жестів, чутливості та зон активації для вибору оптимальної взаємодії. Проведення порівняння зі сталими способами введення.
Формалізовані UX-метрики	Кількісна оцінка ефективності жестів (час, помилки, успішність виконання завдань)
Логуювання жестових взаємодій	Аналіз реальних рухів, помилкових спрацювань та стабільності безконтактної взаємодії. Можливість інтерпретації даних для діаграм, графіків, тощо.

4

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ОСНОВНИХ UX-МЕТРИК

1. Точність розпізнавання жестів
(Gesture Recognition Accuracy, GRA):

$$GRA = \frac{N_{correct}}{N_{total}} \cdot 100\%$$

2. Кількість помилкових спрацювань
(False Activation Rate, FAR):

$$FAR = \frac{N_{false}}{T}$$

3. Час навчання користувача (Learning
Time, LT):

$$LT = T_{mastery} - T_{start}$$

4. Час виконання завдання, (Task
Completion Time, TCT):

$$TCT = t_{end} - t_{start}$$

5. Оцінка навчання (Learning Rate, LR):

$$LR = \frac{TCT_{first} - TCT_{first}}{TCT_{first}} \cdot 100\%$$

5

ОЦІНКА СУБ'ЄКТИВНОЇ ЗРУЧНОСТІ – SYSTEM USABILITY SCALE (SUS)

Опис:

- Стандартизована методика оцінки зручності інтерфейсу;
- 10 запитань, шкала 1–5;
- Підсумковий бал: 0–100;
- Оцінює: інтуїтивність, навчальність, комфорт;
- Адапована для жестової взаємодії;
- Використовується після тестування користувачів;

Перелік питань:

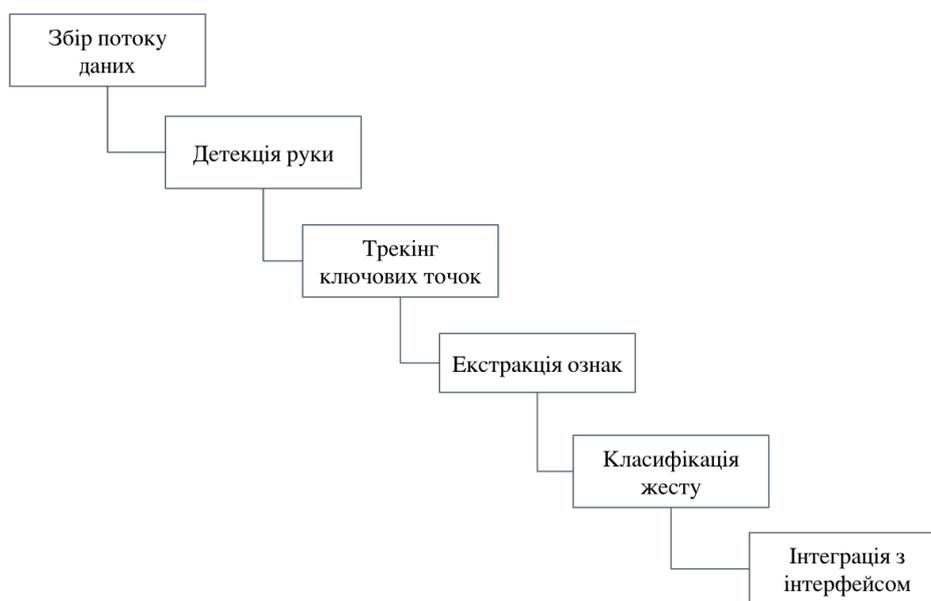
- 1) Я думаю, що я б часто використовував цю жестову систему.
- 2) Я вважаю систему жестового керування занадто складною.
- 3) Мені здається, що система проста у використанні.
- 4) Мені потрібна була б допомога технічної особи, щоб працювати з жестами.
- 5) Різні функції в системі добре інтегровані між собою.
- 6) У роботі системи було забагато незгодженостей.
- 7) Я уявляю, що більшість людей дуже швидко навчаться працювати з жестами.
- 8) Я вважав систему дуже незграбною у використанні.
- 9) Я почувався впевнено під час роботи з жестовим керуванням.
- 10) Мені довелося багато чому навчитися, перш ніж я зміг ефективно працювати з системою.

6

ІСНУЮЧІ МЕТОДИ БЕЗКОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

Підхід	Принцип роботи	Переваги	Недоліки
Голосове управління	Керування за допомогою мовних команд, NLP, Web Speech API	- висока доступність - швидке виконання команд	- залежність від шуму - проблеми приватності - помилки в розпізнаванні
Жестове управління (сенсори, VR/AR)	Камери, LiDAR, ГЧ-датчики, розпізнавання рухів у просторі	- природна взаємодія - висока точність - інтуїтивність	- дороге обладнання - обмежена доступність
Жестове керування у веб-і через камеру пристрою	Комп'ютерний зір + вебкамера + браузерна інтеграція	- не потребує спецобладнання - доступність у звичайному браузері - низький поріг входу - придатність для масового використання	- залежність від освітлення та положення камери

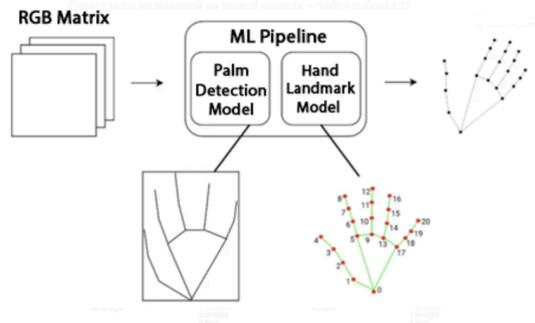
ЕТАПИ ВЗАЄМОДІЇ З ІНТЕРФЕЙСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЖЕСТИВ



ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЖЕСТІВ

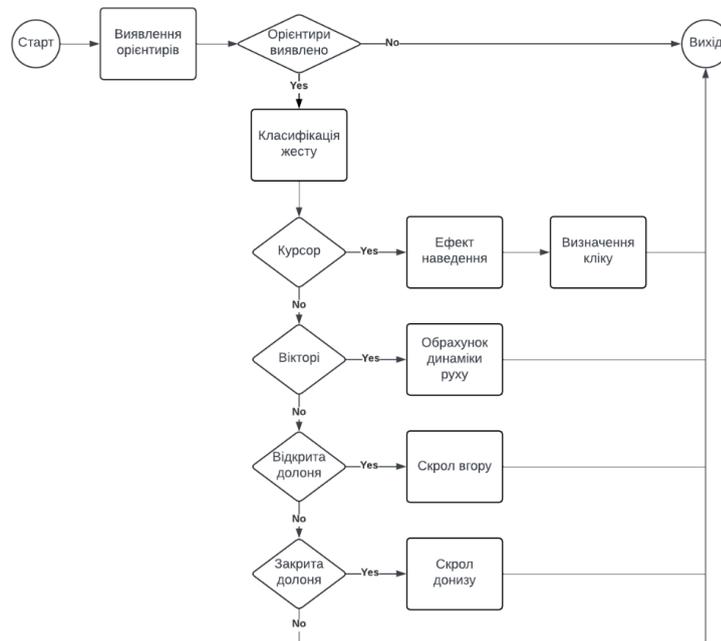
Як основний інструмент для роботи з моделями машинного навчання було використано фреймворк MediaPipe.

1. **Palm Detector** – модель машинного навчання, що відповідає за пошук долоні на зображенні.
2. **Hand Landmark** – модель, що навчена виділяти орієнтири руки у просторі.

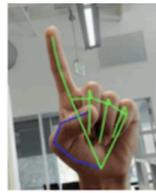


Робота моделей MediaPipe

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЖЕСТІВ



РОЗРОБЛЕНИЙ БАЗОВИЙ НАБІР ЖЕСТІВ



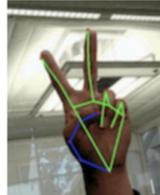
Жест - "Курсор"



Жест - "Клік"



Жест - "Відкрита долоня"



Жест - "Вікторі"



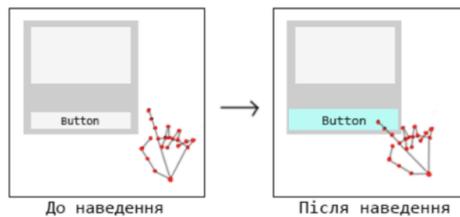
Жест - "Закрита долоня"

Дії:

- **«Курсор»** — піднятий вказівний палець. Позиціонування віртуального вказівника.
- **«Вікторі»** — два пальці. Навігація по історії (назад, вперед, оновлення)
- **«Відкрита долоня» / «Закрита долоня»**. Прокручування сторінки вгору / вниз.
- **«Клік»** — змикання великого та вказівного пальців. Активація елементів інтерфейсу.

11

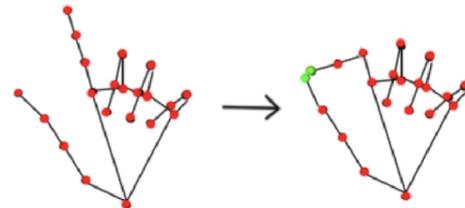
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗРУЧНОЇ НАВИГАЦІЇ ТА ВЗАЄМОДІЇ



До наведення

Після наведення

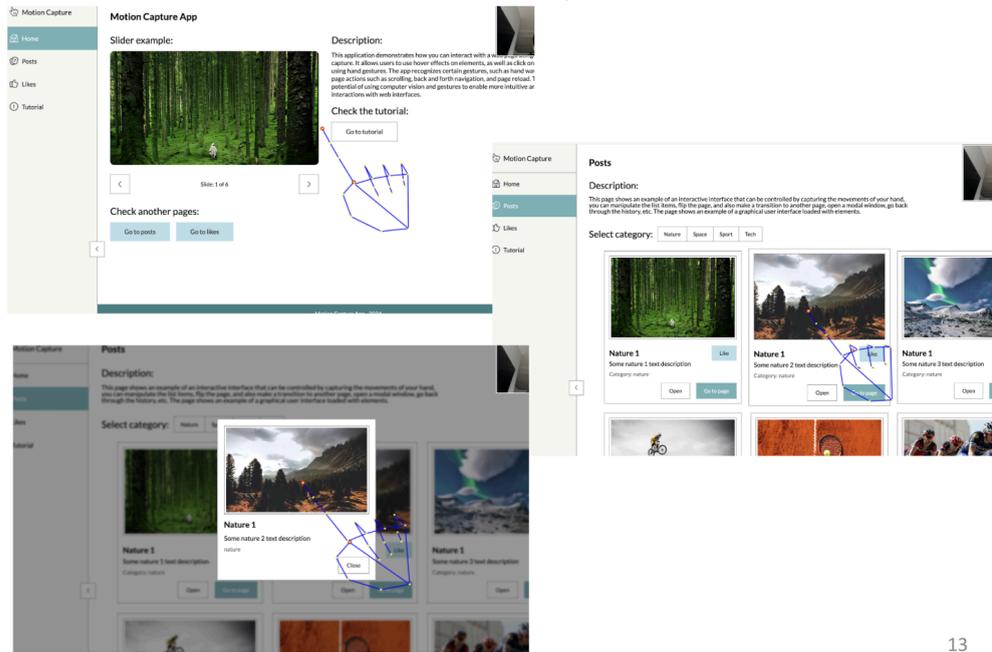
Ефект наведення вказівного пальця на інтерактивний елемент



Взаємодія з інтерактивними елементами

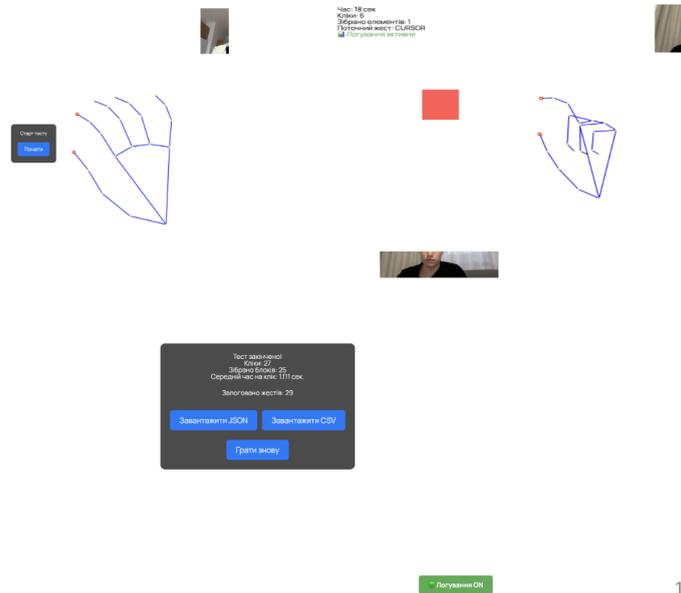
12

РОЗРОБЛЕНИЙ ТЕСТОВИЙ ВЕБЗАСТОСУНОК КЛАСИЧНОГО ТИПУ



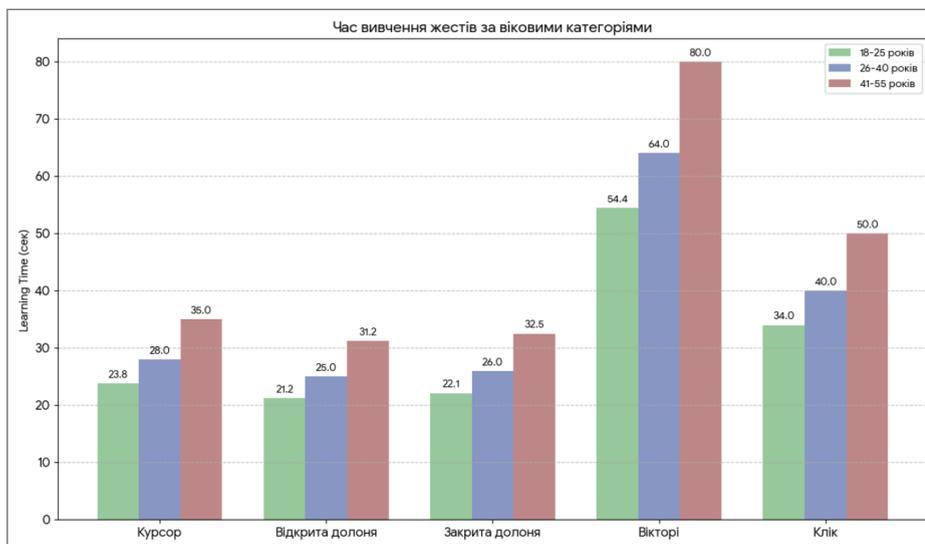
13

РОЗРОБЛЕНИЙ ТЕСТОВИЙ ВЕБЗАСТОСУНОК ШВИДКОСТІ ВЗАЄМОДІЇ



14

ШВИДКІСТЬ ОПАНУВАННЯ ЖЕСТИВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ВІКОВОЇ КАТЕГОРІЇ



15

ПОРІВНЯННЯ З ТРАДИЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ УПРАВЛІННЯ

Режим керування	Середній ТСТ, сек	Мін.–Макс., сек
Традиційне (миша/тачпад)	18,4	14,2–23,1
Жестове керування	21,7	16,8–27,5

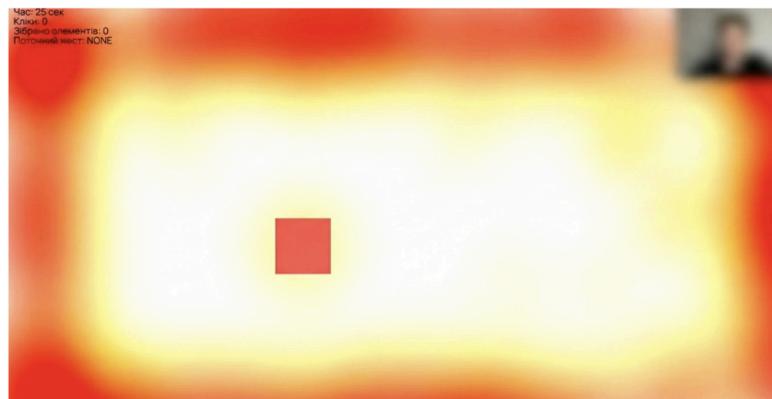
16

ШВИДКІСТЬ ЗВИКАННЯ ТА НАВЧАННЯ КОРИСТУВАЧІВ

Ітерація	К-сть балів, середнє	Макс. балів	Час реакції, сек	Помилкових кліків	% помилок
1	28,3	48	1,3	4,8	14,5 %
2	34,1	49	1,12	3,2	8,6 %
3	37,6	51	0,94	2,1	5,3 %
Середнє	33,3	—	1,09	3,37	9,3 %

17

ТЕПМАП ПОМИЛКОВИХ СПРАЦЮВАНЬ



18

АНКЕТУВАННЯ УЧАСНИКІВ, SUS

Оцінка зручності (System Usability Scale, SUS)

- Після тестування користувачі пройшли анонімне SUS-опитування
- Тривалість взаємодії перед опитуванням: 25–35 хв
- Оцінювались:
 - зручність, інтуїтивність, стабільність, комфорт використання

Фінальний результат: SUS = 74,4

Інтерпретація результату:

- Високий рівень зручності та прийнятності системи
- Швидке освоєння базових жестів
- Невелика потреба у навчанні
- Придатність для реального використання у вебзастосунках

19

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВІД ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ

Освітлення:

Рівень освітленості	Total Score (TS), середнє	ART, сек	Помилкових кліків	Error Rate, %
Високе	39,8	0,92	2,0	4,8 %
Нормальне	36,4	1,05	3,1	7,4 %
Низьке	28,7	1,36	5,4	15,8 %

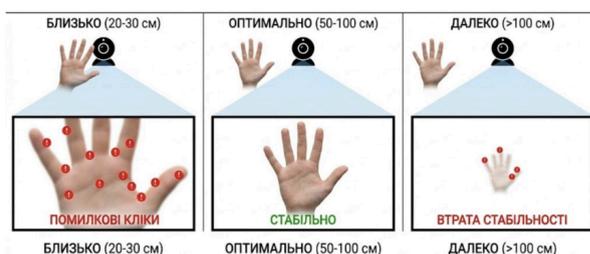


20

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВІД ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ

Відстань до камери:

Дистанція	TS (середнє)	Макс. очок за 30 с	ART, сек	Помилкових кліків	Error Rate, %
Близько	30,2	50	1,28	4,5	13,2
Середньо	37,6	51	0,94	2,1	5,3
Далеко	32,1	49	1,14	3,3	9,2



21

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано сучасні підходи до оцінювання користувацького досвіду для вебзастосунків та виявлено потребу у формалізованому наборі кількісних UX-метрик для об'єктивного аналізу ефективності взаємодії в контексті жестової взаємодії.
2. Запропоновано метод оцінювання користувацького досвіду жестових вебінтерфейсів, що поєднує показники точності, швидкодії, кількості помилок і суб'єктивної оцінки користувачів.
3. Сформовано базовий набір жестів і принципи навігації, орієнтовані на інтуїтивність, передбачуваність та швидке навчання користувачів.
4. Реалізовано та протестовано вебзастосунки з жестовою взаємодією, тестування яких підтвердило працездатність запропонованого підходу та стабільні показники UX у типових сценаріях використання.
5. Проведено експериментальне дослідження за участі користувачів різного віку та рівня підготовки, результати якого засвідчили відтворюваність метрик і узгодженість суб'єктивних та об'єктивних оцінок.
6. Встановлено, що фізичні умови використання (освітленість і дистанція до камери) впливають на точність розпізнавання, однак за оптимальних параметрів система забезпечує стабільну роботу.
7. Порівняння з традиційними способами введення показало, що жестове керування забезпечує порівнянний рівень точності та продуктивності, підтверджуючи доцільність запропонованого методу.

22

ПУБЛІКАЦІЇ ТА АПРОБАЦІЯ РОБОТИ

Тези доповідей:

1. Кивлюк Ю. О. Using a heuristic algorithm for real-time gesture recognition // Resilient systems: secure digital technologies and critical infrastructure: тези доповідей 1-ї міжнародної науково-практичної конференції, м. Дрогобич, 27 червня 2025 р. / Donetsk National Technical University. – Дрогобич, 2025. – С. 18–20.
2. Кивлюк Ю. О. Інтуїтивна взаємодія користувача з вебінтерфейсом на основі жестового управління // Виклики та рішення в програмній інженерії: тези доповідей II Всеукраїнської науково-технічної конференції, м. Київ, 26 листопада 2025 р. / Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій. – Київ, 2025. – С. 296–299.