

УДК 376.1-056.26/.3:159.953.5-053.2:796.11
<https://doi.org/10.26565/2074-8167-2026-58-03>

Вероніка Олегівна Велькіна

здобувач фахової передвищої освіти¹

<https://orcid.org/0009-0007-3008-9033> vero25806969nika@gmail.com

Віталій Тарасович Шамрай

викладач вищої кваліфікаційної категорії, викладач-методист¹

<https://orcid.org/0009-0001-9659-6608> v.t.shamray@gmail.com

¹ Комунальний заклад вищої освіти

«Кременчуцька гуманітарно-технологічна

Академія» Полтавської обласної ради,

вул. Валентини Федько, 33, м. Кременчук, Україна, 39600

ІГРОВІ НЕЙРОТЕХНІКИ ЯК ЗАСІБ КОГНІТИВНОГО РОЗВИТКУ ДІТЕЙ В УМОВАХ ІНКЛЮЗИВНОГО ТА ЗАГАЛЬНОГО ОСВІТНЬОГО ПРОСТОРУ

У статті досліджено потенціал ігрових нейротехнік як інноваційного засобу стимуляції когнітивного розвитку дітей віком 3–9 років в умовах загального та інклюзивного освітнього простору. Актуальність праці зумовлено необхідністю трансформації освітніх методів у цифрову епоху та пошуком безбар'єрних технологій, що сприяють нейропластичності мозку на основі активної сенсомоторної діяльності. Метою дослідження є розроблення та апробація вебзастосунку, який базується на технологіях комп'ютерного зору та штучних нейронних мереж для створення системи безконтактної взаємодії дитини з цифровим контентом. У дослідженні було використано методи теоретичного аналізу психофізіологічної літератури, об'єктно-орієнтованого проектування архітектури ПЗ, а також емпіричні методи спостереження та тестування. Вибірку становлять групи нормотипових дітей та дітей з особливими освітніми потребами на базі інклюзивно-ресурсного центру. Основними результатами дослідження є реалізація вебзастосунку з адаптивною логікою складності, що ідентифікує жести користувача в реальному часі, перетворюючи гру на тренажер пізнавальних процесів. Експериментальна перевірка підтвердила високу емоційну залученість учасників та ефективність активізації пізнавальної діяльності на основі синергії когнітивних зусиль і моторної активності. У висновках доведено, що використання штучного інтелекту нівелює фізичні бар'єри традиційного навчання та забезпечує рівні можливості для інтелектуального зростання кожної дитини. Практичне значення статті полягає у створенні доступного інструментарію для педагогів та реабілітологів, що дає змогу реалізувати інклюзивний підхід на основі сучасних досягнень нейробіології та ІТ-технологій.

Ключові слова: штучний інтелект; інклюзивність; комп'ютерний зір; адаптивне навчання; когнітивна стимуляція; ігрові нейротехніки; зорово-моторна координація.

Як цитувати: Велькіна В. О., Шамрай В. Т. Ігрові нейротехніки як засіб когнітивного розвитку дітей в умовах інклюзивного та загального освітнього простору. *Наукові записки кафедри педагогіки*. 2026. № 58. С. 31–45. <https://doi.org/10.26565/2074-8167-2026-58-03>

In cites: Vielkina, V., Shamrai, V. (2026). Game-based neurotechnologies as a means of cognitive development in children within inclusive and general educational settings. *Scientific notes of the pedagogical department*, 58, 31–45. <https://doi.org/10.26565/2074-8167-2026-58-03> [in Ukrainian].

Вступ. Стрімкий розвиток цифрових технологій зумовлює докорінні зміни в освітньому середовищі, формуючи запит на інноваційні підходи, що базуються на принципах безбар'єрності та універсального дизайну. Сучасні діти зростають у високотехнологічному просторі, де взаємодія з гаджетами є звичним елементом повсякдення, що відкриває широкі перспективи для створення інструментів, здатних поєднувати гру та когнітивний розвиток. Потреба в таких рішеннях критично зростає в умовах повномасштабної війни в Україні. Постійні повітряні тривоги, вимушені переїзди та тривале перебування в укриттях негативно впливають на психоемоційний стан дітей, створюючи додаткові бар'єри для розвитку уваги, пам'яті та логічного мислення. У цьому контексті технології штучного інтелекту дозволяють створювати безконтактні системи, які нівелюють обмеження традиційних засобів введення та адаптують складність завдань під конкретні можливості користувача.

Сучасний стан проблеми досліджується через призму нейропсихології та цифровізації освіти. Науковці Н. Ярмола, Л. Коваль-Бардаш, Н. Компанець, Н. Квітка, А. Лапін наголошують, що сенсомоторне навчання є ключовим для дітей із різними освітніми потребами, оскільки воно базується на природній моториці (Ярмола та ін., 2020). Теоретичні підходи підтверджують, що ігрові нейротехніки виступають активним тренажером нейропластичності. Проте у попередніх дослідженнях недостатньо уваги приділено саме вебрішенням на основі комп'ютерного зору, які б інтегрували когнітивну стимуляцію в інклюзивний простір без спеціалізованого дорогого обладнання (Ковшар, 2016).

Мета статті полягає у розробленні та апробації вебзастосунку, який базується на технологіях комп'ютерного зору та штучних нейронних мереж для створення системи безконтактної взаємодії дитини з цифровим контентом.

Поставлена мета передбачає розв'язання таких завдань:

1. Теоретично обґрунтувати використання ігрових нейротехнік як засобу когнітивної стимуляції дітей віком 3–9 років.
2. Спроекувати та розробити систему безконтактної взаємодії на основі комп'ютерного зору для ідентифікації жестів у реальному часі.
3. Реалізувати архітектуру вебзастосунку з адаптивною логікою та гейміфікованим інтерфейсом, що відповідає психофізіологічним особливостям дітей.

4. Експериментально перевірити ефективність розроблених нейротехнік у групах дітей із різними освітніми потребами.

Гіпотеза дослідження: використання інтерактивної нейрогри з адаптивними алгоритмами штучного інтелекту сприятиме підвищенню концентрації уваги та розвитку зорово-моторної координації дітей, забезпечуючи рівні можливості для навчання незалежно від їхніх фізичних особливостей.

Методологія дослідження. Дослідження базується на квазіекспериментальному типі дослідження, що поєднує математичне моделювання нейромережових алгоритмів та емпіричну перевірку. Використано методи системного аналізу, об'єктно-орієнтованого проектування, спостереження та педагогічного експерименту. Базою апробації став інклюзивний центр «Союзу осіб з інвалідністю України», де було сформовано вибірку з нормотипових дітей та дітей з особливими освітніми потребами (загалом 20 осіб). Інструментарієм слугував розроблений прототип нейрогри «Neurogame» та відеофіксація ігрових сесій. Аналіз даних здійснювався методами кількісної обробки результатів успішності та якісного аналізу емоційної залученості.

Результати дослідження. У ході дослідження було розроблено програмний комплекс, здатний ідентифікувати жести користувача через веб-камеру без затримок. Система автоматично коригує темп гри, аналізуючи швидкість реакції дитини. Результати тестування в інклюзивному центрі підтвердили винятково високу емоційну залученість учасників. Доведено, що нейрогра ефективно активізує пізнавальну діяльність через синергію когнітивних зусиль та моторної активності. Безконтактний інтерфейс дозволив дітям із порушеннями дрібної моторики успішно виконувати завдання, які раніше були недоступні через складність використання комп'ютерної миші. Висновки підтверджують потенціал штучних нейронних мереж у створенні доступних освітніх рішень, що гарантують рівні можливості для розвитку кожної дитини.

У межах парадигми інформаційних технологій розробка інтелектуальних ігрових систем для дітей молодшої вікової категорії потребує глибокої формалізації вхідних параметрів, що базуються на психофізіологічних показниках користувача. Віковий період від 3 до 9 років розглядається як етап інтенсивної розбудови нейронних мереж головного мозку, що безпосередньо корелює з якісними змінами

у функціонуванні уваги, пам'яті та мислення. Для розробника програмного забезпечення ці когнітивні особливості виступають основними детермінантами, що визначають архітектуру системи, логіку обробки подій та принципи побудови інтерфейсів користувача. Специфікація вимог до таких систем повинна враховувати гетерохронність розвитку вищих психічних функцій, оскільки некоректна оцінка когнітивного порогу аудиторії призводить до невідповідності програмного продукту його цільовому призначенню (Папіш, 2020; Лелеко, 2024).

Процеси уваги у дітей дошкільного віку характеризуються домінуванням мимовільних реакцій, що в термінах теорії систем можна визначити як високу чутливість до інформаційного шуму. Це накладає суворі обмеження на дизайн інтерфейсу: надмірна кількість візуальних стимулів або складні анімаційні переходи сприймаються центральною нервовою системою дитини як перешкоди, що перевантажують канал сприйняття та знижують ефективність взаємодії з додатком (Лелеко, 2024).

З інженерної точки зору, проєктування систем для даної вікової групи має базуватися на принципах мінімізації інформаційної ентропії, де кожен елемент інтерфейсу користувача (user interface) (далі – UI) виконує виключно функціональну роль. У міру дорослішання користувача та переходу до молодшого шкільного віку (6–9 років) спостерігається поступове формування довільної уваги. Це дозволяє імплементувати в програмну логіку складніші сценарії, що вимагають тривалого утримання стану системи та концентрації на багатоетапних завданнях, де часовий інтервал між стимулом і цільовою дією поступово збільшується.

Аналогічні трансформації властиві і механізмам пам'яті, які у віці 3–9 років еволюціонують від короткочасного наочно-образного використання до здатності оперувати абстрактно-логічними структурами. При розробленні ігрових циклів необхідно враховувати обмеження робочої пам'яті дитини, яка на ранніх етапах розвитку спроможна одночасно утримувати обмежену кількість об'єктів маніпуляції. Нехтування цим параметром при архітектурному плануванні ігрових рівнів може призвести до стрімкої втоми користувача та втрати інтересу до продукту. Натомість інтеграція алгоритмів інтервальних повторень та динамічного керування контентом дозволяє системі адаптуватися до темпів формування довготривалої пам'яті. Технічно це реалізуєть-

ся через створення адаптивних баз даних, які фіксують історію взаємодії та автоматично коригують частоту експозиції складних інформаційних блоків залежно від індивідуальної результативності дитини.

Особливе значення для інформаційних технологій має генезис мислення, що проходить шлях від наочно-дієвих операцій до словесно-логічного аналізу. Для розробника це означає необхідність переходу від лінійної архітектури Event-Driven (керованої подіями за принципом прямої реакції) до складних систем, що підтримують розгалужену логіку та дерева рішень. Якщо для молодшої групи взаємодія з програмою має бути максимально сенсомоторною, то для дітей 7–9 років система повинна пропонувати завдання на класифікацію, встановлення каузальних зв'язків та прогнозування станів системи. Таким чином, когнітивна стимуляція засобами нейротехнік стає можливою лише за умови створення замкненого контуру керування (Closed-loop system), де програмний комплекс у реальному часі аналізує час реакції, точність дій та поведінкові патерни користувача, автоматично змінюючи рівень складності та характер стимуляції для підтримки оптимального стану нейропластичності.

У сучасній парадигмі розробки інтелектуальних навчальних систем концепція нейропластичності розглядається як фундаментальний механізм, що підлягає алгоритмічній формалізації для створення адаптивних освітніх середовищ. З погляду програмної інженерії, нейропластичність – здатність мозку дитини змінювати структурно-функціональні зв'язки під впливом вхідних стимулів – виступає біологічним прототипом для динамічного самонавчання систем. Моделювання цих процесів у програмному коді дозволяє реалізувати персоналізовані траєкторії розвитку, де складність та інтенсивність когнітивного навантаження корелюють із поточною пропускну здатністю нейронних мереж користувача (Kassenkhan et al, 2025; Гуралюк, 2023; Базильська 2025).

Основним інженерним викликом при моделюванні нейропластичності є створення стійкого циклу зворотного зв'язку (Feedback Loop), що імітує синаптичне посилення. В алгоритмах адаптивного навчання це реалізується через механізми динамічного вагового оцінювання параметрів. Кожна успішна взаємодія дитини з ігровим модулем інтерпретується системою як зміцнення когнітивного зв'язку, що відображається у зміні значень у профілі користувача та відкритті доступу до складніших логічних

структур. Натомість тривалі затримки у відповідях або високий коефіцієнт помилок сигналізують системі про необхідність активації механізмів «когнітивного розвантаження», що технічно реалізується через автоматичне зниження параметрів труднощів та повернення до базових сенсомоторних вправ.

Алгоритмічна імплементація нейропластичності в межах ігрових нейротехнік базується на використанні стохастичних моделей та методів машинного навчання, зокрема навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning). У такій моделі агент (програма) прагне оптимізувати цільову функцію – рівень когнітивного прогресу дитини – шляхом підбору оптимального набору стимулів. Важливим аспектом є моделювання періодів консолідації інформації, що в архітектурі ПЗ відповідає за інтервальне збереження станів та аналіз динаміки змін у часі. Це дозволяє уникнути ефекту «перетренування» та забезпечити стабільний розвиток уваги й пам'яті, враховуючи природні біоритми та швидкість нейрофізіологічних реакцій дитини 3–9 років (Дорожко та ін., 2022; Шевченко, 2017; Брушневська, 2025).

Окрему увагу в процесі моделювання варто приділити концепції «зони найближчого розвитку», яка в термінах програмної інженерії трансформується в алгоритм пошуку оптимального порогу складності (Optimal Threshold Strategy). Система повинна підтримувати такий рівень ентропії завдань, за якого користувач не відчуває фрустрації від надмірної складності, але й не втрачає мотивації, зважаючи на примітивність ігрових механік.

Отже, математичне моделювання нейропластичності постає основою для побудови архітектурно гнучких систем, які не лише транслюють контент, а й активно взаємодіють з когнітивною структурою дитини, постаючи зовнішнім стимулятором інтелектуального зростання.

Ефективність систем когнітивної стимуляції безпосередньо залежить від обраного методу отримання та оброблення даних про стан користувача. У програмній інженерії виокремлюють два основні підходи до побудови таких систем: реактивні моделі, що базуються на аналізі логів взаємодії (interaction logs), та сенсорно-орієнтовані моделі, що використовують прямі біометричні дані (рис.1).

Традиційні програмні рішення, такі як Lumosity або Peak, використовують архітектуру з відкритим циклом (open-loop systems). У таких системах адаптація контенту відбувається постфактум: алгоритм аналізує результати завершеної ігрової сесії та коригує складність наступної. Хоча цей підхід є менш ресурсозатратним для клієнтського обладнання, він має значну інерційність – система не здатна реагувати на раптову втрату концентрації або втому дитини під час самого процесу стимуляції. З погляду обробки даних, такі додатки оперують лише дискретними значеннями (правильно/неправильно, час виконання), ігноруючи безперервний контекст нейрофізіологічного стану (Features of UX design for children: UX Collective, 2026).

Альтернативним та найбільш технологічно досконалим підходом є використання



Рисунок 1. Концептуальна модель нейрокомп'ютерної взаємодії
Figure 1. Conceptual Model of Neuro-Computer Interaction

нейрокомп'ютерних інтерфейсів (далі – BCI). Системи, що інтегруються з ЕЕГ-сенсорами (наприклад, портативні рішення від Muse або NeuroSky), дозволяють реалізувати архітектуру із закритим циклом (closed-loop). У таких моделях вхідним потоком даних є спектральні характеристики активності мозку (альфа-, бета-, тета-ритми). Проте впровадження BCI у масовий сегмент дитячого ПЗ обмежене інженерними викликами: високим рівнем артефактів (завад) у сигналі через рухливість дітей 3–9 років, складністю синхронізації обладнання через Bluetooth-протоколи та необхідністю специфічної фільтрації даних у реальному часі.

Проміжним і найбільш перспективним для програмної інженерії рішенням є використання безконтактних нейротехнік на основі комп'ютерного зору (Computer Vision). На відміну від BCI, цей підхід не потребує додаткового апаратного забезпечення, окрім стандартної камери пристрою. Використання бібліотек типу OpenCV або фреймворків MediaPipe дозволяє системі зчитувати поведінкові маркери: напрямок погляду (gaze tracking), частоту кліпання та мімічні прояви емоцій. Такі дані є непрямыми показниками когнітивної залученості (engagement), що дозволяє програмному забезпеченню миттєво змінювати сценарій гри або інтенсивність візуальних подразників (табл. 1)

Таблиця 1

Порівняльна таблиця архітектурних підходів

Table 1

Comparative table of architectural approaches

Критерій порівняння	Реактивні ігрові системи	Системи на базі BCI	Нейросистеми на базі CV (Computer Vision)
Метод збору даних	Логи дій (кліки, час)	Електрична активність мозку	Біометрія та трекінг погляду
Зворотний зв'язок	Відкладений (після сесії)	Миттєвий (real-time)	Миттєвий (real-time)
Складність розробки	Низька (стандартні бази даних)	Висока (фільтрація сигналів)	Середня (алгоритми розпізнавання)
Апаратні вимоги	Стандартні	Спеціалізовані сенсори	Стандартна камера

Отже, для розроблення інтерактивної нейрогри найбільш збалансованим, з інженерного погляду, є вибір архітектури, що поєднує ігрову логіку з модулями комп'ютерного зору. Це дозволяє досягти високої точності когнітивної стимуляції при збереженні кросплатформності та доступності програмного продукту для широкої аудиторії дітей від 3 до 9 років.

Сучасна індустрія освітнього програмного забезпечення (EdTech) для дітей 3–9 років демонструє перехід від статичного медіаконтенту до інтелектуальних систем із високим рівнем інтерактивності. Системний аналіз ринку дозволяє виділити ключові архітектурні патерни та технологічні рішення, що використовуються в лідируючих міжнародних та вітчизняних продуктах для когнітивної стимуляції (Khan Academy Kids: Khan Academy, 2026; MediaPipe Hands: Google, 2019; Speech Blubs: Speech Blubs, 2026; TensorFlow.js: TensorFlow, 2026). Серед глобальних рішень показовим є застосунок Lingokids (<https://lingokids.com/>), побудований на моделі адаптивного ігрового

навчання (Playlearning™). З інженерної точки зору, система використовує складні алгоритми персоналізації, що базуються на аналізі швидкості проходження рівнів та точності вводу даних. Програма автоматично масштабує складність контенту, реалізуючи динамічне керування навчальною траєкторією. Аналогічний підхід застосовано в Khan Academy Kids, де архітектура зосереджена на створенні цілісної екосистеми з розгалуженою логікою (branching logic), що охоплює розвиток критичного мислення, пам'яті та емоційного інтелекту через мультимодальні інтерфейси (Khan Academy Kids: Khan Academy, 2026).

Особливе значення для програмної інженерії мають додатки, що інтегрують біометричні технології зворотного зв'язку. Застосунок Speech Blubs демонструє інноваційне використання технологій комп'ютерного зору (Computer Vision) та доповненої реальності (далі – AR) для стимуляції мовленнєвих та когнітивних зон мозку (Базильська, 2025; Inclusive education and digital technologies: Ministry of



Рисунок 2. Системи-аналоги

Figure 2. Existing Analogues

Education and Science of Ukraine. (n.d.), 2026). Алгоритми розпізнавання обличчя в реальному часі активують так звані «дзеркальні нейрони» дитини, що підвищує ефективність когнітивної стимуляції порівняно з пасивним переглядом відеоконтенту. Це підтверджує доцільність впровадження модулів комп'ютерного бачення (далі – CV-модулі) у структуру нейроігор для забезпечення активного залучення користувача.

В українському сегменті ПЗ спостерігається тенденція до створення продуктів, що поєднують ігрову механіку з національними освітніми стандартами (Speech Blubs: Speech Blubs, 2026; TensorFlow.js: TensorFlow, 2026; Чекан, 2024). Прикладами успішної реалізації таких систем є:

- «Розвивайко» (<https://rozvivayko.com.ua/ua/?srsId=AfmBOoo7DinlaPKvonQHv2BJGmi8LlQno3ZXcX9QTYvt7FBqyM3-6Dw3>) – серія інтерактивних застосунків, орієнтованих на розвиток логічного мислення та пам'яті через сенсомоторну взаємодію. Програмна логіка базується на поступовому ускладненні комбінаторних завдань.

- «Вивчаю - не чекаю» (<https://primary.org.ua/>) – кросплатформний застосунок для початкової школи, розроблений за методологією мікронавчання. Архітектура системи передбачає роботу в автономному режимі (offline-first), що є важливим технічним аспектом для сучасних умов експлуатації ПЗ в Україні.

- «Мурахи» та «Мишенькова абетка» (<https://www.mousealphabet.com/>) – рішення, що використовують класичні гейміфіковані цикли (Core Loop) для закріплення навичок читання та обчислення, фокусуючись на утриманні уваги через візуальну винагороду.

- Порівняльний аналіз зазначених рішень засвідчує, що найбільш ефективні системи когнітивної стимуляції базуються на ітераційному підході до розробки, де кожен елемент інтерфейсу проходить верифікацію на основі тестування цільовою групою користувачів. Про-

те більшість наявних українських застосунків сьогодні мають обмежену підтримку повноцінних нейротехнологій (автоматична детекція стану за допомогою камери або ШІ-адаптації), що створює науково-технічну нішу для розроблення нових інтелектуальних нейроігор із закритим контуром керування (рис. 2)

Отже, проведений аналіз архітектурних рішень свідчить про перехід галузі до створення високоінтерактивних систем, що підтверджує доцільність розробки вітчизняних інтелектуальних нейроігор із впровадженням алгоритмів адаптації контенту та комп'ютерного зору.

Розглянемо, процес розробки інтерактивної нейрогри для когнітивної стимуляції дітей 3–9 років, який базується на створенні гнучкої та продуктивної архітектури, здатної обробляти динамічні сценарії в реальному часі. Вибір технологічного стеку – HTML5, CSS3 та JavaScript (ES6+) – зумовлений необхідністю забезпечення кросплатформності та високої швидкості рендерингу графічних елементів на різних типах клієнтських пристроїв (планшети, ноутбуки) (HTML5 and CSS3 documentation: Modern standards: W3Schools. (n.d.), 2026; MediaPipe Hands: Google, 2019; Kassenkhan et al, 2025). Основу програмного рішення становить клієнт-серверна модель, в якій фронтенд-частина відповідає за візуалізацію ігрового середовища та первинне оброблення подій вводу, а логіку стимуляції інтегровано безпосередньо в скриптову частину додатка (рис. 3).

Технічні особливості реалізації компонентів системи (HTML5 and CSS3 documentation: Modern standards: W3Schools. (n.d.), 2026; Client-server architecture in web development: MDN Web Docs, 2026; Huraliuk, 2023; Features of UX design for children: UX Collective, 2026)

1. Структурна логіка (HTML5): використання семантичної верстки дозволило ство-

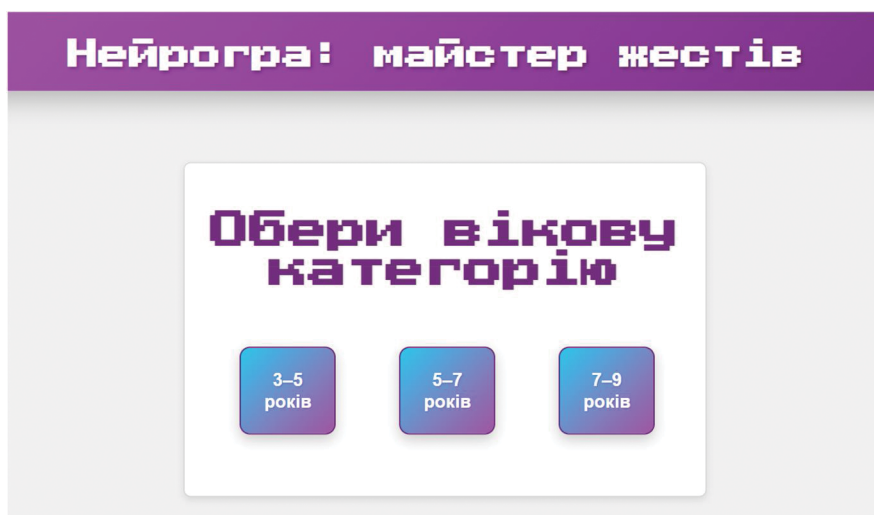


Рисунок 3. Головний екран інтерфейсу нейрогри: мінімалістичний дизайн, адаптований під когнітивні особливості цільової аудиторії

Figure 3. Main screen of the neurogame interface: minimalist design adapted to the cognitive characteristics of the target audience

рити чітку ієрархічну структуру ігрових модулів. Кожен рівень гри представлений окремим фрагментом DOM-дерева, що динамічно маніпулюється засобами мови сценаріїв. Це забезпечує оновлення ігрового контенту без перезавантаження сторінки (SPA-підхід), зберігаючи безперервність когнітивного процесу та цілісність користувацького досвіду.

2. Візуальна адаптивність (CSS3): стилізація реалізована з використанням сучасних моделей Flexbox та Grid Layout, що гарантує коректне відображення інтерфейсу на пристроях з різною роздільною здатністю. Особливу увагу

приділено колірній палітрі: обрано пастельні тони з високим контрастом для ключових елементів, що знижує зорове навантаження та відповідає ергономічним вимогам до дитячого ПЗ.

3. Функціональна динаміка (JavaScript): скриптова частина є «ядром» системи, що виконує роль контролера в архітектурній моделі застосунку. Вона керує станами гри (Game State Management), реєструє події введення та ініціює миттєвий візуальний фідбек. Саме на рівні JavaScript реалізовано інтеграцію з бібліотеками комп'ютерного зору для обробки координат ключових точок у реальному часі (рис.4).

```
// ----- Draw Landmarks -----
function drawLandmarks(landmarks){
  // Точки
  poseCtx.fillStyle = "red";
  landmarks.forEach(pt=>{
    poseCtx.beginPath();
    poseCtx.arc(pt.x*poseCanvas.width, pt.y*poseCanvas.height,5,0,2*Math.PI);
    poseCtx.fill();
  });

  // Ї'єднання ключових точок
  const connections = [
    [0,1],[1,2],[2,3],[3,4],
    [0,5],[5,6],[6,7],[7,8],
    [0,9],[9,10],[10,11],[11,12],
    [0,13],[13,14],[14,15],[15,16],
    [0,17],[17,18],[18,19],[19,20],
    [5,9],[9,13],[13,17]
  ];
  poseCtx.strokeStyle = "lime";
  poseCtx.lineWidth = 2;
  connections.forEach(pair=>{
    const [a,b] = pair;
    poseCtx.beginPath();
    poseCtx.moveTo(landmarks[a].x*poseCanvas.width, landmarks[a].y*poseCanvas.height);
    poseCtx.lineTo(landmarks[b].x*poseCanvas.width, landmarks[b].y*poseCanvas.height);
    poseCtx.stroke();
  });
}
```

Рисунок 4. Фрагмент програмного коду JavaScript, що відповідає за логіку ключових точок на руці

Figure 4. A fragment of JavaScript code implementing the hand landmark tracking logic

Система інтерактивного зворотного зв'язку: важливою частиною авторського дослідження є розроблення механізму мультимедіального візуального відгуку. Оскільки проєкт орієнтовано на розвиток на основі взаємодії, система реагує на кожну правильну дію зміною графічних станів (анімації, підсвічування, поява нагородних маркерів). Це технічно реалізовано за допомогою маніпуляції CSS-класами та подіями завершення анімацій, що створює замкнений цикл «дія – миттєвий результат», необхідний для підтримки мотивації дитини без необхідності текстових інструкцій.

Екран аналітики ігрових сесій з індикаторами точності розпізнавання жестів та динамікою успішності користувача представлено на рис. 5.

Відеодемонстрація роботи інтерфейсу з озвучкою виконаних дій представлена в <https://www.youtube.com/watch?v=hfMks1OijXw>. Архітектура передбачає модульність: кожен тип когнітивної вправи (на увагу, пам'ять чи мислення) винесений в окремий функціональний блок. Це дозволяє легко масштабувати продукт, додаючи нові сценарії без втручання в основне ядро системи. Такий підхід відповідає принци-

пам чистої архітектури в програмній інженерії та забезпечує стабільну роботу додатка навіть при обмежених апаратних ресурсах пристрою.

Інтеграція безконтактного керування в розроблену систему реалізована на основі парадигми комп'ютерного зору (Computer Vision) (далі – CV), що дозволяє перетворити відеопотік з веб-камери на масив структурованих координат. На відміну від традиційних методів введення (миша, тачскрин), використання CV забезпечує вищий рівень нейро моторного залучення, оскільки дитина змушена координувати рухи рук у тривимірному просторі перед екраном (Inclusive education and digital technologies: Ministry of Education and Science of Ukraine. (n.d.), 2026).

Технологічним фундаментом модуля став фреймворк MediaPipe Hands від Google, який функціонує безпосередньо в браузері через API TensorFlow.js. Це рішення дозволяє уникнути передачі даних на сервер, гарантуючи конфіденційність та низьку затримку (latency) обробки сигналу. Алгоритмічна база розпізнавання: процес детекції активності базується на побудові моделі з 21 ключової точки (landmarks) для

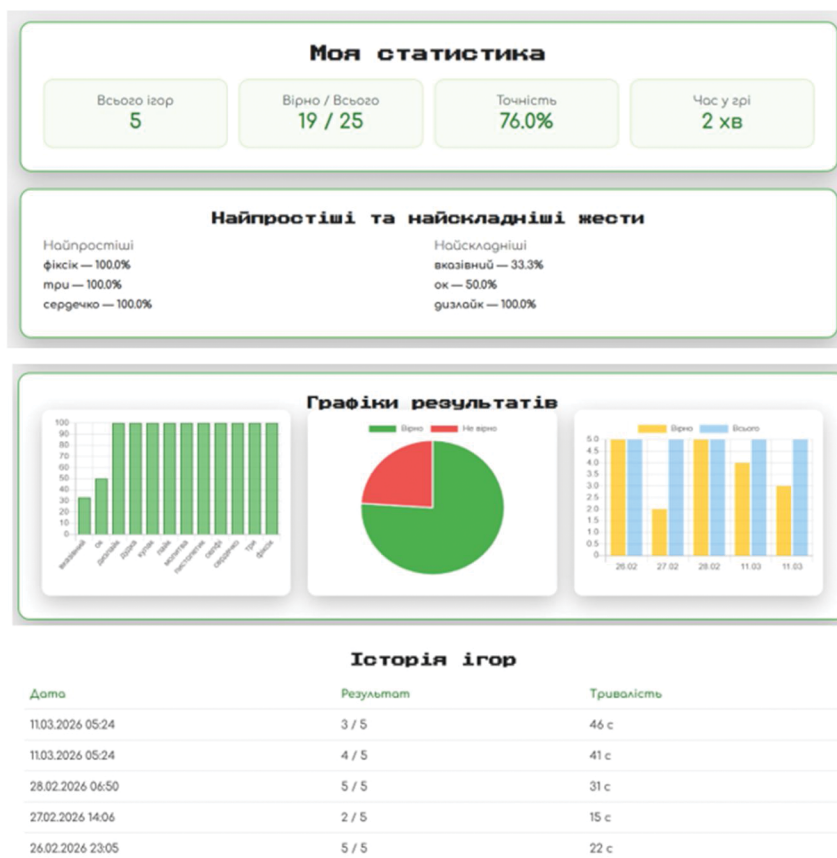


Рисунок 5. Екран аналітики ігрових сесій з індикаторами точності розпізнавання жестів та динамікою успішності користувача

Figure 5. Game session analytics screen with gesture recognition accuracy indicators and user performance dynamics.


```
// ----- On Results -----
function onResults(results){
  if(results.image){
    poseCanvas.width = results.image.width;
    poseCanvas.height = results.image.height;
  }

  poseCtx.clearRect(0,0,poseCanvas.width,poseCanvas.height);
  lastGestureScore = 0;

  if(results.multiHandLandmarks && results.multiHandLandmarks.length > 0){
    results.multiHandLandmarks.forEach(landmarks=>{
      drawLandmarks(landmarks);

      if(isGameActive && isTaskRunning){
        lastGestureScore = recognizeGesture(landmarks);

        if(lastGestureScore >= 0.7){
          evaluateGesture(true);
        }
      }
    });
  }
}
```

Рисунок 6. Алгоритм трансляції координат детекції у систему координат ігрового інтерфейсу
Figure 6. Algorithm for mapping detection coordinates into the game interface coordinate system

кожної руки (Чекан, 2024; Ярмола та ін., 2020). Для ідентифікації жестів у реальному часі система використовує навчену нейронну мережу, яка класифікує геометричні співвідношення між координатами фаланг пальців (рис. 6).

Така математична модель обробки візуальних даних забезпечує стабільну ідентифікацію жестів навіть при змінних умовах освітлення, що є критично важливим для без-

перервності ігрового процесу в домашніх чи навчальних умовах.

У розробленій системі алгоритм адаптації складності реалізовано через механізм статичних пресетів (Age-based Presets), що дозволяє системі миттєво реконфігурувати ігрове середовище під когнітивні можливості дитини (Лелека, 2026; HTML5 and CSS3 documentation: Modern standards: W3Schools. (n.d.), 2026; Базильська, 2025).

```
// ----- Age Presets -----
const AGE_PRESETS = {
  "3-5": { duration: 15, tasks: 5 },
  "5-7": { duration: 10, tasks: 10 },
  "7-9": { duration: 5, tasks: 15 }
};

// ----- Game State -----
let currentAge, taskDuration, totalTasks, currentTask = 0;
let completedTasks = 0, correctTasks = 0, taskTimer = null;
let TASK_ORDER = [];
let currentTaskObj = null;

// 📄 НОВИЙ СТАН: Результати завдань (true/false/null)
let taskResults = [];

let cameraFeed, poseCanvas, poseCtx, taskImage, taskCounter, timerEl, resultEl;
let welcomeScreen, gameScreen, summaryScreen, finalScoreEl, totalTasksEl;

// 🐛 Нові елементи для гусениці та навігаційних кнопок
let caterpillarEl, nextTaskBtn, prevTaskBtn;
```

Рисунок 7. Реалізація моделі адаптації параметрів середовища у вихідному коді
Figure 7. Implementation of the environment parameter adaptation model in the source code

Технічна реалізація: Адаптація базується на об'єкті констант

AGE PRESETS, який виконує роль керуючої матриці параметрів. Залежно від обраної вікової категорії, система динамічно змінює два критичні показники:

- duration (Таймінг): ліміт часу на розпізнавання одного жесту (від 15с для молодшої групи до 5с для старшої).
- tasks (Обсяг вибірки): кількість завдань у сесії, що регулює поріг стомлюваності.

Цей підхід дозволяє реалізувати проактивну адаптацію: система встановлює бар'єр складності ще до початку сесії, базуючись на вхідних даних про вік.

Логіка переходу між завданнями (goToNextTask) та візуальний зворотний зв'язок (showFeedback) забезпечують стабільність стану «поток», не дозволяючи дитині втратити інтерес через надмірну складність або монотонність.

Практична реалізація проекту відбувалася поетапно, що дозволило еволюційно вдосконалювати програмний продукт на основі реального користувацького досвіду. Первинне тестування прототипу було проведено на базі школи-студії робототехніки «Техноша». Цей етап став визначальним для верифікації базових алгоритмів детекції жестів. У тестуванні взяли участь 20 дітей віком від 3-9 років, зо-

крема 3-5 років 8 осіб, 5-7 років – 6 осіб, 7-9 – 6 осіб. Статевий розподіл мав вигляд хлопчиків – 14 осіб, дівчат – 6 осіб. За результатами фідбеку від учнів та викладачів систему було суттєво модернізовано: інтегровано базу даних, реалізовано адмін-панель та модуль індивідуальної статистики (рис. 8) Це дозволило перейти від простого ігрового процесу до аналітичного інструменту, що фіксує персональну динаміку когнітивного розвитку кожного користувача.

Удосконалена архітектура стала фундаментом для розширення сфери застосування нейротехнік. Оскільки система базується на безконтактній взаємодії, вона виявила високу ефективність не лише в загальних групах, а й у роботі з дітьми, які мають особливі освітні потреби (порушення опорно-рухового апарату, когнітивні розлади). Для підтвердження універсальності розробки було проведено інтерактивний турнір на базі Кременчуцького міського осередку «Союзу осіб з інвалідністю України». Подія отримала значний суспільний резонанс та була висвітлена виданням «Телеграф», як приклад успішного впровадження ШІ-технологій у соціально-освітню сферу.

Соціальна апробація дозволила оцінити технічну стабільність оновлених модулів у роботі з різними категоріями користувачів. Емпіричні дані, отримані через впроваджений модуль статистики, виявили неочікувану дина-



Рисунок 8. Результати візуального опитування дітей щодо рівня емоційного задоволення від ігрової взаємодії.

Figure 8. Visual survey results of children's emotional satisfaction levels during gameplay.

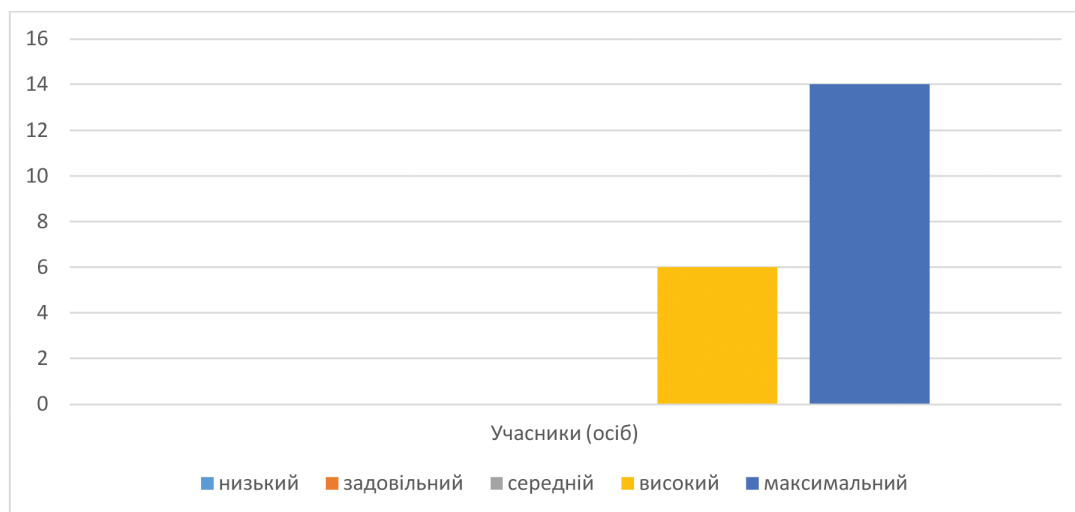


Рисунок 9. Кількісний розподіл оцінок емоційного задоволення користувачів за результатами тестування
Figure 9. Quantitative distribution of users' emotional satisfaction ratings based on testing results

міку: діти з особливими потребами продемонстрували надзвичайно високу концентрацію уваги. У багатьох випадках показники точності та швидкості реакції були співмірними або навіть вищими за результати нормотипових однокласників. Це підтверджує, що безконтактне керування нівелює фізичні бар'єри, дозволяючи кожній дитині відчути ситуацію успіху через прямий вплив на цифрове середовище.

Таким чином, шлях від технічного тестування в «Техношкі» до інклюзивної апробації довів, що поєднання комп'ютерного зору з аналітичними інструментами (БД, статистика) створює гнучке освітнє середовище. Це забезпечує рівні можливості для когнітивного розвитку дітей незалежно від їхніх початкових фізичних можливостей (Inclusive education and digital technologies: Ministry of Education and Science of Ukraine. (n.d.), 2026).

Апробація розробленої нейрогри проводиться з метою перевірки працездатності алгоритму розпізнавання жестів у реальних умовах та оцінки зручності безконтактного інтерфейсу для цільової аудиторії. Процес тестування охоплював серію ігрових сесій із дітьми віком від 3 до 9 років та анкетування батьків щодо дозволу на участь дітей у дослідженні.

Методика проведення та відеофіксація: Під час тестування особлива увага приділялася швидкості реакції системи на зміну жестів та інтуїтивності навігації без текстових підказок. Загальний перебіг випробувань, механіка взаємодії користувачів із веб-камерою та процес виконання завдань зафіксовані у відеоматеріалах Відеоматеріали, що ілюструють етапи тестування нейрогри та реакцію користувачів,

доступні за посиланням: https://youtube.com/shorts/j9DbDozscWE?si=v50QcS_ZmVAiWBf-

Для оцінювання ефективності розробки було використано метод проєктивного опитування, в якому брали участь 20 дітей молодшої вікової групи. Після завершення ігрової сесії кожен із 20 учасників заповнював анкету, обираючи один із п'яти смайликів, що найточніше відповідав їхньому внутрішньому стану. Результати опитування продемонстрували повну відсутність негативних чи нейтральних оцінок (рис. 9)

Як свідчить статистичний аналіз проведеного дослідження серед 20 респондентів, 70% учасників оцінили досвід взаємодії на найвищий бал, а решта 30% — на бал 4/5. Такі високі показники задоволеності підтверджують, що відсутність звукового супроводу не ускладнює ігровий процес, а навпаки – стимулює візуальну концентрацію та самостійність дитини.

На основі результатів апробації було сформульовано перелік рекомендацій для забезпечення максимальної ефективності нейростимуляції:

1. Світловий режим: для безпомилкової роботи модуля MediaPipe джерело світла має бути розташоване перед користувачем. Це мінімізує шуми при детекції ключових точок.

2. Дистанція взаємодії: оптимальна відстань до камери складає 0.7–1 метр, що забезпечує повне охоплення кисті руки в робочій області canvas.

3. Вибір пресету: починати взаємодію рекомендується з пресету «3–5 років» незалежно від віку, щоб користувач міг адаптуватися до специфіки безконтактного керування.

4. Тривалість занять: з огляду на високу інтенсивність когнітивного навантаження, рекомендований час безперервної гри – до 15 хвилин.

Таким чином, апробація довела технічну готовність ПЗ до експлуатації та його високу привабливість для кінцевого користувача, що підтверджується позитивними відгуками та стабільною роботою алгоритмів.

Обговорення. Отримані результати підтверджують гіпотезу про те, що безконтактна взаємодія на основі комп'ютерного зору є ефективним інструментом подолання бар'єрів у навчанні дітей з особливими освітніми потребами. Висока емоційна залученість та покращення показників концентрації уваги пояснюються синергією моторної та когнітивної активності. На відміну від традиційних освітніх програм, де дитина є пасивним споживачем контенту, розроблена нейрогра стимулює нейропластичність через необхідність координації рухів у реальному часі.

Порівнюючи результати з попередніми дослідженнями, варто відзначити їхню відповідність висновкам фахівців, які вказують на пріоритетність гейміфікації в інклюзії (Дорожко та ін, 2022; Шевченко, 2017, Брушневська, 2025). Однак, якщо більшість наявних систем потребують використання сенсорних екранів або джойстиків, що може бути складним для дітей із порушеннями дрібної моторики, наш підхід із використанням технології MediaPipe дозволяє залучити дитину до процесу через природну жестикуляцію. Це корелює з теорією безбар'єрного цифрового середовища, описаною у працях (Inclusive education and digital technologies: Ministry of Education and Science of Ukraine. (n.d.), 2026), проте наше дослідження розширює ці ідеї, впроваджуючи адаптивну складність, що підлаштовується під темп користувача.

Теоретичне значення роботи полягає в обґрунтуванні моделі нейрокомп'ютерної взаємодії як засобу когнітивної стимуляції у вебсередовищі. Практична імплікація дослідження визначається створенням доступного інструменту для педагогів та батьків, який не потребує додаткових фінансових витрат на спеціалізоване обладнання, що є критично важливим для українських інклюзивних центрів у нинішніх умовах.

Обмеженням дослідження є відносно невелика вибірка учасників (25 осіб) та короткотривалий період спостереження, що не дозволяє повною мірою оцінити стійкість сформованих когнітивних навичок у довгостроковій перспективі. Також технічним обмеженням залишається залежність якості розпізнавання жестів від рівня освітлення у приміщенні.

Напрями подальших досліджень передбачають розширення бібліотеки ігрових сценаріїв для тренування різних типів пам'яті та

впровадження алгоритмів машинного навчання для глибшого аналізу поведінкових патернів дитини під час гри. Це дозволить створити індивідуальні освітні траєкторії для кожного вихованця в умовах інклюзивної групи.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У процесі виконання дослідницької роботи було повністю реалізовано поставлені завдання, підтверджено гіпотезу дослідження та сформульовано підсумкові результати, що базуються на технічному проектуванні та практичній апробації системи.

Встановлено, що використання безконтактних інтерфейсів на основі технологій комп'ютерного зору, зокрема фреймворку MediaPipe Hands, є надзвичайно перспективним інструментом для стимуляції когнітивних навичок у дітей молодшого віку.

Перехід від пасивного споживання цифрового контенту до активної взаємодії через жести у тривимірному просторі дозволяє значно підвищити рівень нейромоторного залучення та активізувати процеси нейропластичності мозку дитини в ігровій формі.

Розроблена архітектура програмного забезпечення, що функціонує на основі системи вікових пресетів, довела свою ефективність у забезпеченні персоналізованого навчання. Завдяки динамічному регулюванню часових інтервалів та обсягу ігрових модулів, система підтримує стан стабільної зацікавленості користувача, запобігаючи виникненню когнітивного перевантаження або втраті інтересу через монотонність завдань.

Особливу роль у проекті відіграє стратегія візуальної комунікації: результати апробації підтвердили, що відсутність звукових інструкцій не створює бар'єрів для дитини, а навпаки – стимулює концентрацію уваги та розвиває здатність до самостійного аналізу візуальних патернів через миттєвий графічний зворотний зв'язок.

Емпіричне дослідження продемонструвало винятково позитивний психоемоційний відгук цільової аудиторії. Використання проективного методу оцінки за допомогою шкали смайликів показало, що сто відсотків учасників відчули високий або максимальний рівень задоволення від гри. Такий розподіл результатів свідчить про успішну реалізацію ігрових механік та високу ергономічність розробленого інтерфейсу.

Практичне спостереження за процесом взаємодії користувачів із системою наочно підтвердило, що запропонований підхід є інтуїтивно зрозумілим і викликає щирий інтерес у дітей, що є ключовим показником успішності освітнього програмного продукту.

Отже, результати роботи повністю підтвердили висунуту гіпотезу: інтерактивна нейрогра, інтегрована з алгоритмами штучного інтелекту, є ефективним сучасним засобом для розвитку когнітивних здібностей, що забезпечує оптимальний баланс між викликом та досяжністю успіху.

Даний підхід відкриває нові перспективи для програмної інженерії в освітній галузі, дозволяючи створювати доступні, адаптивні та високотехнологічні рішення для комплексного розвитку майбутніх поколінь в умовах інтенсивної цифровізації сучасного інформаційного простору.

REFERENCES

- Bazylska, T. O. (2025). Gamification of the learning process of stylization basics [Heimifikatsiia protsesu navchannia osnovam stylizatsii]. Pedahohichna akademiia. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15844639> [in Ukrainian]
- Brushnevska, I. M. (2025). Rozvyvalni ihrovi tekhnolohii yak zasib aktyvizatsii movlennievoho rozvytku ditei [Developmental game technologies as a means of activating children's speech development]. In Proceedings of the International Scientific Conference of Kharkivskiy Natsionalnyi Pedahohichnyi Universitet imeni H. S. Skovorody (pp. 59–62). Kharkiv. [in Ukrainian]
- Chekan, O. I. (2024). Movlianka: kompiuternyi prohramno-pedahohichnyi zasib dlia rozvytku movlennievoi sfery u ditei z OOP doshkilnoho viku [Movlianka: Computer software and pedagogical tool for the development of speech sphere in preschool children with SEN]. Inclusion and Diversity, (3), 82–86. <https://doi.org/10.32782/inclusion/2024.3.15> [in Ukrainian]
- Dorozhko, I. I., Malykhina, O. Ye., & Turishcheva, L. V. (2022). Rozvytok komunikatyvnykh umin ditei z OOP v umovakh inkliuzyvnoho navchannia [Development of communicative skills of children with SEN in conditions of inclusive education]. Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu, (4), 134–138. <https://doi.org/10.32782/psy-visnyk/2021.4.26> [in Ukrainian]
- Google. (2019). MediaPipe Hands: On-device real-time hand tracking. Google AI Blog. Retrieved April 14, 2026, from <https://ai.googleblog.com/2019/08/on-device-real-time-hand-tracking-with.html>
- Huraliuk, A. H. (2023). Shtuchnyi intelekt yak innovatsiina informatsiina tekhnolohiia u pedahohichnykh doslidzhenniakh [Artificial intelligence as an innovative information technology in pedagogical research]. Analitichnyi visnyk, (18), 67–79. [in Ukrainian]
- Kassenkhan, A., Moldagulova, A., & Serbin, V. V. (2025). Gamification and artificial intelligence in education. IEEE Access, 13, 98699–98728. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3576147>
- Khan Academy. (2026). Khan Academy Kids: Early learning resources. Retrieved April 14, 2026, from <https://www.khanacademy.org/kids>
- Kovshar, O. V. (2016). Teoretyko-metodychni zasady orhanizatsii peredshkilnoi osvity ditei piaty rokiv [Theoretical and methodological foundations of organizing preschool education for five-year-old children] (Doctoral dissertation, Pivdenoukrainskyi natsionalnyi pedahohichnyi universytet imeni K. D. Ushynskoho). Retrieved March 22, 2026, from <http://dspace.pdpu.edu.ua/bitstream/123456789/1309/1/file.pdf> [in Ukrainian]
- Leleka, O. (n.d.). Kohnityvni protsesy u ditei [Cognitive processes in children]. Psychology.space. Retrieved April 2, 2026, from <https://psychology.space/psypedia-post/kognityvni-proczesy-u-ditej/> [in Ukrainian]
- MDN Web Docs. (n.d.). Klient-serverna arkhitektura u vebproiektuvanni [Client-server architecture in web development]. Retrieved March 20, 2026, from https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/Server-side/First_steps/Introduction
- Ministry of Education and Science of Ukraine. (n.d.). Inkliuzyvna osvita ta tsyfrovi tekhnolohii [Inclusive education and digital technologies]. Retrieved April 15, 2026, from <https://mon.gov.ua/ua/tag/inklyuzivna-osvita> [in Ukrainian]
- Papish, O. (n.d.). Heimifikatsiia v osviti: yak zaluchyty dytnu do navchannia [Gamification in education: How to engage a child in learning]. Osvitoria.media. Retrieved March 11, 2026, from <https://osvitoria.media/experience/gejmifikatsiya-v-osviti/> [in Ukrainian]
- Shevchenko, Yu. V. (2017). Sotsializatsiia ditei z osoblyvymy potrebamy v umovakh inkliuzyvnoi osvity v Ukraini [Socialization of children with special needs in conditions of inclusive education in Ukraine]. Aktualni pytannia korektsiinoi osvity, 9(2), 280–289. [in Ukrainian]
- Speech Blubs. (2026). Speech Blubs: Speech therapy technology. Retrieved April 15, 2026, from <https://speechblubs.com/blog/technology/>
- Sydorenko, Yu. V. (2025). Rozvytok kohnityvnykh navychok ditei starshoho doshkilnoho viku yak umova efektyvnoi pidhotovky do navchannia v Novii ukrainskii shkoli [Development of cognitive skills in older preschool children as a prerequisite for effective preparation for learning in the New Ukrainian School] (Unpublished master's thesis, specialty 012 Preschool Education). National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov, Mykolaiv, Ukraine. [in Ukrainian]

- TensorFlow. (2026). TensorFlow.js: Machine learning in JavaScript. Retrieved April 17, 2026, from <https://www.tensorflow.org/js>
- UNICEF. (n.d.). Etychni aspekty vykorystannia ShI v dytiachykh produktakh [Ethical aspects of AI use in children's products]. Retrieved March 19, 2026, from <https://www.unicef.org/globalinsight/featured-projects/ai-children> [in Ukrainian]
- UX Collective. (2026). Osoblyvosti UX-dyzainu dlia ditei [Features of UX design for children]. Retrieved April 16, 2026, from <https://m.uxdesign.cc/ux-design-for-children/> [in Ukrainian]
- W3Schools. (n.d.). Dokumentatsiia HTML5 ta CSS3: suchasni standarty [HTML5 and CSS3 documentation: Modern standards]. Retrieved March 18, 2026, from <https://www.w3schools.com/> [in Ukrainian]
- Yarmola, N., Koval-Bardash, L., Kompanets, N., Kvitka, N., & Lapin, A. (2020). Dity z osoblyvymy osvitnimy potrebamy u zahalnoosvitnomu prostori [Children with special educational needs in the general educational space]. Kyiv: ISPP. [in Ukrainian]

Декларація про використання інструментів штучного інтелекту. Назва інструменту: *MediaPipe (Google Open Source)*.

Мета використання: Реалізація технічного функціоналу об'єкта дослідження – ідентифікація та трекінг ключових точок руки користувача (*hand landmarks*) у реальному часі для забезпечення безконтактного керування вебзастосунком.

Характер внеску ШІ: Використання попередньо навчених нейромережових моделей (*BlazePalm*) для обробки відеопотоку та отримання координат детекції, що стали основою для експериментальної частини дослідження. Засоби генеративного ШІ для автоматичного написання чи редагування тексту статті не використовувалися.

Подяки. Висловлюю щирю вдячність практичному психологу Комунального закладу вищої освіти «Кременчуцька гуманітарно-технологічна академія» Полтавської обласної ради Ю. Парнюк за фахове консультування та підготовку рецензії, що дало змогу уточнити психолого-педагогічні аспекти дослідження.

Особливу подяку висловлюємо вчителю інформатики В. Турченку за професійні консультації, технічні поради та підтримку в реалізації програмної частини проєкту.

Висловлюємо щирю вдячність фахівцям Кременчуцької міської організації «Всеукраїнська організація Союз осіб з інвалідністю України» за допомогу в організації практичної перевірки системи та проведення спеціалізованого турніру, що став ключовим етапом апробації нейротехнік.

Також щиро дякуємо колективу Комунальної установи «Інклюзивно-ресурсний центр №2» Кременчуцької міської ради, зокрема психологам, логопедам та дефектологам, за професійну експертизу, допомогу у формуванні репрезентативної вибірки учасників та вагомий внесок в оцінювання результативності розробленого методу когнітивної стимуляції.

Фінансування. Дослідження не мало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису.

Внесок авторів. Всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

Отримано: 20.03.2026

Переглянуто: 28.04.2026

Прийнято: 12.05.2026

Опубліковано: 30.06.2026

Veronika Vielkina

graduate of the professional pre-higher education¹

<https://orcid.org/0009-0007-3008-9033> vero25806969nika@gmail.com

Vitalii Shamrai

highest qualified teacher, teacher-methodologist¹

<https://orcid.org/0009-0001-9659-6608> v.t.shamray@gmail.com

¹ Municipal institution of higher education «Kremenchuk Humanitarian and Technological Academy» of the Poltava Regional Council
33 Valentyna Fedko St., Kremenchuk, Ukraine, 39600

GAME-BASED NEUROTECHNOLOGIES AS A MEANS OF COGNITIVE DEVELOPMENT IN CHILDREN WITHIN INCLUSIVE AND GENERAL EDUCATIONAL SETTINGS

The article examines the potential of game-based neurotechnologies as an innovative means of stimulating cognitive development in children aged 3–9 years within general and inclusive educational environments. The relevance of this study is driven by the need to transform educational methods in the digital age and by the search for barrier-free technologies that promote neuroplasticity through active sensorimotor engagement. The aim of the research is the development and piloting of a web application grounded in computer vision and artificial neural network technologies, designed to create a system of contactless interaction between the child and digital content. The study employed methods of theoretical analysis of psychophysiological literature, object-oriented software architecture design, as well as empirical methods of observation and testing. The sample consisted of groups of neurotypical children and children with special educational needs based at an inclusive resource centre. The principal outcomes of the study were the implementation of a web application featuring adaptive difficulty logic that identifies user gestures in real time, transforming gameplay into a trainer for cognitive processes. Experimental validation confirmed a high level of emotional engagement among participants and the effectiveness of activating cognitive activity through the synergy of cognitive effort and motor activity. The conclusions demonstrate that the use of artificial intelligence eliminates the physical barriers inherent in traditional learning and ensures equal opportunities for intellectual growth for every child. The practical significance of the work lies in the creation of an accessible toolkit for educators and rehabilitation specialists, enabling the implementation of an inclusive approach grounded in the latest advances in neuroscience and information technology.

Keywords: artificial intelligence; inclusivity; computer vision; adaptive learning; cognitive stimulation; game-based neurotechnologies; visual-motor coordination.

AI Use Declaration. Tool name: MediaPipe (Google Open Source).

Purpose of use: Implementation of the technical functionality of the research object - identification and tracking of key points of the user's hand (hand landmarks) in real time to ensure contactless control of the web application.

Nature of AI contribution: Use of pre-trained neural network models (BlazePalm) to process the video stream and obtain detection coordinates, which became the basis for the experimental part of the study. Generative AI tools were not used to automatically write or edit the text of the article.

Acknowledgements. I express my sincere gratitude to the practical psychologist of the Municipal Institution of Higher Education «Kremenchuk Humanitarian and Technological Academy» of the Poltava Regional Council, Yu. Parnyuk, for professional advice and preparation of the review, which made it possible to clarify the psychological and pedagogical aspects of the study.

We express special gratitude to the computer science teacher V. Turchenko for professional advice, technical advice and support in implementing the program part of the project.

We express our sincere gratitude to the specialists of the Kremenchuk city organization «All-Ukrainian Organization of the Union of Persons with Disabilities of Ukraine» for their help in organizing a practical test of the system and holding a specialized tournament, which became a key stage in the testing of neurotechnologies.

We also sincerely thank the staff of the Municipal Institution «Inclusive Resource Center No. 2» of the Kremenchuk City Council, in particular psychologists, speech therapists and defectologists, for their professional expertise, assistance in forming a representative sample of participants and a significant contribution to assessing the effectiveness of the developed cognitive stimulation method.

Funding. The study did not receive external funding.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this manuscript.

Authors' contribution. All authors made an equal contribution to this work.

Received: 20.03.2026

Reviewed: 28.04.2026

Accepted: 12.05.2026

Published: 30.06.2026