

ЦИФРОВІ ОСВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ У НАВЧАННІ ДІТЕЙ З ПОРУШЕННЯМИ ЗОРУ: ПОТЕНЦІАЛ, ВИКЛИКИ ТА ПЕДАГОГІЧНІ РИЗИКИ

DIGITAL EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN TEACHING CHILDREN WITH VISUAL IMPAIRMENTS: POTENTIAL, CHALLENGES AND PEDAGOGICAL RISKS

У статті проаналізовано використання цифрових технологій в освітньому процесі дітей з порушенням зору. Виокремлено позитивні практики та труднощі у використанні різноманітних технологій. Розглянуто сучасні інструменти – допоміжні технології, мобільні застосунки, сенсорні пристрої, персоналізовані чатботи – як засоби підтримки просторового орієнтування, доступу до інформації, розвитку когнітивних функцій та емоційно-мотиваційної сфери учнів з порушенням зору. Ґрунтуючись на сучасних емпіричних дослідженнях, продемонстровано, що ключовими чинниками ефективної інтеграції цифрових технологій в освітній процес є простота використання, адаптивність, соціальна мова інтерфейсу, проактивність технологій та цифрова компетентність користувачів. Особливу увагу приділено педагогічному супроводу та необхідності професійної підготовки вчителів до використання новітніх цифрових рішень.

Доведено, що ефективність цифрових рішень значно зростає за умови їхньої адаптації до когнітивних та емоційних особливостей дітей з порушенням зору. Виявлено, що без професійної підтримки педагогів цифрові інструменти можуть не лише втратити навчальну ефективність, а й поглибити бар'єри інклюзії. Підкреслено, що успішна цифрова інклюзія потребує не лише технологічної інфраструктури, а й чутливості до досвіду дитини як унікального суб'єкта навчання. Поряд з перевагами виокремлено й потенційні ризики використання цифрових технологій: технологічне перевантаження, зниження мотивації у разі неадекватної адаптації, можливе емоційне відчуження та бар'єри, пов'язані з низькою якістю дизайну або відсутністю зворотного зв'язку.

Ключові слова: інклюзивна освіта, порушення зору, цифрові технології, допоміжні засоби, чатботи в освіті, педагогічна під-

тримка, технологічна інклюзія, мотивація до навчання, доступність навчання.

This article analyzes the use of digital technologies in the educational process of children with visual impairments. Positive practices and challenges related to the use of various technologies are highlighted. Modern tools—including assistive technologies, mobile applications, sensory devices, and personalized chatbots—are examined as means of supporting spatial orientation, information access, cognitive development, and the emotional-motivational sphere of students with visual impairments. Drawing on recent empirical studies, the article demonstrates that key factors for the effective integration of digital technologies into the educational process include ease of use, adaptability, socially oriented interface language, technological proactivity, and the digital competence of users. Particular attention is paid to pedagogical support and the need for professional training of teachers in the use of emerging digital solutions.

It is argued that the effectiveness of digital tools significantly increases when they are adapted to the cognitive and emotional characteristics of children with visual impairments. The study reveals that without professional pedagogical support, digital tools may not only lose their educational efficacy but also exacerbate inclusion barriers. The article emphasizes that successful digital inclusion requires not only technological infrastructure but also sensitivity to the child's experience as a unique subject of learning. Alongside the advantages, potential risks of digital technology use are identified: technological overload, decreased motivation in cases of inadequate adaptation, possible emotional alienation, and barriers related to poor design quality or lack of feedback.

Key words: inclusive education, visual impairment, digital technologies, assistive tools, educational chatbots, pedagogical support, technological inclusion, learning motivation, educational accessibility.

УДК 376.1:004.9:37.091.3

DOI <https://doi.org/10.32782/ip/85.2.8>

Купрас В.В.,

канд. пед. наук,
директор

Комунального закладу освіти
«Спеціальна школа № 12»

Дніпропетровської обласної ради»

Зозуля Н.В.,

заступник директора
з навчальної роботи

Комунального закладу освіти
«Спеціальна школа № 12»

Дніпропетровської обласної ради»

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Цифрові технології поступово стають невід'ємною складовою освітнього процесу, відкриваючи нові можливості для навчання дітей з особливими освітніми потребами. Діти з порушенням зору, які стикаються з численними бар'єрами у традиційній освіті, мають шанс отримати більш якісний, адаптивний і доступний освітній досвід завдяки впровадженню цифрових інструментів. Допоміжні технології, мобільні додатки, мультимедійні платформи та сенсорні інтерфейси створюють потенціал для подолання обмежень зорового сприйняття, розширення навчальних можливостей і підвищення автономії учнів. Таким чином, у контексті активного впровадження цифрових технологій в освітню

практику виникає необхідність системного аналізу нових можливостей і потенційних ризиків, що враховує не лише технічні, а й психологічні, соціальні та педагогічні чинники, що і зумовлює актуальність даного дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сучасні дослідження свідчать про зростаючу роль цифрових технологій у підтримці осіб із порушеннями зору, особливо в освітньому середовищі [1–4]. Роботи Yağanoğlu i Köse [19], а також Shimoyama T., Oka M., Kuroda T. демонструють застосування вібраційних пристроїв для покращення навігації та орієнтації в просторі [16]. Деякі сучасні розвідки, як-от Lavric A., Beguni C., Zadobrischi E., Căilean A.-M., Avătmăniței S.-A. [12] та Preeti K., Sapan H. M., Jitali P.,

Mayank K., Neel, L. зосереджуються на потенціалі штучного інтелекту й технологій видимого світла у створенні інклюзивних систем орієнтування, розпізнавання та комунікації [15]. Flores R. A., del Rio Guerra M. S. узагальнюють найновіші розробки у сфері гаптичних пристроїв для осіб з порушенням слуху, що частково перетинається з інтересами адаптації для незрячих [10]. Інші публікації, такі як Alshurideh M., Al Kurdi B., Salloum S. A., Al-Emran M., & Shaalan, K. [6] та Chocarro R., Cortiñas M., Marcos-Matás G. висвітлюють загальні тенденції впровадження ІКТ у навчання та прийняття нових технологій освітянами, що є важливим для розробки ефективних інклюзивних рішень [7].

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Попри те, що цифровізація є одним із пріоритетних напрямів розвитку освіти, все ще недостатньо уваги приділено питанням використання нових цифрових методів навчання для дітей із порушенням зору.

Мета статті – дослідити потенціал цифрових технологій у контексті інклюзивної освіти дітей з порушенням зору, проаналізувати можливості їх застосування для підвищення доступності, ефективності та індивідуалізації навчального процесу. Для досягнення мети, було сформульовано наступні завдання: проаналізувати сучасні цифрові технології, що застосовуються в інклюзивній освіті дітей з порушенням зору, зокрема допоміжні пристрої, мобільні додатки та сенсорні інтерфейси; оцінити потенціал цифрових інструментів щодо підвищення доступності навчального контенту, розвитку когнітивних функцій і формування автономності учнів із порушеннями зору; виявити основні ризики, пов'язані з впровадженням цифрових рішень у навчальний процес, включно з технічними, психоемоційними та соціальними чинниками.

Виклад основного матеріалу. Методологія навчання дітей із порушенням зору є доволі складною за своїм змістом, однак шалений темп розвитку штучного інтелекту та інженерії, зрештою дозволяють виробити безліч підходів та технологічних рішень щодо підтримки осіб з порушеннями зору [8]. Практика інтеграції комп'ютерних технологій у спеціальні освітні програми України розпочалася ще на початку ХХІ століття [4]. Як правило йшлося про застосування візуальних симуляторів, адаптивних моделей для засвоєння просторових уявлень та розробку наочних графічних систем. Так, українські дослідники Потапюк Л. та Димарчук О. у контексті вивчення особливостей інклюзивної освіти, пропонують систематизувати основні типи інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), розділивши їх на: програмне забезпечення для озвучення тексту, мультимедійні платформи й адаптивні навчальні програми. Автори підкреслюють, що правильне використання ІКТ не лише покращує

академічні результати дітей із порушенням зору, а й сприяє розвитку когнітивних функцій завдяки візуально-компенсаторним та аудіо-орієнтованим методикам [3]. З початком пандемії особливої актуальності набули дослідження дистанційної підтримки дітей з порушеннями зору. Наприклад, Костенко Т. та Довгопола К. акцентують увагу на важливості системного підходу до цифрової допомоги родинам таких дітей. У їхньому дослідженні акцентовано, що ефективна робота з ІКТ можлива лише за умов фахового супроводу, індивідуального підбору інструментів та тісної взаємодії з батьками. Особливу увагу авторки приділяють психологічному компоненту навчання та необхідності розвитку цифрової компетентності дорослих членів родини [1].

Михальська С., Старик С., Докучина Т. подають структурований огляд сучасних ІКТ, зокрема мультимедійних платформ, віртуальних середовищ, проєкторних рішень, звукозаписних засобів, які використовуються у роботі з дітьми з особливими освітніми потребами. Дослідниці підкреслюють, що ІКТ сприяють формуванню навчальної мотивації та забезпечують інтерактивність, що є критично важливим для сенсорної компенсації у дітей з порушенням зору [2].

Закордонні дослідження більшою мірою зосереджені на дослідженнях допоміжних технологій, мобільних додатків, використання мультимедійних платформ та сенсорних інтерфейсів у інклюзивному навчанні. Наприклад, Kelly S. підкреслює, що цифрові пристрої значно розширюють доступ до інформації, допомагають подолати бар'єри традиційної освіти та сприяють більшій автономії учнів. Ефективність використання технологій на думку автора, багато в чому залежить від їх адаптації під індивідуальні потреби користувача. Водночас йдеться і про певні ризики, пов'язані з недостатньою підготовкою педагогів і учнів до використання складних пристроїв. Технічні проблеми, брак навчальних матеріалів, а також обмежений доступ до якісного технічного забезпечення створюють труднощі, які можуть стримувати повне впровадження інноваційних допоміжних технологій у навчальний процес [11].

У сучасному контексті розвитку цифрових технологій особливого значення набувають мобільні інноваційні рішення, спрямовані на підтримку осіб із порушеннями зору та мобільності. Аналіз наявних технологій, проведений Fernandes J., Machado J., Duarte J., Peixoto H., свідчить про істотний прогрес у сфері мобільних застосунків, які відіграють ключову роль у підвищенні доступності, автономності та соціальної інтеграції таких осіб. До найвагоміших досягнень останніх років, на думку авторів, належать рішення, що базуються на розпізнаванні об'єктів у реальному часі, наданні візуальної допомоги та використанні краудсорсингових платформ

для картографування доступності об'єктів інфраструктури. Зокрема, мобільні застосунки *Be My Eyes* та *TapTapSee* забезпечують користувачам оперативну візуальну підтримку в реальному часі, дозволяючи ідентифікувати об'єкти, текст чи просторове оточення за допомогою знімків, що обробляються волонтерами або алгоритмами розпізнавання. Інші приклади, зокрема *Wheelmap* та *iAccess Life*, спрямовані на виявлення та оцінку доступності публічних місць, що дає змогу користувачам заздалегідь планувати переміщення, зважаючи на бар'єри або наявні умови. Такі рішення суттєво зменшують потребу в зовнішній допомозі, формують відчуття безпеки та сприяють ширшому включенню до суспільного життя [9].

Дещо схоже дослідження провели Alabi A. та Mutula S. Дослідники здійснили контент-аналіз 14-ти практик використання допоміжних технологій, які використовуються студентами із порушеннями зору в академічних бібліотеках, зокрема Массачусетського технологічного інституту (MIT), Гарвардського університету та Оксфордського університету. Основні напрями застосування технологій, виявлені у дослідженні, включають екранні рідери, системи оптичного розпізнавання символів та програмне забезпечення для збільшення тексту, мобільні додатки для візуальної допомоги, а також аудіоматеріали та системи резервного запису лекцій. Значну увагу дослідники приділили не лише технічним засобам, але й політикам доступності, що охоплюють розробку технологічних планів, бюджетування та навчання персоналу бібліотек. Результати засвідчили суттєве посилення автономності студентів із порушеннями зору завдяки можливості самостійно знаходити, опрацьовувати й використовувати навчальні матеріали. Водночас ефективність впровадження цифрових технологій виявилася тісно пов'язаною з інтегрованим підходом, що поєднує наявність обладнання, програмного забезпечення та кваліфікованого навчання співробітників [5].

Liu, A., Ma, E., Wang, Y.-C., Xu, S., Grillo, T. також переконані, що використання штучного інтелекту і цифрових технологій забезпечує більшу автономію, що безпосередньо корелює з освітніми практиками щодо формування цифрової інклюзії. О цифрових ресурсів може поглибити соціальні нерівності серед учнів [13].

У нещодавньому дослідженні Puthu Vedu S. Z., Altulyan M., Singh K. використано технологію азбуки Морзе для полегшення спілкування з глухосліпими дітьми. Рухи губ мовця перетворюються на текст за допомогою методів глибокого навчання 3D-згорткової нейронної мережі та мережі з двостороннім поширенням сигналу з довгою короткочасною пам'яттю. Експериментальні оцінки цієї моделі перетворення тексту показують коефіцієнт помилок слів 2% та коефіцієнт точності 98%.

Далі текст перетворюється на азбуку Морзе та передається дитині через портативний пристрій. Значення цього допоміжного інструменту полягає в його непомітному дизайні, що нагадує смартфон. Діти можуть впевнено носити запропонований допоміжний пристрій, не відчуваючи знякості чи сорому [14].

Дослідники Preeti K., Sapan H. M., Jitali P., Mayank K., Neel, L. аналізують сучасний спектр різноманітних технологій, які використовуються для осіб із порушеннями зору: технології комп'ютерного зору, яка має потенціал щодо можливості покращення інклюзії та доступності простору; методології виявлення об'єктів та перетворення тексту на мовлення; допоміжні системи для людей з вадами зору, що охоплюють широкий спектр технологій, включаючи засоби для пересування, інструменти доступу до інформації, освітню підтримку, рішення для працевлаштування та покращення соціальної інтеграції, наприклад екстрені технічні засоби (ЕТЗ) [15].

У дослідженні Flores R. A., del Rio Guerra M. S. йдеться про сучасні розробки у сфері технологій, які можуть бути вмонтовані у предмети одягу або аксесуари та haptic-пристроїв, розроблених для осіб із порушеннями слуху. Незважаючи на початкову орієнтацію на іншу нозологічну групу, результати мають значну евристичну цінність і для розуміння потенціалу сенсорної заміни в освітньому процесі дітей з порушенням зору. Наприклад, застосовуючи PRISMA-методологію, авторам вдалося систематизувати 55 релевантних публікацій (2017–2022 рр.) з провідних наукових баз, охопивши такі ключові теми, як використання в інклюзивній освіті сенсорних інтерфейсів, вібраційного та електротактильного зворотного зв'язку, локалізація звуку та передача музичних сигналів через тактильні канали. Основна ідея дослідження полягає в розгляді haptic-пристроїв як альтернативного каналу сприйняття звукової інформації. У таблиці 1 наведено основні аспекти вивчення haptic-пристроїв у контексті інклюзії на прикладі згаданого дослідження [10].

Як бачимо, кожен пристрій може адаптуватися під потреби дітей з порушенням зору – через сенсорну компенсацію, просторове орієнтування, емоційне збагачення. Ці технології забезпечують потребуючій дитині здатність розпізнавати сигнали тривоги, орієнтуватися у просторі завдяки локалізації звуку, а також інтегруватися у культурні практики, наприклад, через сприйняття музики у вигляді тактильного ритму. Утім, як слушно підкреслюють автори, ефективність використання тактильних пристроїв залежить від анатомічних особливостей користувача, точності позиціонування сенсорів та контексту використання. Також, на переконання дослідників, існує потреба в стандартизації протоколів тактильного кодування, особливо для

дидактичних цілей. Не менш важливим є також дотримання етичних норм щодо збереження конфіденційності аудіоінформації, яка обробляється пристроєм.

У контексті розвитку цифрових освітніх середовищ особливої уваги набуває також дослідження ефективності мобільного навчання (m-learning) для осіб із порушеннями зору. Alshurideh M., Al Kurdi B., Salloum S. A., Al-Emran M., & Shaalan, K. пропонують комплексний підхід до аналізу чинників, що впливають на використання мобільних навчальних систем, застосовуючи як метод структурного моделювання, так і алгоритми машинного навчання. У вибірці дослідження були представлені користувачі мобільних навчальних платформ, включно з особами, що мають сенсорні порушення, зокрема зниження або втрату зору. Аналіз результатів виявив, що серед основних детермінант використання m-learning найвищу вагу мають такі чинники, як перцепція корисності, зручність інтерфейсу, технологічна мотивація, а також суб'єктивні норми. За даними PLS-SEM-моделі, саме ці змінні найсильніше корелюють із формуванням наміру до використання технології. Зі свого боку, алгоритми машинного навчання продемонстрували високу точність (понад 85%) у прогнозуванні фактичної поведінки користувачів щодо використання навчальних мобільних платформ. Це відкриває нові перспективи для персоналізації освітніх інтерфейсів відповідно до специфіки користувацьких профілів [6].

Дослідження також підкреслює критичне значення адаптації цифрових інтерфейсів до потреб осіб з порушенням зору. Позитивним аспектом є акцент на доступності, що проявляється у використанні екранів з високим контрастом, підтримці голосових інтерфейсів, а також забезпеченні тактильного зворотного зв'язку. Утім, автори

застерігають щодо потенційного технічного відторгнення з боку користувачів, якщо дизайн інтерфейсу не відповідає їхнім особливим потребам. Це вимагає гнучких рішень і ретельної адаптації під індивідуальні обмеження.

Не менш цікавим є дослідження Chocarro R., Cortiñas M., Marcos-Matás G. щодо ставлення викладачів до впровадження чатботів у навчанні, з опорою на модель прийняття технологій. Дослідницька вибірка охопила понад 320 вчителів з університетського та шкільного секторів, що забезпечує високу репрезентативність отриманих результатів. Ключові результати свідчать, що сприйняття простоти використання є критичним предиктором оцінки корисності чатботів у педагогічній діяльності. Водночас соціальна мова, тобто стилістика та персоналізація комунікації, а також проактивність чатбота (здатність ініціювати підказки або пропозиції) позитивно впливають на готовність викладачів до впровадження таких рішень. Автори підкреслюють, що індивідуальні особливості користувачів – вік, рівень цифрової компетентності тощо мають статистично значущий вплив на прийняття чатботів як ефективного освітнього інструменту. З точки зору практичного застосування, дослідження демонструє потенціал чатботів як асистивної технології, здатної зменшити когнітивне та часові навантаження на вчителів, а також підтримати інклюзивність у класі через моделювання емпатичної, «людяної» взаємодії. Зокрема, у випадку з учнями з порушенням зору чатботи можуть виступати як посередники адаптованої комунікації. Разом із тим, автори звертають увагу на ризики, пов'язані з недостатнім рівнем технічної підготовки педагогів і потенційним сприйняттям ботів як «неприродних» або «відсторонених» суб'єктів взаємодії, що може мати демотивуючий ефект на учнів [8].

Таблиця 1

Огляд haptic-пристроїв

Категорія	Пристрої	Частина тіла	Призначення	Підтримка інклюзії
Вібраційні браслети	браслет для визначення важливих звуків	Зап'ястя	Оповіщення про звуки у навколишньому середовищі	Допомагає орієнтуватися у просторі при слабкому зорі
Жилети з тактильним фідбеком	жилет для асистування у виконанні музики	Торс	Передача емоцій, ритму або сигналів через тіло	Розширює доступ до музичного досвіду, підтримує емоційне сприйняття
Шоломи / ремені	шолом для локалізації звуку	Голова, талія	Орієнтація в напрямку джерела звуку	Допомагає дітям визначати джерела звуку в навколишньому середовищі
Рукави / рукавички	рукав або накладка, яку надягають на руку чи передпліччя, що має вбудовані пристрої з тактильним зворотним зв'язком	Плече/рука	Асистування в сприйнятті фону та мовлення	Може бути адаптоване для програм читання, мовних вправ
Музичні haptic-пристрої	музичні рукави для сприйняття ритму через вібрацію	Тіло	Передача музичних патернів через вібрації	Підтримує культурну інклюзію, розкриває інтерес до музики

Джерело: Складено авторами на основі [9; 10; 17].

Загалом, на основі аналізу наукових джерел із теми нами було виокремлено ряд можливостей та ризиків щодо використання технологій у навчанні дітей із порушенням зору. Так, серед можливостей можна виокремити: підвищення доступності навчального контенту допоміжних технологій (екрани Брайля, зчитувачі тексту, аудіоопис тощо) забезпечують доступ до інформації на рівні з іншими учнями; стимуляція когнітивного розвитку (дослідження свідчать про позитивний вплив цифрових технологій на розвиток виконавчих функцій, просторового мислення та сенсомоторної координації учнів); підвищення автономії та мотивації (персоналізовані інтерфейси та мобільні додатки сприяють самостійному навчанню, підвищують зацікавленість та залучення до освітнього процесу); розширення каналів взаємодії з середовищем (тактильні інтерфейси (наприклад, вібраційні браслети або «phonemic sleeve» полегшують просторову орієнтацію учнів із порушенням зору; інноваційні підходи до навчання за участі ШІ та систем комп'ютерного зору (новітні дослідження пропонують використання алгоритмів штучного інтелекту та технологій видимого світла для створення «розумних» навігаційних систем); можливість соціальної інтеграції через спільні цифрові активності (музичні платформи або гейміфіковані інтерфейси із тактильним супроводом сприяють участі у колективній діяльності).

Серед найочевидніших ризиків використання технологій в інклюзивному навчанні можна виокремити технологічне відчуження (за відсутності належної підтримки цифрові рішення можуть викликати почуття ізоляції або неспроможності); зниження мотивації через складність у використанні (ненадійні інтерфейси, відсутність зворотного зв'язку та непродуманий дизайн іноді лише посилюють бар'єри у навчанні); недостатня адаптація до індивідуальних потреб (стандартизовані ІКТ-рішення часто не враховують широкий спектр сенсорних, когнітивних і психологічних особливостей дітей з порушенням зору); залежність від технічної інфраструктури (проблеми з інтернетом, енергозабезпеченням або програмним забезпеченням можуть призводити до зривів навчального процесу); відсутність готовності освітян до роботи з новими технологіями (педагоги не завжди мають достатню підготовку або мотивацію для ефективного впровадження ІКТ в інклюзивне навчання).

Висновки. Отже, можемо підсумувати, що використання цифрових технологій в освітньому процесі дітей з порушенням зору відкриває значні нові можливості, що трансформують традиційні бар'єри у навчанні. Допоміжні технології, мобільні додатки, персоналізовані інтерфейси та сенсорні пристрої забезпечують доступність інформації, підвищують автономію учнів та стимулюють їхню мотивацію до навчання. Сучасні дослідження свідчать про ефективність таких інструментів

у покращенні когнітивних функцій, розвитку навичок і залученні до освітнього процесу. Разом із тим, ці технології несуть із собою певні ризики, які не можуть бути ігноровані. Без належної адаптації під індивідуальні потреби, професійної підтримки педагогів та соціального середовища, цифрові рішення можуть викликати технологічне відчуження, зниження мотивації та навіть погіршення емоційного стану учнів. Технічні недоліки, відсутність зворотного зв'язку і неадекватний дизайн інтерфейсів створюють бар'єри, що перешкоджають повноцінній інклюзії.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Костенко Т., Довгопола К. Психологічна підтримка дітей з порушеннями зору раннього та дошкільного віку засобами ІКТ. *Освіта осіб з особливими потребами: шляхи розбудови*. 2022. № 20. С. 55–74.
2. Михальська С., Старик С., Докучина Т. Особливості застосування ІКТ у роботі з дітьми з особливими освітніми потребами. *Освіта. Інноватика. Практика*. 2023. Т. 11, № 10.
3. Потапюк Л., Димарчук О. Цифрові технології в процесі навчання осіб з порушеннями зору. *Професіоналізм педагога: теоретичні й методичні аспекти*. 2021. № 15. С. 163–173.
4. Приходько О. Використання комп'ютерних технологій у навчальному процесі дітей з порушеннями зору (історичний аспект). *Матеріали семінару «Комп'ютерні технології для дітей з вадами зору»*. 2012. URL: <https://naiu.org.ua> (дата звернення: 22.07.2025 р.).
5. Alabi A. O., Mutula S. M. Exploring wearable technologies for library services in academic libraries in South Africa. *Library Hi Tech*, 2020. Vol. 38, № 4. – P. 811–826.
6. Alshurideh M., Al Kurdi B., Salloum S. A., Al-Emran M., & Shaalan, K. Predicting the actual use of m-learning systems: A comparative approach using PLS SEM and machine learning algorithms. *Interactive Learning Environments*, 2023. № 31(3), 1214–1228.
7. Cavdir G. Touch, listen, (re)act: Haptic interfaces for inclusive music performance. *Leonardo Music Journal*, 2022. № 32, 22–25.
8. Chocarro R., Cortiñas M., Marcos-Matás G. Teachers' attitudes towards chatbots in education: A Technology Acceptance Model approach considering the effect of social language, bot proactiveness, and users' characteristics. *Educational Studies*, 2023. № 49(2), 295–313. DOI:
9. Fernandes J., Machado J., Duarte J., Peixoto H. Innovative mobile solutions for visual and mobility disabilities: a comprehensive overview. *Procedia Computer Science*, Procedia Computer Science 251 (2024) 684–689.
10. Flores R. A., del Rio Guerra M. S. Recent developments in haptic devices designed for hearing impaired people: A literature review. *Sensors*, 2023. № 23(6), 2968.
11. Kelly S.M. Use of assistive technology by students with visual impairments: Findings from a national survey.

Journal of Visual Impairment & Blindness, 2009. 103(8), 470–480. DOI: 10.1177/0145482X0910300805

12. Lavric A., Beguni C., Zadobrischi E., Căilean A.-M., Avătămăniței S.-A. (2024). A comprehensive survey on emerging assistive technologies for visually impaired persons: Lighting the path with visible light communications and artificial intelligence innovations. *Sensors*, 2024. № 24, 4834. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24154834>

13. Liu, A., Ma, E., Wang, Y.-C., Xu, S., Grillo, T. AI and supportive technology experiences of customers with visual impairments in hotel, restaurant, and travel contexts. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 2023. 36(1), 274–291. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-10-2022-1243>

14. Puthu Vedu S. Z., Altulyan M., Singh K. A Novel Tactile Learning Assistive Tool for the Visually

and Hearing Impaired with 3D-CNN and Bidirectional LSTM Leveraging Morse Code Technology. *Bioengineering*, 2025. 12(3), 253 <https://doi.org/10.3390/bioengineering12030253>

15. Preeti K., Sapan H. M., Jitali P., Mayank K., Neel, L. Assistive systems for visually impaired people: A survey. *Neurocomputing*, 2024. № 606, 128284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2024.128284>

16. Shimoyama R. Omnidirectional Haptic Guidance for the Hearing Impaired to Track Sound Sources. *Signals*, 2021. № 2(3), 490-507. <https://doi.org/10.3390/signals2030030>

17. Yağanoğlu M., Köse H. A wearable vibrotactile interface for deaf and hearing-impaired people. *Appl. Sci*, 2017. 7(12), 1296; <https://doi.org/10.3390/app7121296>