

УДК 004.05

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.5/14>**Хапченко О.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Лисенко О.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТИФЛОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ НА БАЗІ СМАРТФОНУ

У останні роки спостерігається значний прогрес у розробці та впровадженні тифлотехнічних рішень, спрямованих на полегшення повсякденного життя сліпих та слабозорих осіб.

Проаналізовано останні дослідження та додатки щодо функціональних можливостей сучасних тифлотехнічних рішень на базі смартфона для сліпих та слабозорих, реалізованих на основі Wi-Fi/Bluetooth маяків, тег-міток у вигляді спеціальних кольорових картинок, технологій штучного інтелекту і комп'ютерного зору з використанням вібраційних та звукових способів взаємодії користувача з вадами зору з тифлотехнічною системою, GPS з голосовою навігацією та зворотнім зв'язком. Ці технології дозволяють створювати рішення для поліпшення якісного рівня життя цільової аудиторії прямо у смартфоні, який є у кожної людини. Важливим аспектом деяких додатків є також наявність функції залучення волонтерів, які можуть надавати допомогу через камеру смартфона та Інтернет, що допомагає користувачам розв'язувати різноманітні завдання, а саме навігація, стиль одягу, загублена річ, опис фотографії, картин або інших витворів мистецтва, вирішення проблем з комп'ютером, здійснення покупок, визначення терміну придатності продуктів, прибуття та відправлення громадського транспорту тощо.

Наведено порівняльний аналіз існуючих додатків за їх популярністю на основі оцінок користувачів та кількості завантажень, за їх функціональністю, а саме допомога в повсякденному житті чи в навігації, та вказали платформи які підтримують. Встановлено, що функція навігації користується найбільшим попитом, а найпопулярніші додатки залучають волонтерів, які за допомогою камери смартфона мають змогу допомогти користувачам з вадами зору з вирішенням різних питань.

Обґрунтовано важливість та запропоновано класифікацію сучасних тифлотехнічних рішень на базі смартфона, що дозволить розробникам отримати структуровану інформацію щодо функціональних можливостей та областей застосування існуючих рішень, сприяючи кращому розумінню потреб користувачів. В свою чергу, це дасть змогу розробникам та дослідникам знаходити вектор розвитку та створення власного тифлотехнічного рішення.

Ключові слова: тифлотехніка, навігація для сліпих та слабозорих, смартфон, порівняльний аналіз, класифікація.

Постановка проблеми. Загальновідомо, що людина отримує більшу частину інформації за допомогою зору. За даними ВООЗ на планеті налічується близько 285 мільйонів сліпих людей, серед них 39 мільйонів не бачать взагалі нічого, а 18% перебувають у віковій категорії до 50 років [1]. Цей стан сильно впливає на їхнє повсякденне самопочуття, поведінку і суттєво впливає на їхню здатність адаптуватися до навколишнього середовища та взаємодіяти з ним.

Актуальність проблем, з якими стикаються незрячі та слабозорі люди, спонукає багатьох науковців досліджувати нові підходи до їх вирішення. Одним із ключових напрямів є створення тифлотехнічних рішень, які здатні компенсувати

відсутні сенсорні дані та полегшити адаптацію інвалідів по зору до навколишнього середовища, забезпечуючи можливості самостійного життя в суспільстві.

Попри розмаїття тифлотехнічних рішень, залишаються відкритими питання їх ефективності та доступності для цільової аудиторії. Особливу увагу слід приділити технічним рішенням на базі смартфона, які суттєво впливають при створенні нових тифлотехнічних застосунків та додатків. На відміну від поширеної думки смартфони стали невід'ємною частиною життя для незрячих. Смартфони мають весь необхідний інструментарій для створення ефективних та економічно вигідних для кінцевого користувача тифлотех-

нічних рішень. Зокрема, завдяки наявності таких безпроводних технологій як Bluetooth, Wi-Fi та компонентів як гіроскоп, акселерометр, вібратор, динамік, мікрофон та камера смартфони надають широкі можливості для розробки інноваційних асистивних застосунків. Саме це стало причиною наявного безпрецедентного зростання на ринку числа різноманітних нових тифлотехнічних рішень на базі смартфона, що обумовлює актуальність та диктує необхідність вирішення завдання їх подальшого порівняльного аналізу, упорядкування та систематизації.

Метою статті є проведення порівняльного аналізу існуючих тифлотехнічних застосунків на базі смартфона, виявлення переваг та недоліків кожного підходу з урахуванням функціональності, доступності, ефективності та досвіду використання тифлотехнічних рішень особами з обмеженими можливостями зору та їх класифікація. Це дозволить обґрунтовано обрати кінцеву реалізацію для розроблення власного тифлотехнічного застосунку, а також стек технологій обраного програмного забезпечення та необхідні функції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі існує величезна кількість тифлотехнічних рішень, призначених для підтримки та поліпшення життя людей із порушеннями зору.

Для початку почнемо з навігаційних додатків та сервісів, які дозволяють користувачам планувати та будувати маршрути, знаходити точки інтересу та зупинки громадського транспорту. Вони використовують геолокацію, GPS та аудіо підказки, які дозволяють створювати розширені маршрути та вказівки, адаптовані до потреб незрячих користувачів. Наприклад, додатки BlindSquare [2], Moovit [3], Lazarillo [4], Eye-D [5] та Google Maps [6] використовують поєднання геолокації та бази даних, щоб надавати інформацію про магазини, кафе, перехрестя та інші об'єкти навколишнього середовища. Wayfindr [7] і NavCog [8] спеціалізовані на навігації в приміщеннях із використанням Bluetooth маячків для надання вказівок у станціях метро, аеропортах та інших закритих просторах. Також цікавим рішенням є система NaviLens [9], яка надає навігацію з використанням QR-кодів та аудіо-інструкцій. Іншим прикладом є BlindWays [10], які змогли частково вирішити проблему з навігацією людей з порушенням зору до автобусних зупинок у Бостоні, оскільки при GPS навігації похибка може складати до 10 метрів, що змушує незрячих людей пропускати автобус. Тому це було виправлено за допомогою краудсорсингових під-

казок, які описують впізнавані та постійні орієнтири біля автобусної зупинки, такі як дерево, пожежний гідрант, поштова скринька тощо. Краудсорсингові підказки дозволяють користувачам сформувати ментальну мапу, яка веде їх у межах (120–150) см від їхньої автобусної зупинки, щоб вони могли доторкнутися до вказівника і переконаватися, що вони знаходяться в потрібному місці. Ще відомими є Aira Explorer [11] та Be My Eyes [12], які забезпечують можливість взаємодії з операторами для отримання в реальному часі описів і допомоги. Цікавим також є Microsoft Soundscape [13], який є додатком для навігації з використанням 3Д звукових підказок, тобто, якщо будівля, про яку інформує додаток, знаходиться по лівій бік від користувача, то звук лунатиме саме з того боку. Використовуючи навушники з функцією Head Tracking Headset додатково буде відслідковуватися поворот голови відносно об'єкту інформування. Також з 3Д позиціонуванням ефективніше можна зрозуміти такі функціонали додатку як «Моє місце розташування», «Навколо мене» і «Попереду мене». Додаток Nearby Explorer [14] надає аудіальні підказки для навігації, користуючись інформацією з OpenStreetMap [15], яку доповнює онлайн-даними з Google Places [16].

Додатки для розпізнавання об'єктів та тексту допомагають отримувати візуальні інформацію для незрячих та слабозорих користувачів. Ці додатки використовують камеру смартфона для зйомки та обробки зображень за допомогою комп'ютерного зору зі штучним інтелектом, таким чином вони надають аудіальні підказки, дозволяючи розпізнавати обличчя, текст, об'єкти та кольори. Наприклад, програма Envision AI [17] або Seeing AI [18] від Microsoft, яка забезпечує розпізнавання облич, тексту, грошей та оцінку настрою людей на фотографіях. TapTapSee [19] дозволяє зробити знімок об'єкту, після чого додаток після аналізу штучним інтелектом надає аудіальний опис того, що зображено на фотографії. Інше рішення Supersense [20], яке дозволяє розпізнавати об'єкти, документи та текст за рахунок штучного інтелекту та робити звукові підказки про навколишнє середовище. Цікавим є Lookout [21] від Google, який використовує комп'ютерний зір для розпізнавання та відтворення тексту, також має режим «розпізнавання харчових етикеток», щоб швидко ідентифікувати упаковані продукти за їхньою етикеткою на додаток до сканування штрих-кодів, чи режим «валюта» для швидкої та надійної ідентифікації банкнот з підтримкою доларів США, євро та індійських рупій. LookTel Money Reader [22] вміє розпізнавати

грошові купюри з підтримкою 21 валют. Більш цікавим є Cash Reader [23], який розпізнає валюти 167 країн, а також має ряд унікальних функцій, а саме: розраховувати грошову суму вслух або у випадку, якщо місце шумне або необхідна конфеденційність, то повідомляє суму завдяки вібрації; працює без підключення інтернету; швидко ідентифікує та сортує валютні банкноти.

Велика популярність і широкого використання отримали додатки та сервіси з відеозв'язком, які відкрили нові можливості для спілкування та допомоги незрячим або слабозорим людям. Ці рішення дозволяють отримувати допомогу та консультації від добровольців та спеціалістів у різних сферах, наприклад, термін придатності того чи іншого продукту, чи пасує їм ця одежа, допомога у виставленні певної температури на пральній машині з сенсорними кнопками, у приготування їжі та інше. Найпоширенішим прикладом є додаток Be My Eyes [12], який дозволяє зв'язатися з добровольцями через відозв'язок і отримати допомогу у вирішенні різних питань. Звісно, цей додаток також має функціонал приєднання до добровольців і допомагати слабозорим або незрячим користувачам. Інший сервіс Aira Explorer [11], який надає доступ до агентів, які сприяють навігації, читанню та також вирішенню різних ситуацій.

Ще не менш важливими є спільнотні додатки, які виступають як платформа для спілкування, обміну досвідом та підтримки між незрячими і слабозорими користувачами. BeSpecular [24] дозволяє користувачам надавати та отримувати допомогу через аудіальні повідомлення, сприяючи обміну знань та підтримці. Додаток BlindSquare Event [25] надає інформацію та підтримку під час масових заходів.

Додатки, які використовують технології розпізнавання QR-кодів та спеціальних розроблених тегів та кодів, додають нові можливості для навігації та доступу до інформації. NaviLens[9], які розробили власні тег мітки, схожі на кольорові QR-коди, у вигляді квадрату зі стороною близько 13 см і найважливіше, що зі смартфона його можна прочитати на відстані до 12 м за 30 мс. Зчитування можливе також і під час руху і навіть без фокусування.

Також є інші специфічні додатки, зокрема, такий як Talking Turner [26], який є навчальним додатком для набору тексту і надає аудіальні підказки. Інший застосунок Color ID [27], який допомагає визначити колір об'єкта з використанням камери смартфона та вимовляти назви кольорів і навіть відтінків у режимі реального часу. Ще

варто вказати про додаток OneStep Reader [28], який дає змогу сліпим та слабозорим людям швидко отримувати доступ до змісту друкованих матеріалів у будь-якому місці та в будь-який час, використовуючи фотографію будь-якого тексту, який миттєво читається вголос.

Варто згадати й про вбудовані функціональні додатки TalkBack [29] для Android від Google та VoiceOver [30] для iOS від Apple, які розроблені для користувачів з порушеннями зору. Вони надають аудіальні повідомлення та описи елементів на екрані, що дозволяє незрячим та слабозорим людям взаємодіяти з пристроєм. Також обидва читають вголос текст, ідентифікують та озвучують елементи інтерфейсу, включаючи значки, кнопки, сповіщення та інше. Користувачі можуть використовувати жести та навігаційні команди для переміщення між елементами та взаємодії з ними. Розробники можуть використовувати цей вбудований функціонал для створення власного тифлотехнічного додатку.

Виклад основного матеріалу. Розглянуті вище тифлотехнічні рішення зведено нижче в табл. 1, де наведено показники їх популярності на основі оцінок користувачів та кількості завантажень, а також за наявності в них функціоналів навігації та повсякденної підтримки.

Проаналізувавши табл. 1 шляхом порівняння різних додатків для слабозорих та незрячих користувачів, слід виділити наступні аспекти, які впливають на їх популярність та значимість для цільової аудиторії.

Насамперед, можна побачити, що найбільшою популярністю у інвалідів по зору користуються додатки (NaviLens, Be My Eyes, Moovit та ін.), які забезпечують навігацію та визначення маршрутів.

Додатки, що використовують комп'ютерний зір та штучний інтелект для розпізнавання об'єктів, тексту, облич, кольорів (Seeing AI, TapTapSee, Eye-D) та завантажуються користуються доволі низькою популярністю, що демонструє недовіру або недопрацьованість на сьогодні цих підходів надання допомоги.

Однак, найважливіше, що впливає з проведеного аналізу, це те, чому довіряють в найбільшій мірі незрячі користувачі, а саме – це додаткам, які зв'язують такого користувача з людиною-волонтером, яка точно допоможе у будь-якій ситуації, будь-то питання навігації, вимкнення сенсорної пральної машини чи будь-що інше.

В той же час така велика різноманітність існуючих тифлотехнічних рішень на базі смартфона спонукає зробити класифікацію цих рішень, яка

дасть змогу систематизувати їхні особливості та напрямки застосування, що може допомогти в подальшому дослідникам та розробникам з вибором «власної дорожньої карти», а також користувачам із порушеннями зору вибрати найбільш

підходяще рішення залежно від їхніх потреб та сценаріїв використання.

В першу чергу необхідно визначити основне призначення додатку, а саме навігація, розпізнавання об'єктів, тексту та купюр, а також інший

Таблиця 1

Характеристики тифлотехнічних додатків та сервісів

Рішення	Платформа	Оцінка AppStore оцінка (кількість оцінок)	Кількість завантажень Play Market	Оцінка PlayMarket оцінка (кількість оцінок)	Навігація	Підтримка у повсякденних задачах
NaviLens	ios/android	5 (10)	від 10 тис.	-	-	-
Wayfindr	-	-	-	-	✓	-
BlindSquare	ios	3,5 (2)	-	-	✓	-
BlindSquare Event	ios	4,2 (5)	-	-	✓	-
Be My Eyes	ios/android	4,9 (375)	від 1 млн.	4,5 (28,5 тис.)	✓	✓
TapTapSee	ios/android	4,2 (1,7 тис.)	від 500 тис.	3,8 (1,64 тис.)	-	✓
Aira Legacy / Aira Explorer	ios/android	4,7 (2 тис.)	від 1 тис.	-	✓	✓
Seeing AI	ios	4,4 (517)	-	-	-	✓
Lazarillo	ios/android	4,3 (6)	від 100 тис.	4,1 (1,5 тис.)	✓	-
BlindWays	ios	відсутні оцінки	-	-	-	✓
Moovit	ios/android	4,4 (4,8 тис.)	від 100 млн.	4,4 (1,33 млн.)	✓	-
BeSpecular	android	-	від 10 тис.	3,3 (136)	✓	✓
Envision AI	ios/android	4,2 (406)	від 100 тис.	4,0 (5,29 тис.)	-	✓
Supersense	ios/android	4,3 (220)	від 50 тис.	-	-	✓
Lookout	android	-	від 100 тис.	3,5 (2,83 тис.)	-	✓
NavCog	ios	відсутні оцінки	-	-	✓	-
Microsoft Soundscape	ios	відсутні оцінки	-	-	✓	-
Nearby Explorer	ios	завантажується лише з сайту розробників			✓	-
Google Maps	ios/android	4,7 (5,8 млн)	від 10 млрд	3,9 (17,3 млн)	✓	-
Eye-D	android	-	від 5 тис.	4,3 (815)	-	✓
Talking Typer	ios/android	3,9 (8)	від 50 тис.	3,4 (229)	-	✓
Cash Reader	ios/android	4,4 (464)	від 500 тис.	3,6 (1,93 тис.)	-	✓
Color ID	android	завантажується лише з сайту розробників			-	✓
OneStep Reader	ios/android	-	від 50 тис.	2,9 (815)	-	✓
LookTel Money Reader	ios	завантажуються лише з сайту розробників			-	✓

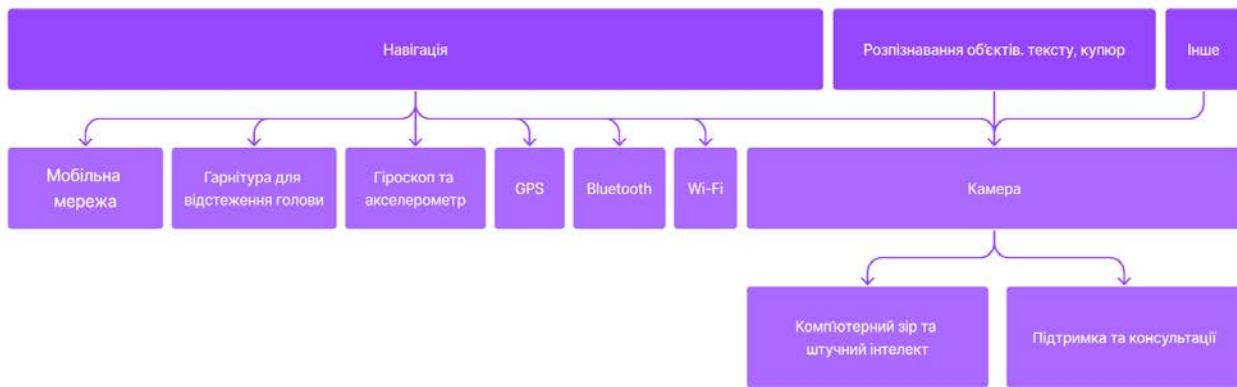


Рис. 1. Класифікація тифлотехнічних рішень на базі смартфона

функціонал, куди відносяться розпізнавання кольорів, допомога волонтерів та інші цікаві рішення. Навігацію Moovit, Google Maps, Lazarillo, Microsoft Soundscape та багато інших забезпечують за допомогою GPS, мобільної мережі або Wi-Fi, також використовуючи для більш детального розуміння пересування гіроскоп та акселерометр. Є рішення, які для навігації використовують лише Bluetooth, так як це робить WayFindr. Також варто не забувати про камеру смартфона та комп'ютерний зір і чудове рішення з кастомними кольоровими тегами від NaviLens. Розпізнавання об'єктів, тексту та купюр чудово відображають додатки TapTapSee, Eye-D, Seeing AI тощо. Щодо всіх інших задач найкраще впораються волонтери в додатках Be My Eyes, Aira Explorer тощо.

Вищезазначена класифікація існуючих тифлотехнічних застосунків на основі смартфона наведено нижче на рис. 1.

Висновки. Встановлено наявність на ринку значного числа тифлотехнічних рішень на основі смартфона, що полегшують повсякденне життя користувачів з вадами зору. Ці застосунки допомагають у навігації, розпізнаванні об'єктів та тексту, а також у спілкуванні з іншими користувачами.

В результаті порівняльного аналізу з'ясовано, що додатки, які сприяють взаємодії з волонтерами або операторами, мають найвищий рівень довіри та найбільш популярні у користуванні. Безпосередня підтримка та консультації у реальному

часі, які забезпечують додатки **Be My Eyes**, **Aira Explorer** та інші, роблять їх невід'ємною частиною повсякденного життя незрячих користувачів.

Наведено порівняльний аналіз існуючих додатків за їх популярністю на основі оцінок користувачів та кількості завантажень. Встановлено, що функція навігації користується найбільшим попитом, а найпопулярніші додатки залучають волонтерів, які за допомогою камери смартфона мають змогу допомогти користувачам з вадами зору з вирішенням різних питань.

Обґрунтовано важливість упорядкування та систематизації сучасних тифлотехнічних застосунків на базі смартфона та запропоновано їх класифікацію, що дозволить розробникам отримати структуровану інформацію щодо функціональних можливостей та областей застосування існуючих рішень, сприяючи кращому розумінню потреб користувачів. В свою чергу, це дасть змогу розробникам та дослідникам знаходити вектор розвитку і створення власного тифлотехнічного рішення, а користувачам із порушеннями зору допомогти зробити власний вибір на основі їхніх індивідуальних потреб і сценаріїв використання.

Напрямок подальших досліджень є обґрунтування вибору структурно-функціональної організації створюваного тифлотехнічного навігаційного застосунку на основі смартфона та розроблення алгоритмічних і програмних рішень його реалізації.

Список літератури:

1. Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years: evaluating the prevalence of avoidable blindness in relation to «VISION 2020: the Right to Sight». *Lancet Global Health* 2020. DOI:10.1016/S2214-109X(20)30489-7.
2. BlindSquare. URL: <https://www.blindsquare.com/>. Accessed on: August 18, 2023.
3. Moovit. URL: <https://moovit.com/features/accessibility/>. Accessed on: August 18, 2023.
4. Lazarillo. URL: <https://lazarillo.app/>. Accessed on: August 18, 2023.
5. Eye-D. URL: <https://eye-d.in/>. Accessed on: August 18, 2023.

6. Google Maps. URL: <https://blog.google/products/maps/better-maps-for-people-with-vision-impairments/>. Accessed on: August 18, 2023.
7. Open Standard for Audio-based Wayfinding. URL: <http://www.wayfindr.net/wp-content/uploads/2018/07/Wayfindr-Open-Standard-Rec-2.0.pdf>. Accessed on: August 18, 2023.
8. NavCog. URL: <https://techacute.com/navcog-indoor-mobile-navigation-for-the-visually-impaired/>. Accessed on: August 18, 2023.
9. NaviLens. URL: <https://www.navilens.com/>. Accessed on: August 18, 2023.
10. BlindWays. URL: <https://www.perkins.org/resource/blindways-crowdsourced-bus-stop-location-app/>. Accessed on: August 18, 2023.
11. Aira Explorer. URL: <https://aira.io/>. Accessed on: August 18, 2023.
12. Be My Eyes. URL: <https://www.bemyeyes.com/>. Accessed on: August 18, 2023.
13. Microsoft Soundscape. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/research/product/soundscape/>. Accessed on: August 18, 2023.
14. Nearby Explorer. URL: <https://tech.aph.org/neandroid/>. Accessed on: August 18, 2023.
15. OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org/>. Accessed on: August 18, 2023.
16. Google Places. URL: <https://developers.google.com/maps/documentation/places/web-service/overview>. Accessed on: August 18, 2023.
17. Envision AI. URL: <https://www.letsenvision.com/>. Accessed on: August 18, 2023.
18. Seeing AI. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/garage/wall-of-fame/seeing-ai/>. Accessed on: August 18, 2023.
19. TapTapSee. URL: <https://taptapseeapp.com/>. Accessed on: August 18, 2023.
20. Supersense. URL: <https://www.supersense.app/>. Accessed on: August 18, 2023.
21. Lookout. URL: <https://blog.google/outreach-initiatives/accessibility/lookout-app-help-blind-and-visually-impaired-people-learn-about-their-surroundings/>. Accessed on: August 18, 2023.
22. LookTel Money Reader. URL: <http://www.looktel.com/moneyreader>. Accessed on: August 18, 2023.
23. Cash Reader. URL: <https://cashreader.app/>. Accessed on: August 18, 2023.
24. BeSpecular. URL: <https://www.bespecular.com/>. Accessed on: August 18, 2023.
25. BlindSquare Event. URL: <https://www.blindsquare.com/ufaqs/what-is-blindsquare-event/>. Accessed on: August 18, 2023.
26. Talking Typer. URL: <https://www.applevis.com/apps/ios/education/talking-type-r>. Accessed on: August 18, 2023.
27. Color ID. URL: <https://color-id-free.soft112.com/>. Accessed on: August 18, 2023.
28. OneStep Reader. URL: <https://www.facebook.com/onestepreader/>. Accessed on: August 18, 2023.
29. TalkBack. URL: <https://support.google.com/accessibility/android/answer/6283677>. Accessed on: August 18, 2023.
30. VoiceOver. URL: <https://support.apple.com/uk-ua/guide/iphone/iph3e2e415f/ios>. Accessed on: August 18, 2023.

Khapchenko O.V., Lysenko O.M. COMPARATIVE ANALYSIS OF SMARTPHONE-BASED TIFLOTECHNICAL NAVIGATION SOLUTIONS

In recent years, significant progress has been observed in the development and implementation of assistive technologies aimed at improving the daily lives of blind and visually impaired individuals.

Recent research and applications have been analyzed regarding the functional capabilities of modern smartphone-based assistive technologies for the blind and visually impaired. These technologies are based on Wi-Fi/Bluetooth beacons, tag markers in the form of special color images, artificial intelligence, computer vision, and utilize vibration and auditory feedback for user interaction with visual impairments in assistive systems. These technologies enable the creation of solutions to enhance the quality of life for the target audience directly through smartphones, which are ubiquitous among the general population. Another important aspect of some applications is the inclusion of volunteer assistance, where volunteers can provide help through the smartphone's camera and the Internet. This assists users in accomplishing various tasks, including navigation, clothing style assessment, finding lost items, describing photos, artwork, solving computer-related issues, making purchases, determining the shelf life of products, and accessing public transportation schedules, among others.

A comparative analysis has been provided for existing applications, considering their popularity based on user ratings, download counts, and their functionality, especially in daily life or navigation contexts. Additionally, the supported platforms have been indicated. It has been established that navigation functionality is in high demand, and the most popular applications involve volunteers who can assist users with visual impairments in solving various issues using their smartphone cameras.

The importance of classifying modern smartphone-based assistive technologies has been substantiated and a classification has been proposed. This classification will enable developers to access structured information regarding the functional capabilities and application areas of existing solutions, thereby contributing to a better understanding of user needs. Consequently, this will empower developers and researchers to identify the direction for the development and creation of their own assistive solutions for individuals with visual impairments.

Key words: *blind technology, navigation for the blind and visually impaired, smartphone, comparative analysis, classification.*