

ДОДАТОК А

Слайди презентацій



Дослідження методів розробки віртуального асистента реабілітолога з доповненою реальністю



Филиппов Артем Максимович, ІПЗм-231
Науковий керівник: Проф. Білоус Н. В.

20 червня 2025

Рисунок А.1 – Слайд 1

Дослідження

Визначення напрямку дослідження

Мета дослідження— вибір оптимальних технологій доповненої реальності тарозпізнавання поз тіла для підвищення якості фізичної реабілітації. Через аналіз та порівняння методів доповненої реальності комп'ютерного зору визначається їхня придатність для створення віртуального асистента реабілітолога з функцією виводу точності виконання вправ.

Об'єкт дослідження

Процес використання технологій доповненої реальності та розпізнавання поз тіла для автоматизації контролю за виконанням фізичних вправ у реабілітаційних системах.



Рисунок А.2 – Слайд 2

Огляд літератури (аналогів)

Перелік основних джерел та теорій у галузі

- Bilous, N. V., Ahejian, I. A., & Kaluhin, V. V. (2023). DETERMINATION AND COMPARISON METHODS OF BODY POSITIONS ON STREAMVIDEO;
- Bilous, N., Svidin, O., Ahejian, I., & Malko, V. (2024). A skeletonbased method for exercise recognition based on 3D coordinates of humanjoints
- Butz, B., Jussen, A., Rafi, A., Lux, G., & Gerken, J. (2022). A Taxonomy for Augmented and Mixed Reality Applications to Support Physical Exercises in Medical Rehabilitation Literature Review
- Toledo-Peral, C. L., Vega-Martínez, G., MercadoGutiérrez, J. A., RodríguezReyes, G., Vera-Hernández, A., Leija-Salas, L., & GutiérrezMartínez, J. (2022). Virtual/Augmented Reality for Rehabilitation Applications Using Electromyography as Control/Biofeedback: Systematic Literature Review.



3

Рисунок А.3 – Слайд 3

Постановка задачі

Формулювання проблеми

У більшості реабілітаційних систем відсутній механізм точного аналізу рухів пацієнта в реальному часі з використанням доповненої реальності на мобільних пристроях. Існує потреба у створенні автономного додатку, здатного розпізнавати позу користувача, порівнювати її з еталоном та відображати точність виконання вправ без участі фахівця.

Постановка задачі

- розробка прототипу мобільного додатку з використанням Flutter, ML Kit Pose Detection та ARCore/ARKit;
- реалізація алгоритму порівняння рухів за ключовими точками тіла та оцінка точності виконання вправ
- відображення точності виконання вправ у реальному часі засобами доповненої реальності
- проведення тестування точності та зручності використання системи.



4

Рисунок А.4 – Слайд 4

Методологія

Методи дослідження

- аналіз наукових та технічних джерел щодо використання AR і комп'ютерного зору у реабілітації
- порівняльний аналіз існуючих програмних рішень
- проектування та розробка прототипу мобільного додатку
- експериментальна перевірка точності розпізнавання рухів
- візуалізація результатів у реальному часі.

Інструментарій та технології

- **Flutter** — розробка кросплатформеного інтерфейсу;
- **Google ML Kit Pose Detection** — визначення положення тіла користувача
- **ARCore** (або ARKit) — доповнена реальність для візуалізації результатів
- **Dart / Android SDK** — реалізація логіки та доступ до камери.

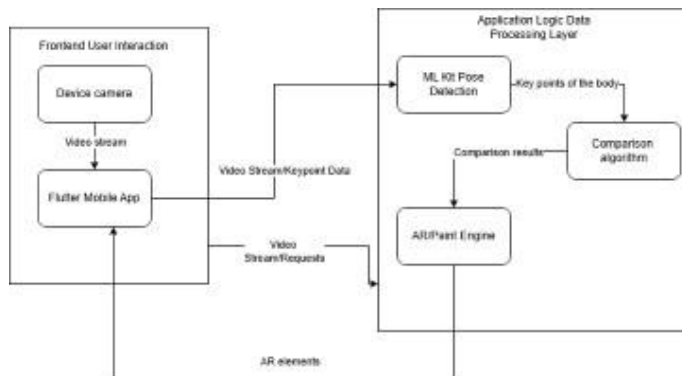


5

Рисунок А.5 – Слайд 5

Архітектура система для проведення експериментального дослідження

Опис ключових компонентів



6

Рисунок А.6 – Слайд 6

Порівняльна оцінка технологій

Метод оцінки

Для проведення оцінки використовується метод лінійної адитивної згортки з ваговими коефіцієнтами за формулою:

$$Z^* = \max_{i=1,m} \sum_{j=1}^n \alpha_j \beta_j \alpha_{ij}$$

Де α_j - нормуючі множини, β_j - вагові коефіцієнти α_{ij} - значення критерію для альтернативи.

Були пронормовані всі значення критеріїв, тобто із різних шкал до однієї в діапазо[0; 1] із урахуванням тіпта max за формулою:

$$f = \frac{f_i - f_{min}}{f_{max} - f_{min}}$$



7

Рисунок А.7– Слайд 7

Порівняльна оцінка технологій

Було проведено порівняння технологій AR (ARKit, ARCore, Unity AR Foundation, WebAR) та розпізнавання поз (MediaPipe, BlazePose, ML Kit Pose Detection)

AR критерії

- тип відстеження;
- сумісність та підтримка пристроїв;
- наявність безкоштовного тарифу;
- точність відстеження
- простота інтеграції
- продуктивність та швидкість реагування
- середовище розробки та підтримка.

Розпізнавання поз:

- точність визначення ключових точок тіла;
- сумісність із мобільними платформами;
- офлайн-режим роботи;
- кількість ключових точок
- Продуктивність;
- підтримка роботи в реальному часі;
- простота інтеграції
- безкоштовна/відкрита модель розповсюдження.



8

Рисунок А.8– Слайд 8

Порівняльна оцінка технологій

	Тип відстеження	Підтримка пристроїв	Точність відстеження	Простота інтеграції	Продуктивність та швидкість реагування	Середовище розробки та підтримка	Наявність безкоштовного тарифу	Z*
ARKit	1	0.6	1	1	1	1	0.5	0.775
ARCore	1	0.6	1	1	1	1	0.5	0.775
Unity AR Foundation	1	1	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.7625
WebAR	0.6	0.3	0.5	1	0.3	0.3	1	0.60625
Вагові коефіцієнти	0.25	0.25	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.25	

Таблиця 1 – Технології доповненої реальності за значеннями критеріїв вибору

У сегменті доповненої реальності найкращий результат показали ARKit та ARCore, які набрали узагальнений показник $Z^* = 0.775$. Цей результат пояснюється високими оцінками за ключовими критеріями - точним трекінгом, простотою інтеграції, стабільною продуктивністю та хорошим середовищем для розробки.



9

Рисунок А.9– Слайд 9

Порівняльна оцінка технологій

У сегменті технологій розпізнавання поз найвищий узагальнений бал отримала ML Kit Pose Detection ($Z^* = 0.895$), що свідчить про її високу оптимізацію, наявність офлайн-режиму, гнучку інтеграцію та добру сумісність з Android та iOS.

	MediaPipe Pose	BlazePose	ML Kit Pose Detection	Вагові коефіцієнти
Точність визначення ключових точок	0.6	1	0.6	0.2
Кількість ключових точок	1	1	1	0.2
Продуктивність на мобільних пристроях	0.6	0.6	1	0.2
Реальний час	1	1	1	0.05
Сумісність з мобільними платформами	1	1	1	0.2
Простота інтеграції	0.6	0	1	0.05
Офлайн-режим	1	1	1	0.05
Безкоштовна/відкрита ліцензія	1	1	0.5	0.05
Z*	0.82	0.87	0.895	

Таблиця 2– Технології розпізнавання поз за значеннями критеріїв вибору



10

Рисунок А.10 – Слайд 10

Програмна реалізація

Розроблено мобільний додаток на базі Flutter, який виконує захоплення відео з камери та визначення ключових точок тіла користувача в реальному часі за допомогою ML Kit Pose Detection. Користувач може обрати еталонний шаблон рухів, після чого система проводить покадрове порівняння поточної пози з еталонною. На основі координат обчислюється відсоток точності виконання вправи, який оновлюється в реальному часі.

Інтерфейс містить елементи керування для запуску вправи, відображення точності виконання. Усі розрахунки виконуються локально, що забезпечує автономність роботи додатку.

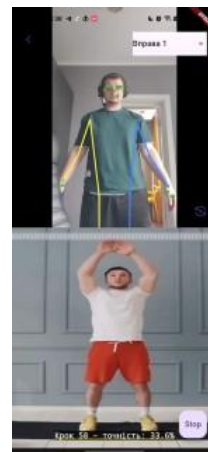


Рисунок 1 – Демонстрація роботи системи



11

Рисунок А.11 – Слайд 11

Проведення експериментальних досліджень

Експеримент 1

Метою першого експерименту було оцінити, як умови освітлення впливають на точність визначення ключових точок тіла та швидкість системи доповненої реальності. Для цього було змодельовано три режими освітлення: яскраве природне світло (денне), стандартне кімнатне освітлення та слабе освітлення (напівтемрява). Кожен режим тестувався за фіксованим сценарієм виконання вправи присідання наступним аналізом точності та часу генерації AR-підказки.

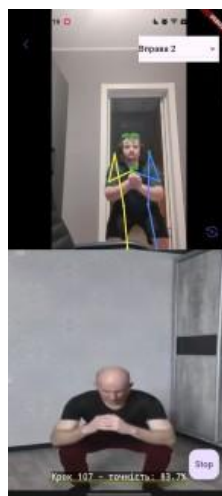


Рисунок 2 – Стандартне кімнатне освітлення

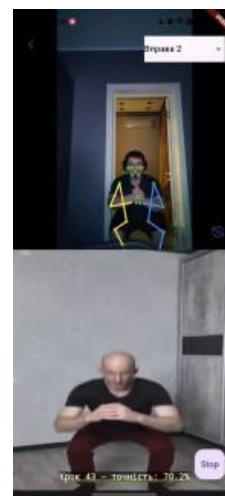


Рисунок 3 – Слабе освітлення (напівтемрява)¹²



Рисунок А.12 – Слайд 12

Проведення експериментальних досліджень

Експеримент 2

Метою другого експерименту було оцінити вплив використання візуальних підказок у доповненій реальності (AR) на точність виконання вправ та швидкість реагування системи. Для цього порівнювались дві версії мобільного застосунку: одна з активованим режимом AR підказок, інша - з традиційним виведенням результатів на екран без доповненої реальності. Виконувалась вправа «Відведення руки в сторону», після чого оцінювались точність пози

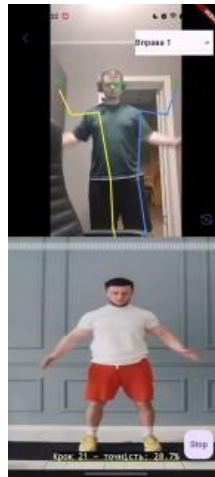


Рисунок 4 – Робота з візуальними AR підказками

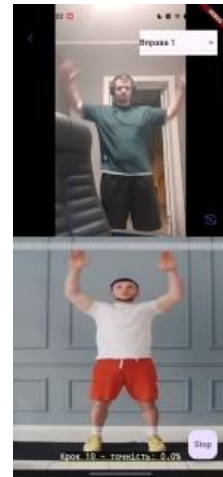


Рисунок 5 – Робота без візуальних AR підказок 13

Рисунок А.13 – Слайд 13

Аналіз та результати експерименту



Рисунок 2 – Результат першого експерименту

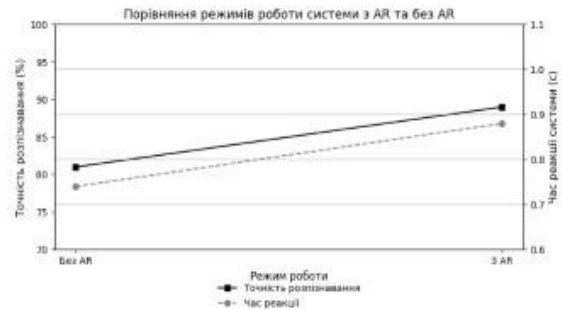


Рисунок 3 – Результат другого експерименту



Рисунок А.14 – Слайд 14

Публікація результатів

June 11, 2025 - Dresden, Federal Republic of Germany - Collection of scientific papers dS2025/16

Філіппус Артем Михайлович
наблюдательный пункт: дрезденский центр
Дрезденский университет, Германия

Почтовый адрес: Кунст-Виталин-Институт
Кунст-Виталин-Институт, Дрезден

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРОБКИ
ВІРТУАЛЬНОГО АСИСТЕНТА РЕАБІЛІТОЛОГА
З ІНТЕНСИВНОЮ РЕАЛЬНІСТЮ**

Вступ.
У сучасному світі, де технології активно впливають на всі сфери життя, важливо розвинути способи надання реабілітаційних послуг, які ефективно працюють як в реальному, так і в віртуальному світі. Ця робота досліджує методи розробки віртуального асистента реабілітолога, який може надавати персоналізовані рекомендації та підтримку користувачам. Використання технологій доповненої реальності (ДР) та віртуальної реальності (ВР) може значно покращити якість реабілітаційних послуг, надаючи користувачам більш інтерактивний та захопливий досвід. Ця робота досліджує методи розробки віртуального асистента реабілітолога, який може надавати персоналізовані рекомендації та підтримку користувачам. Використання технологій доповненої реальності (ДР) та віртуальної реальності (ВР) може значно покращити якість реабілітаційних послуг, надаючи користувачам більш інтерактивний та захопливий досвід.



Мета.
У процесі дослідження було запропоновано новий метод, що включає як віртуальну, так і реальну реальність. На основі цього проведено дослідження щодо створення віртуального асистента реабілітолога, який може надавати персоналізовані рекомендації та підтримку користувачам. Використання технологій доповненої реальності (ДР) та віртуальної реальності (ВР) може значно покращити якість реабілітаційних послуг, надаючи користувачам більш інтерактивний та захопливий досвід.

Результати та висновки.
Результати дослідження показали, що запропонований метод може бути використаний для розробки віртуального асистента реабілітолога, який може надавати персоналізовані рекомендації та підтримку користувачам. Використання технологій доповненої реальності (ДР) та віртуальної реальності (ВР) може значно покращити якість реабілітаційних послуг, надаючи користувачам більш інтерактивний та захопливий досвід.

148

June 11, 2025 - Dresden, Federal Republic of Germany - Collection of scientific papers dS2025/16

Мета.
У процесі дослідження було запропоновано новий метод, що включає як віртуальну, так і реальну реальність. На основі цього проведено дослідження щодо створення віртуального асистента реабілітолога, який може надавати персоналізовані рекомендації та підтримку користувачам. Використання технологій доповненої реальності (ДР) та віртуальної реальності (ВР) може значно покращити якість реабілітаційних послуг, надаючи користувачам більш інтерактивний та захопливий досвід.

Результати та висновки.
Результати дослідження показали, що запропонований метод може бути використаний для розробки віртуального асистента реабілітолога, який може надавати персоналізовані рекомендації та підтримку користувачам. Використання технологій доповненої реальності (ДР) та віртуальної реальності (ВР) може значно покращити якість реабілітаційних послуг, надаючи користувачам більш інтерактивний та захопливий досвід.

148



Рисунок А.15 – Слайд 15

Підсумки

Розроблений прототип віртуального асистента реабілітолога підтвердив працездатність і прикладну цінність запропонованого підходу. Система ефективно визначає точність виконання вправ у реальному часі, забезпечуючи автономний зворотний зв'язок без залучення фахівця. Використання технологій доповненої реальності та комп'ютерного зору у мобільному додатку підвищує доступність і якість реабілітаційних послуг.

Подальший розвиток дослідження можливий у напрямках персоналізації під конкретні групи користувачів, інтеграції зовнішніх сенсорів, додавання голосового супроводу та проходження клінічної апробації в реальних умовах.



Рисунок А.15 – Слайд 15


ДОДАТОК Б
Апробація результатів роботи



Рисунок Б.1 – Сертифікат апробації

Филиппов Артем Максимович

здобувач вищої освіти факультету комп'ютерних наук
Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

Науковий керівник: Білоус Наталія Валентинівна 

Кандидат технічних наук, професор кафедри програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРОБКИ ВІРТУАЛЬНОГО АСИСТЕНТА РЕАБІЛОЛОГА З ДОПОВНЕНОЮ РЕАЛЬНІСТЮ

Вступ.

У сучасному світі, де потреба в ефективних засобах медичної реабілітації зростає, цифрові рішення стають все більш актуальними. Вони можуть забезпечити пацієнтам автономність, персоналізувати терапію та зменшити навантаження на медичних працівників. Традиційні методи реабілітації зазвичай вимагають особистої роботи з лікарем, що ускладнює їх використання, особливо коли доступ до спеціалістів обмежений або під час тривалих періодів відновлення. Завдяки інтеграції технологій доповненої реальності [1], комп'ютерного зору [2], можна створювати інтелектуальні системи, які в реальному часі оцінюють точність виконання фізичних вправ, виявляють помилки та надають візуальні корекційні підказки прямо в полі зору користувача. Такі системи можуть працювати автономно на мобільних пристроях, що значно розширює їх можливості для використання вдома. Отже, розробка віртуального асистента реабілолога є перспективним напрямком для підвищення ефективності, доступності та мотивації в процесі фізичної реабілітації.

Мета дослідження.

Метою цього дослідження є створення методів для віртуального асистента реабілолога, який використовує технології доповненої реальності [1] та комп'ютерного зору [2]. Він буде моніторити та коригувати виконання фізичних вправ у реальному часі. Особливу увагу приділено бібліотеці MediaPipe [1] для визначення ключових точок тіла, а також інтеграції AR-підказок через платформи ARKit [3] і ARCore. Розробка орієнтована на мобільні пристрої з кросплатформною підтримкою та можливістю автономної роботи без потреби в зовнішній інфраструктурі. Такий підхід значно підвищує доступність реабілітації та забезпечує персоналізований зворотний зв'язок для пацієнтів.

Методи.

У процесі дослідження було застосовано комплексний підхід, що включав як теоретичну, так і практичну складові. На першому етапі проведено систематизований аналіз сучасної наукової та технічної літератури з тематики використання доповненої реальності та комп'ютерного зору в медичній реабілітації. Розглядалися публікації у провідних рецензованих виданнях, які охоплюють приклади реалізації AR-систем [3], методи візуального контролю рухів, а також оцінювалися переваги та обмеження існуючих рішень [1-3].

Для реалізації кросплатформеного мобільного застосунок було використано середовище Flutter, який працює на пристроях з Android та iOS. Для аналізу положення тіла в реальному часі використано бібліотеку MediaPipe [2], що дозволяє точно визначати координати ключових точок тіла людини на відеопотоці з камери. На основі цих даних реалізовано механізм обчислення просторових відхилень для оцінки точності виконання рухів.

Доповнена реальність інтегрована через бібліотеки ARKit [2] та ARCore, що забезпечують відображення віртуальних елементів безпосередньо на зображення з камери. Завдяки цьому користувач отримує корекційні підказки у зручному та наочному форматі. Уся обробка даних виконується локально на мобільному пристрої, що дозволяє забезпечити автономність системи, високу продуктивність і збереження конфіденційності даних.

Результати та обговорення.

Результатом практичної частини дослідження стало створення прототипу віртуального асистента реабілітолога, що реалізований у вигляді мобільного застосунок з підтримкою доповненої реальності. Застосунок дозволяє користувачу виконувати фізичні вправи перед камерою мобільного пристрою, отримуючи зворотний зв'язок у вигляді AR-підказок, які візуалізуються безпосередньо на екрані. Це забезпечує зрозуміле представлення помилок, зокрема відхилень від еталонного положення тіла, що підвищує ефективність самостійних тренувань без постійного нагляду фахівця.

Тестування прототипу показало, що система здатна стабільно визначати ключові точки тіла з використанням MediaPipe [2], навіть за умов помірної освітлення та середньої якості камери. Застосовані методи геометричного аналізу дозволили успішно виявляти порушення симетрії та неточності у виконанні вправ. AR-компонент, реалізований через ARKit [3] та ARCore, продемонстрував коректну візуалізацію вказівок у режимі реального часу, без суттєвих затримок чи зміщень.

Обговорення результатів показує, що запропонована система має низку переваг порівняно з існуючими аналогами, зокрема автономність,

кросплатформеність та локальну обробку даних. Проте дослідження виявило також певні обмеження, пов'язані з продуктивністю на слабших пристроях, залежністю точності від якості освітлення та потребою в додатковій адаптації під різні групи користувачів [1-3]. У подальшій роботі планується оптимізувати алгоритми оцінки рухів, розширити функціональність та провести більш масштабне користувацьке тестування.

Висновки.

Запропонований підхід до створення віртуального асистента реабілітолога, що поєднує доповнену реальність і комп'ютерний зір, демонструє ефективність у контексті автоматизованого моніторингу фізичних вправ у реальному часі. Розроблений прототип мобільного застосунку забезпечує візуальний зворотний зв'язок, автономність і кросплатформеність, що робить його зручним для використання в домашніх умовах. Проведене тестування підтвердило доцільність застосування MediaPipe і ARKit/ARCore для реалізації ключових функцій, хоча подальша оптимізація та масштабування залишаються актуальними напрямками розвитку.

Список використаних джерел:

1. Butz, B., Jussen, A., Rafi, A., Lux, G., & Gerken, J. (2022). A Taxonomy for Augmented and Mixed Reality Applications to Support Physical Exercises in Medical Rehabilitation-A Literature Review. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 10(4), 646. URL: <https://doi.org/10.3390/healthcare10040646>.
2. Bilous, N. V., Ahebian, I. A., & Kaluhin, V. V. (2023). DETERMINATION AND COMPARISON METHODS OF BODY POSITIONS ON STREAM VIDEO . *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (2), 52. URL: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023-2-6>.
3. Bilous, N., Svidin, O., Ahebian, I., & Malko, V. (2024). A skeleton-based method for exercise recognition based on 3D coordinates of human joints. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 13(2), 1805-1816. URL: <http://doi.org/10.11591/ijai.v13.i2.pp1805-1816>.

Рисунок Б.4 – Опублікований текст апробції

ДОДАТОК В

Звіт з результатами перевірки на унікальність тексту в базі ХНУРЕ

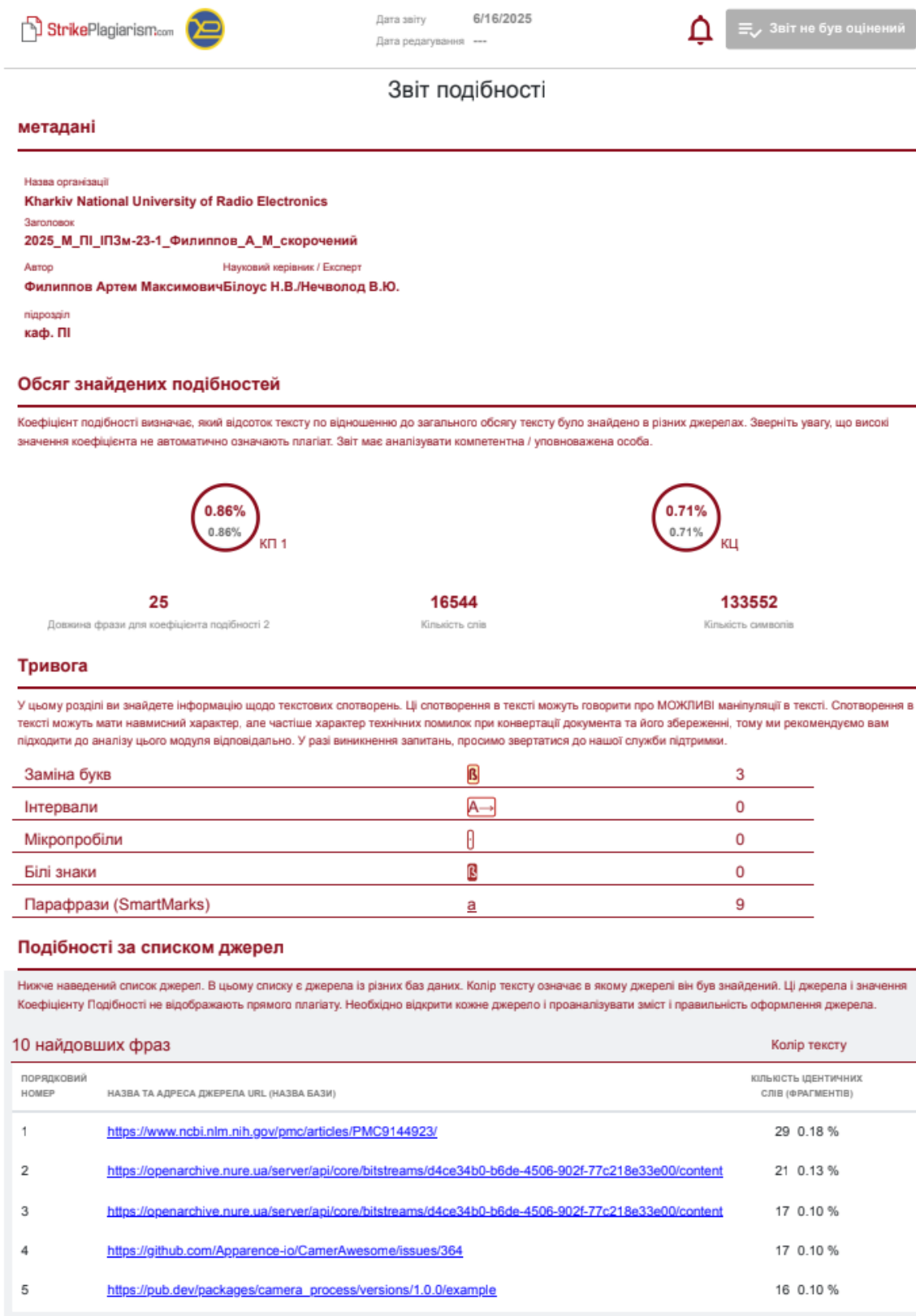


Рисунок В.1 – Звіт з перевірки на плагіат

6	Transtibial amputelerde sanal gerçeklik uygulamasının kinezyofobi, depresyon ve ağrılik aktarma üzerine etkileri Tezel YILDIRIM ŞAHAN, Fatih ERBAHÇECİ;	15 0.09 %
7	https://pub.dev/packages/camera_process/versions/1.0.0/example	10 0.06 %
8	«Особливості соціальної роботи з молоддю» 12/3/2024 Hlukhiv National Pedagogical University of Oleksandr Dovzhenko course papers (Hlukhiv National Pedagogical University of Oleksandr Dovzhenko course papers)	6 0.04 %
9	«Особливості соціальної роботи з молоддю» 12/3/2024 Hlukhiv National Pedagogical University of Oleksandr Dovzhenko course papers (Hlukhiv National Pedagogical University of Oleksandr Dovzhenko course papers)	6 0.04 %
10	https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/d4ce34b0-b6de-4506-902f-77c218e33e00/content	5 0.03 %
з бази даних RefBooks (0.09 %)		
ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
джерело: Paperity		
1	Transtibial amputelerde sanal gerçeklik uygulamasının kinezyofobi, depresyon ve ağrılik aktarma üzerine etkileri Tezel YILDIRIM ŞAHAN, Fatih ERBAHÇECİ;	15 (1) 0.09 %
з домашньої бази даних (0.00 %)		
ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
з програми обміну базами даних (0.07 %)		
ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	«Особливості соціальної роботи з молоддю» 12/3/2024 Hlukhiv National Pedagogical University of Oleksandr Dovzhenko course papers (Hlukhiv National Pedagogical University of Oleksandr Dovzhenko course papers)	12 (2) 0.07 %
з Інтернету (0.70 %)		
ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ДЖЕРЕЛО URL	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/d4ce34b0-b6de-4506-902f-77c218e33e00/content	43 (3) 0.26 %
2	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9144923/	29 (1) 0.18 %
3	https://pub.dev/packages/camera_process/versions/1.0.0/example	26 (2) 0.16 %
4	https://github.com/Apparence-io/CamerAwesome/issues/364	17 (1) 0.10 %
Список прийнятих фрагментів (немає прийнятих фрагментів)		
ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗМІСТ	КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)

Рисунок В.2 – Звіт з перевірки на плагіат

ДОДАТОК Г

Експертний висновок результатів перевірки кваліфікаційної роботи на
відповідність оформлення вимогам ДСТУ 3008: 2015

1

Експертний висновок результатів перевірки кваліфікаційної роботи

студент
(посада)

програмної інженерії
(кафедра)

ПЗМ-23-1
(група)

Филиппов Артем Максимович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Зауваження

Пункт ДСТУ 3008-2015	Зміст пункту	Сторінка кваліфікаційної роботи
1	2	3
	7.1 Загальні положення	
	7.3 Нумерація сторінок звіту	
	7.4 Нумерація розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів	
	7.5 Рисунки	
	7.6 Таблиці	
	7.7 Переліки	
	7.8 Примітки	
	7.9 Виноски	
	7.10 Формули та рівняння	
	7.11 Посилання	
	7.13 Список авторів	
	7.14 Скорочення та умовні позначки	
	7.15 Додатки	

зауважень немає

Експерт

18.06.2025

Олена ОЛШНИК

(прізвище, ініціали)

Рисунок Г.1 – Експертний висновок