

**Чопа Дмитро Анатолійович** (кандидат технічних наук, старший науковий співробітник)<sup>1</sup>

**Дерев'янчук Анатолій Йосипович** (кандидат технічних наук, професор)<sup>2</sup>

**Москаленко Денис Русланович**<sup>2</sup>

**Журавльов Андрій Володимирович**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Національний університет оборони України, Київ, Україна

<sup>2</sup> Сумський державний університет, Суми, Україна

<sup>3</sup> Головне управління Ракетних військ і артилерії та безпілотних систем Генерального штабу Збройних Сил України

## ПІДХІД ЩОДО ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ ІЗ ЗРАЗКАМИ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Сьогодні однією з нагальних проблем, з якою стикаються Збройні Сили України у відбитті збройної агресії російської федерації, є великий обсяг ремонтно-відновлюваних робіт з повернення до строю пошкоджених зразків озброєння та військової техніки. Крім того, зростання чисельності Збройних Сил України призводить до збільшення кількості військово-технічних спеціалістів для проведення обслуговування і ремонту зразків озброєння та військової техніки. За наявності численної номенклатури озброєння як радянського виробництва, так і країн-партнерів, одним із факторів швидкого відновлення зразків озброєння та військової техніки є комплектування ремонтно-відновлювальних підрозділів кваліфікованим особовим складом, який спроможний проводити ремонтно-відновлювальні роботи якісно та у стислі терміни. Зазначений фактор, а також відсутність необхідної матеріально-технічної бази ремонтно-відновлювальних підрозділів, потребують запровадження новітніх, інноваційних підходів у вирішенні цієї проблеми. Метою статті є проведення аналізу проблем, що пов'язані з інформаційним забезпеченням ремонтно-відновлювальних робіт із зразками озброєння та військової техніки й на основі цього запропонувати підхід щодо часткового вирішення зазначеної проблеми шляхом застосування спеціального програмного забезпечення на базі технологій доповненої реальності (Augmented reality (AR)). Впровадження AR-технологій у ремонтні та виробничі процеси підвищує продуктивність фахівця, забезпечивши його простими покроковими інструкціями. AR може накладати згенеровану інформацію на зовнішній вигляд реального зразка озброєння та військової техніки, що потребує ремонту чи обслуговування, покращуючи сприйняття такого об'єкта фахівцем. Формуючи виконавчі інструкції шляхом накладання їх на зразки озброєння та військової техніки через спеціальний застосунок на мобільному пристрої, зменшується когнітивне навантаження на мозок спеціаліста, який виконує ремонтно-відновлювальні роботи. Використання AR-технологій дає змогу зменшити кількість помилок під час виконання фахівцем роботи, а в деяких випадках і зовсім їх уникнути. Найбільш вдалим поєднанням є використання мобільних пристроїв (смартфонів, планшетів) для роботи з AR як для ремонтно-відновлювальних робіт, так і для навчання спеціалістів з ремонту. Під час проведення дослідження застосовувались такі методи: аналіз, систематизація, обґрунтування, оцінювання, 3D моделювання. Зазначений методологічний підхід дав змогу авторам статті отримати такі результати: обґрунтувати доцільність запровадження новітніх, інноваційних підходів для проведення ремонтно-відновлювальних робіт із зразками озброєння та військової техніки в сучасних умовах, запропонувати підхід щодо використання спеціального програмного забезпечення на основі технологій AR, розробити схему та створити спеціальне програмне забезпечення – застосунок QUADRANT та перевірити його працездатність на прикладі генерування AR-інструкції для обслуговування окремих елементів (агрегатів) зразка артилерійського озброєння. Крім того, у статті обґрунтовано доцільність використання вищезазначеного застосунку для покрокової підтримки технологічного процесу обслуговування зразка озброєння та військової техніки. Отримані результати дослідження забезпечать: інформаційну підтримку процесу відновлення озброєння та військової техніки; спрощення завдань для військово-технічних спеціалістів, рівень знань і навичок яких може бути мінімальним; ідентифікацію реального об'єкта, що полегшить пошук несправностей та їх усунення; аналіз нештатних ситуацій, які можливі під час проведення ремонту з урахуванням багатьох факторів і реальних пошкоджень. Особливо корисним розроблений застосунок може бути для військово-технічних спеціалістів, які призначені за мобілізацією, або тих, які з певних причин втратили свої компетентності, спеціалістів із різним

цивільним бекграундом, які вперше стикаються із зразками озброєння та військової техніки. Впровадження AR-технологій є важливим та перспективним кроком як у покращенні процесу підготовки військовослужбовців для ремонтно-відновлювальних підрозділів, так і безпосередньо під час виконання ремонтно-відновлювальних робіт.

**Ключові слова:** ремонтно-відновлювальні роботи, технології доповненої реальності, технології 3D моделювання, цифрові двійники.

### Вступ

З початком повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України перед Збройними Силами України (далі – ЗС України) постали нові виклики, що вимагають нестандартних рішень для їх подолання. Одним із таких викликів є знищення ворога, що має чисельну перевагу, як в зразках озброєння та військової техніки (далі – ОВТ), так і в особовому складі, меншою кількістю наявного особового складу та ОВТ. Результати проведення успішних оборонних операцій бойовими частинами ЗС України свідчать, що швидке відновлення пошкоджених зразків ОВТ, штатними ремонтними органами частин і підрозділів, поновлення втраченого ОВТ, зокрема за рахунок трофейного озброєння дає змогу зберігати вогневу потужність підрозділу та зменшує кількість втрат як особового складу, так і ОВТ.

З розгортанням ЗС України шляхом створення нових підрозділів, комплектація яких відбувається, переважно, за рахунок мобілізованих громадян без досвіду військової служби або військовослужбовців – резервістів із втраченими знаннями, уміннями та навичками, створює перед

ЗС України проблему – формування боездатних підрозділів за короткі терміни в умовах війни. Поява таких викликів вимагає нетривіальних, системних підходів до їх вирішення, зокрема, технологічних. Обслуговування та ремонт зразків ОВТ, як радянського виробництва, так і зразків ОВТ країн НАТО вимагає наявності фахівців зі спеціальними технічними знаннями та навичками. Однак набути швидко нові або відновити втрачені в умовах війни практично неможливо.

Наведені вище міркування, без сумніву, вимагають нових рішень і підходів до вирішення проблеми. Тому реалізація нових технологічних рішень для підготовки фахівців із впровадженням сучасних інформаційних технологій у процес ремонту і відновлення ОВТ в сучасних умовах має пріоритетне значення.

**Постановка проблеми.** З початком широкомасштабного вторгнення у 2022 році дольова частка застосування ракетно-артилерійського озброєння зросла до 90% у порівнянні з веденням бойових дій в збройних конфліктах кінця ХХ – початку ХХІ століття. На рис. 1 наведено роль Ракетних військ і артилерії у бойових діях сучасної війни [1].

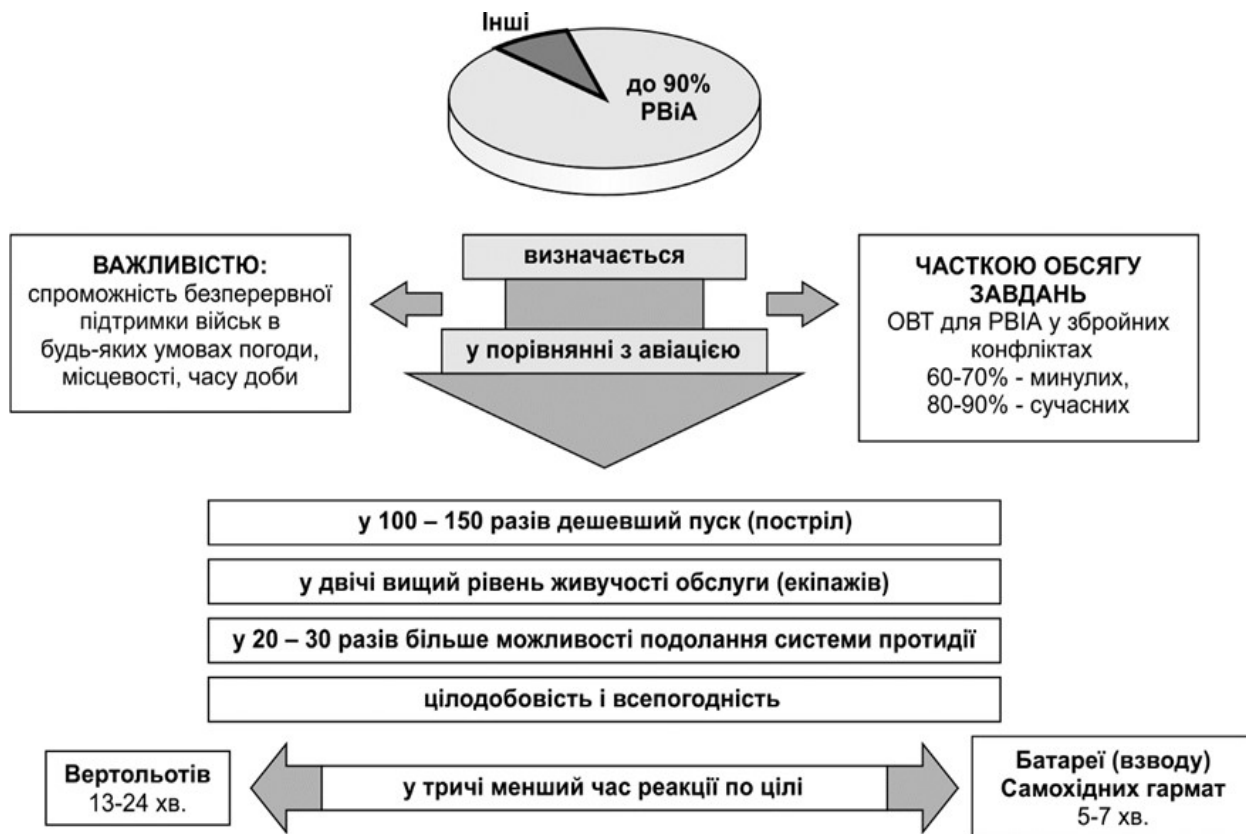


Рисунок 1 – Роль Ракетних військ і артилерії у російсько-українській війні [1]

Окрім названих проблем додаються такі: технічне та моральне старіння зразків ОБТ радянського парку;

вичерпання ресурсу зразків ОБТ через високу інтенсивність ведення бойових дій;

технічні несправності зразків, що обладнані електронними (автоматизованими) системами позиціонування та наведення, що викликані умовами експлуатації ОБТ.

Обслуговування зразків ОБТ за наявності названих вище проблем, потребує спеціальних знань та навичок у фахівців, а також забезпечення безпеки під час ремонтно-відновлювальних робіт. Отже, виконання завдань своєчасного та якісного ремонту ОБТ стало вагомим проблемою, яка пов'язана з підготовкою військово-технічних спеціалістів для ремонтно-відновлювальних підрозділів.

Ураховуючи досвід проведення антитерористичної операції, операцій об'єднаних сил та українсько-російської війни часткове вирішення існуючих проблем пропонується за рахунок застосування сучасних технологічних рішень, а саме: створенням віртуальних ремонтних лабораторій, здатних задовольнити потреби військ у ремонті і відновленні ОБТ [2]. З наведених вище міркувань, доцільно розглянути використання новітніх інформаційних технологій AR, що базуються на методах 3D моделювання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням застосування AR технологій у процесі ремонту та проблемам недосконалості проведення ремонтно-відновлювальних робіт приділяється досить багато уваги зі сторони науковців та дослідників, про що свідчить чисельна кількість наукових публікацій та досліджень. У роботах [3; 4] автори описують особливості та переваги використання AR систем у ремонті промислового обладнання та доцільності використання таких систем обслуговуючим персоналом різного рівня кваліфікації. Розкриваються різноманітні сфери застосування в процесі ремонту техніки.

Роботи [5; 6] присвячені розробленню систем AR, вибору апаратного і програмного забезпечення та методам візуалізації інструкцій у системі, методології вибору критеріїв розроблення таких систем. У них також розкриваються напрямки розвитку та новітні тренди у використанні технологій AR, аналізуються підходи до впровадження і практичного їх використання у підготовці спеціалістів різноманітних галузей.

У [7] розкрито підходи щодо дефектації обладнання на основі технологій AR, що дає змогу створювати мультимедійні звіти проведеного технічного обслуговування, проводити оцінку стану обладнання. У джерелі [8] запропоновано обслуговування промислової техніки через дистанційний зв'язок між обслуговуючим персоналом та експертами-інженерами у

реальному часі. Команда експертів-інженерів у реальному часі дистанційно відстежує дії спеціаліста ремонтника з камери AR окулярів та надає інструкції щодо обслуговування обладнання. У роботі [9] автори (Морська науково-дослідна лабораторія, Вашингтон) розглядають системи, які застосовуються як для підготовки особового складу систем озброєння, так і систем у режимі реального часу, що допомагають контролювати тактичну обстановку на полі бою. Одночасно надається оцінка використанню таких систем.

У [10; 11] досліджується використання технологій AR для навчання технічних спеціалістів у різних галузях техніки. Надаються покрокові інструкції, які надає система у режимі реального часу для складання різних вузлів і механізмів. Висвітлюються різні підходи до застосування технологій AR у процесі навчання та найбільш вживаних методів оцінювання.

Наукові публікації фахівців, зокрема, Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації ОБТ і Національного університету Повітряних сил імені Івана Кожедуба [12; 13] висвітлюють прогалини існуючих підходів та методів ремонту ОБТ.

Інші статті [14; 15] фокусують увагу на розробці математичних моделей функціонування системи відновлення та методик оцінювання ефективності відновлення ОБТ. У статтях [16; 17] пропонується удосконалення існуючих методик оцінювання економічної ефективності ремонтно-відновлювальних робіт.

Аналіз публікацій, присвячених застосуванню 3D моделюванню і технологій AR в ремонтно-відновлювальному процесі, показав що жодна з них не розглядає питань, які поставлені на початку статті. Автори розглянутих публікацій не доводять, що використання 3D і AR технологій здатне суттєво покращити як процес навчання фахівців, так і безпосередньо ремонтно-відновлювальні роботи. Разом з тим, проблема побудови ефективної системи розроблення та впровадження технологій AR у змінних динамічних умовах обстановки, коли зразки ОБТ потребують постійного оновлення залишається не вирішеною. Затримка у розробленні та застосуванні технологій AR у військах потребуватиме додаткового залучення значної кількості сил та ресурсів і призводитиме до їх нераціонального використання.

**Метою статті** є проведення аналізу проблем, що пов'язані з інформаційним забезпеченням ремонтно-відновлювальних робіт із зразками озброєння та військової техніки й на основі цього запропонувати підхід щодо часткового вирішення зазначеної проблеми шляхом застосування спеціального програмного забезпечення на базі технологій доповненої реальності (Augmented reality (AR)).

## Виклад основного матеріалу дослідження

Класичні методи організації і проведення ремонту ОБТ, особливо зразків ОБТ армій країн НАТО, не відповідають викликам сучасної війни. Це пов'язано, у першу чергу, відсутністю відповідних спеціалістів. На даний час ремонт іноземної техніки відбувається із дистанційним залученням певних фахівців або відправленням зразків ОБТ за кордон.

На погляд авторів, одним із сучасних технологічних рішень у питанні ремонтно-відновлювальних процесів ОБТ є використання технологій доповненої реальності, які набувають популярності у використанні арміями різних країн світу для покращення навчання військовослужбовців, проведенні бойових операцій, технічного обслуговування та ситуаційної обізнаності. У контексті технічного обслуговування та ремонту зразків ОБТ AR технології допомагають спеціалістам-ремонтникам надаючи візуальні інструкції в режимі реального часу та накладаючи віртуальне зображення механізмів, (окремих деталей) на реальні об'єкти, підвищують точність та ефективність ремонтно-відновлювальних процесів.

Одним із лідерів використання технологій доповненої реальності у питаннях ремонту і технічного обслуговування зразків ОБТ є безумовно збройні сили США. Так, компанією Microsoft для потреб армії США була розроблена інтегрована система візуального доповнення (Integrated Visual Augmentation System (далі – IVAS)) на базі технологій окулярів Microsoft HoloLens, метою якої є підвищення ситуаційної обізнаності солдат, планування бойових операцій і навчання шляхом інтеграції та поєднання AR технологій в одному пристрої. Система оснащується сенсорами і камерами для збору і оброблення даних про оточуюче середовище, та їх оновленням в режимі реального часу для точного накладання віртуального контенту в реальному середовищі. Наявність великої кількості камер і сенсорів у системі дозволяє поєднувати сучасні технологічні можливості нічного та теплового бачення, забезпечуючи виконання в умовах низького освітлення. Також, IVAS має опцію підключення до армійської мережі для обміну даними між бійцями, командним складом, а також підключатись до мережі бездротових камер, що встановлені на зразках ОБТ, забезпечуючи ведення вогню бійцями за перешкодами.

Зазначена система надає бійцям проєкційний дисплей (Heads-Up Display (далі – HUD)), який відображає таку інформацію, як карти, позиції противника, цілі бойової задачі в полі зору солдата. Надає можливості реальних сценаріїв навчання, моделюючи бойові ситуації та оточуюче середовище. Бійцями може відпрацьовуватись тактика бою в безпечному віртуальному середовищі. Хоча система IVAS орієнтована саме на ситуаційну обізнаність і бойову ефективність, її

потенціал включає функціональні можливості візуалізації та накладання віртуальної інформації в польових умовах під час виконання завдань із технічного обслуговування і ремонту зразків ОБТ. Крім того, спеціалістами армії США вивчаються і впроваджуються AR технології саме у питаннях технічного обслуговування і ремонту зразків ОБТ. Програма The Augmented Reality Maintenance Aid (далі – ARMA) була створена армією США для підвищення ефективності та результативності задач із технічного обслуговування і ремонту за рахунок використання AR технологій. Метою ARMA є надання армійським технічним спеціалістам візуальну настанову і технічну підтримку в режимі реального часу, забезпечуючи скорочення часу на виконання складних завдань із технічного обслуговування.

Основними функціями ARMA є надання візуальних покрокових інструкцій. Тобто технічним спеціалістам надається візуалізована віртуальна інформація, яка накладається на реальний об'єкт під час технічного обслуговування або ремонту. Ця віртуальна інформація може містити покрокові інструкції, що виділяють конкретні деталі або вузли зразка ОБТ, інструменти, що необхідні для тієї чи іншої задачі та інтерактивні діаграми і 3D моделі, вузлів (окремих деталей), які можна обертати, збільшувати і віддаляти для кращого і більш глибокого розуміння складної будови. Діагностика та усунення технічних несправностей в режимі реального часу за допомогою інтеграції різноманітних сенсорів, що вбудовані в обладнання з ARMA, для відображення діагностичних даних у режимі реального часу, прискорює виявлення технічними спеціалістами несправностей і швидке усунення проблеми. Система може виділити потенційно несправні області в конкретному механізмі або зразку ОБТ в цілому, на основі даних, які отримуються з вбудованих сенсорів.

Віддалена експертна технічна підтримка. Технічними спеціалістами додатково може використовуватись функція передачі потокового відео в режимі реального часу інженерно-експертному персоналу, що знаходиться у віддаленому місці. Такі експерти можуть надавати рекомендації з технічного обслуговування і ремонту зразків ОБТ безпосередньо технічним спеціалістам, що працюють в польових умовах.

Окремо слід виділити можливості з використання ARMA для навчання спеціалістів-ремонтників. Перед тим як починати роботу з реальними зразками ОБТ, є можливість створення реалістичних умов з технічного обслуговування і ремонту зразків ОБТ у віртуальному середовищі. Така можливість, крім швидкого навчання нового спеціаліста, допомагає тим, хто вже працює на певних посадах, розвивати та удосконалювати свої навички, знижуючи вірогідність помилок під час виконання реальних завдань з технічного обслуговування.

Надаючи рекомендації та технічну підтримку в режимі реального часу ARMA підвищує ефективність технічних спеціалістів під час виконання завдань з технічного обслуговування і ремонту зразків ОБТ, а візуальні покрокові інструкції та інтерактивні діаграми знижують ризик помилок, гарантуючи правильне і безпечне виконання даних завдань. Також, за рахунок проведення швидких і точних процесів технічного обслуговування і ремонту зразків ОБТ, ARMA дозволяє скоротити час простою зразка ОБТ і швидко повернути його в експлуатацію, що додатково в середньостроковій перспективі призводить до значної економії ресурсів.

ARMA може застосовуватись для допомоги технічним спеціалістам у технічному обслуговуванні та ремонті таких зразків ОБТ, як танки, БТР, БМП, шляхом генерації покрокових інструкцій з технічного обслуговування і ремонту, та надання діагностичних даних у режимі реального часу забезпечуючи їх працездатність і ефективність. Також, система може застосовуватися під час обслуговування літаків та вертольотів, допомагаючи технічним спеціалістам виконувати складні специфічні завдання.

Основною метою впровадження технологій AR у ремонтні та виробничі процеси є підвищення продуктивності спеціаліста-ремонтника шляхом надання йому простих для виконання покрокових інструкцій. Одночасно AR може накладати згенеровану інформацію на вигляд реального зразка ОБТ, що потребує ремонту або обслуговування, покращуючи сприйняття такого об'єкту спеціалістом.

Фахівці, які виконують завдання з технічного обслуговування або ремонту пошкодженого ОБТ змушені звертатися до різних паперових або електронних документів, інструкцій з ремонту та експлуатації зразків ОБТ для правильного виконання необхідних операцій. Це призводить до збільшення вірогідності помилок та виникнення нештатних ситуацій під час ремонтного процесу. Такі чинники, без сумніву, впливають на боездатність підрозділів.

Використання технологій AR дає змогу зменшити кількість помилок під час виконання робіт спеціалістом, а в окремих випадках взагалі уникнути їх. Шляхом генерації виконавчих інструкцій, накладаючи їх на зразок ОБТ через спеціальний додаток на мобільному пристрої, зменшується когнітивне навантаження на мозок спеціаліста, що проводить ремонтно-відновлювальні роботи. У даному випадку військово-технічний спеціаліст може й не мати достатніх знань і навичок для роботи з озброєнням, але всі необхідні інструкції до виконання йому генерує додаток AR, в якому кількість можливих інструкцій і дій обмежується складністю цифрового двійника – 3D моделі зразка ОБТ, що завантажується у додаток. Ступінь деталізації 3D моделі зразка ОБТ (Qel) визначає кількість інструкцій, які можна згенерувати для спеціаліста та впливає на кількість його потенційних помилок (Qms) під час ремонту. При збільшенні Qel кількість можливих помилок Qms зменшується.

AR може бути реалізована за допомогою будь-якого типу апаратного забезпечення, який здатний взаємодіяти з органами відчуттів людини: мобільні пристрої (смартфони, планшети), шоломні дисплеї (HMD), портативні дисплеї (HND), проектори, навушники та ін. Така кількість апаратних пристроїв для застосування технологій AR надає багатоваріантний вибір як для розроблення, так і експлуатації ОБТ.

Найбільш вдалою комбінацією, на наш погляд, є застосування мобільних пристроїв (смартфони, планшети) для роботи з AR як для проведення ремонтно-відновлювальних робіт, так і для підготовки спеціалістів-ремонтників. Дослідження цього напрямку обумовлено такими причинами:

доступністю – кожен потенційний користувач застосунку вже має власний смартфон;

простотою операцій на мобільному пристрої – користувачка взаємодія із застосунком не відрізняється від будь-яких інших мобільних застосунків, що встановлені на мобільний пристрій;

дешевизною – вартість смартфона або планшета в порівнянні з AR окулярами в середньому нижча у 5 разів.

Мобільні пристрої для роботи з технологіями AR використовують штатну комбінацію камер і сенсорів (основна і фронтальна RGB камери, гіроскоп, акселерометр, магнітометр, GPS, сенсори наближення), дані з яких збираються і обробляються центральним (central processing unit (CPU)) та графічним процесорами (graphics processing unit (GPU)) смартфоном або планшетом для роботи з об'єктами у реальному і віртуальному середовищах.

Саме поєднання коректної обробки отриманих даних з камери і сенсорів мобільних пристроїв та інтеграція набору алгоритмів комп'ютерного бачення для точної візуалізації та накладання віртуального контенту доповненої реальності на реальний об'єкт відіграє ключову роль у розробленні та подальшому застосуванні AR додатків.

Пропонується розглянути частково розроблений та апробований експериментальний AR застосунок QUADRANT, що дає змогу генерувати інструкції AR на прикладі обслуговування накатника 122-мм гаубиці Д-30. Застосунок побудований за безмаркерним принципом. Для накладання і розміщення віртуальних об'єктів у реальному світі застосунок не потребує додаткового маркування реальних об'єктів. Алгоритми комп'ютерного бачення у режимі реального часу взаємодіють з усіма необхідними сенсорами мобільних пристроїв для обробки інформації про особливості оточуючого середовища для прив'язки та накладання віртуальних об'єктів, що забезпечує гнучкість у використанні такого застосунку. QUADRANT може взаємодіяти з будь-якою одиницею зразка ОБТ, що відповідає 3D моделі, що завантажена у застосунок.

Спрощена схема роботи з додатком QUADRANT наведена на рис. 2.

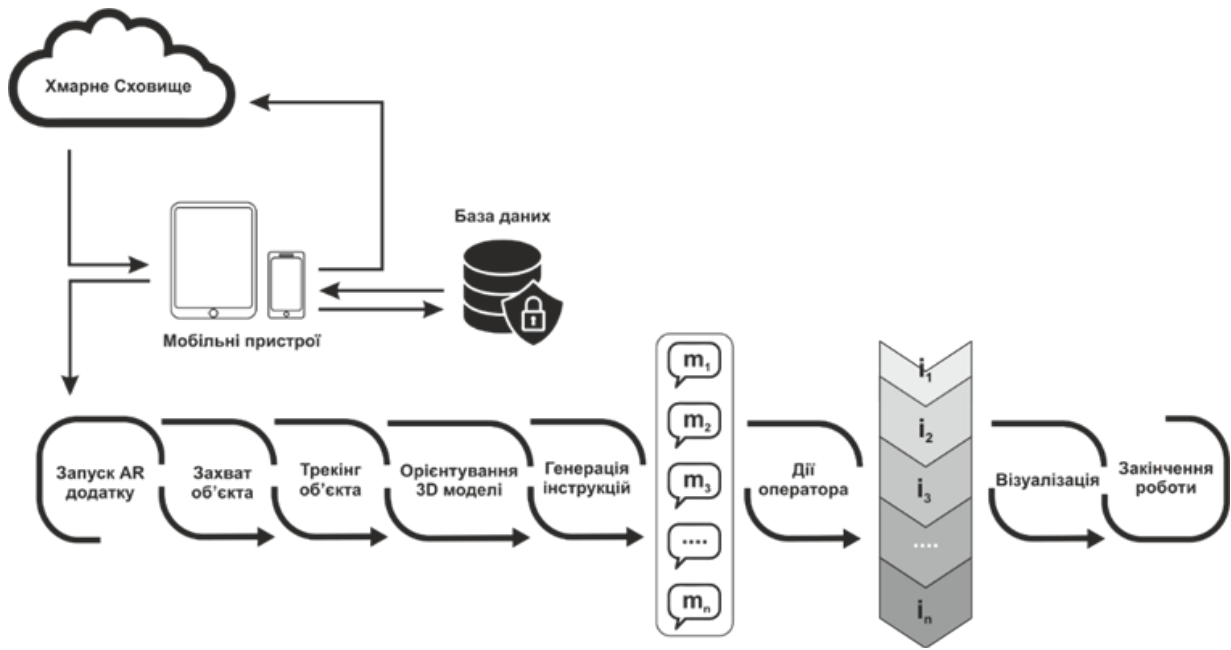


Рисунок 2 – Спрощена схема роботи з додатком QUADRANT:

$m_1 \dots m_n$  – кількість згенерованих інструкцій;

$i_1 \dots i_n$  – кількість дій, що виконує оператор

Порядок роботи із застосунком (як приклад) доцільно викласти так:

завантаження 3D моделі зразка ОБТ у застосунок із бази даних або хмарного середовища;

наведення мобільного пристрою на об'єкт та запуск застосунку на ньому;

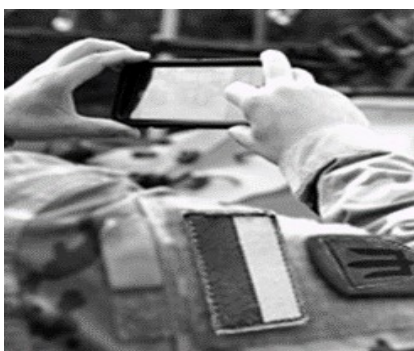
захват камерою мобільного пристрою необхідного об'єкта та його оброблення алгоритмами машинного бачення у застосунку;

використання інструкцій з обслуговування, що згенеровані застосунком;

завершення роботи.

Після запуску застосунку QUADRANT на

мобільному пристрої система ідентифікує зразок ОБТ, завантажений у вигляді 3D моделі. Для зменшення технічних вимог до об'єму сховища мобільного пристрою, пропонується робота з 3D моделлю лише одного зразка ОБТ. Однак, програмно така вимога не обмежується – кількість 3D моделей зразків ОБТ доступних для завантаження у застосунок обмежується лише об'ємом штатного сховища мобільного пристрою. Для ідентифікації зразка ОБТ або його окремого вузла необхідно мобільний пристрій навести на об'єкт таким чином, щоб потрібний елемент попав у фокус камери мобільного пристрою (рис. 3).



а



б

Рисунок 3 – Захват об'єкта камерою мобільного пристрою:  
а – наведення пристрою на об'єкт; б – захват об'єкта камерою

Застосунок QUADRANT отримує кадр із камери мобільного пристрою і порівнює його із 3D моделлю зразка ОБТ, що зберігається у сховищі мобільного пристрою. Алгоритми комп'ютерного бачення виділяють відмінні точки у кадрі камери мобільного пристрою, які можна відстежувати у

режимі реального часу. Як правило, це різні кути, краї об'єкту та певні області у кадрі, що мають достатню текстуровану площу. Для кожної виявленої такої точки створюється унікальний дескриптор, що містить у собі локальну інформацію про зображення навколо ключової

точки, та буде співставлений з іншими дескрипторами у послідовних кадрах зображення з камери для пошуку відповідностей між дескрипторами відмінних кадрів. У разі досягнення достатньої оцінки відповідності об'єкт (механізм, вузол, зразок ОБТ загалом) успішно ідентифікується і функціонування

застосунку переходить у режим трекінгу (відстеження) об'єкта. Подальші захоплені кадри обробляються лише алгоритмом трекінгу, оцінюючи відповідності між 3D моделлю та кадрами об'єкта, що відстежується. Трекінг об'єкта відбувається до завершення роботи застосунку користувачем (рис. 4).



Рисунок 4 – Трекінг об'єкта камерою пристрою через застосунок

Алгоритми трекінгу підтримують безперервність виявлених контрольних точок у всіх кадрах, забезпечуючи стабільне подальше відображення AR-контенту. Як тільки відбулась ідентифікація об'єкту системою, застосунок QUADRANT робить позиціонування 3D моделі зразка ОБТ відповідно до положення зразка ОБТ у реальному середовищі. Для точного позиціонування 3D моделі і подальшій точній візуалізації віртуальних об'єктів, алгоритми AR застосунку визначається структура (плоскі поверхні: поли, стіни, столи тощо) і положення реального середовища, шляхом кластеризації характерних точок і підгонки набору геометричних фігур до цих кластерів.

Як тільки алгоритми додатку розпізнають оточуюче середовище і відслідковують положення

камери мобільного пристрою, застосунок може відображати накладені віртуальні об'єкти у правильному місці і положенні відносно реального об'єкту. Віртуальні об'єкти відображаються у конкретних місцях реального об'єкту або середовища, крім того, їх візуалізація відбувається з урахуванням освітлення і тіней, для надання необхідного реалізму віртуальному контенту. У подальшому застосунок QUADRANT генерує покрокові інструкції для спеціаліста-ремонтника.

Кількість таких інструкцій залежить від типу і складності ідентифікованого об'єкту (вузла, механізма) та обмежується штатним ремонтним регламентом розробника. На рис. 5 наведений приклад інструкцій, що генеруються застосунком QUADRANT для робочої моделі накатника 122-мм гаубиці Д-30.

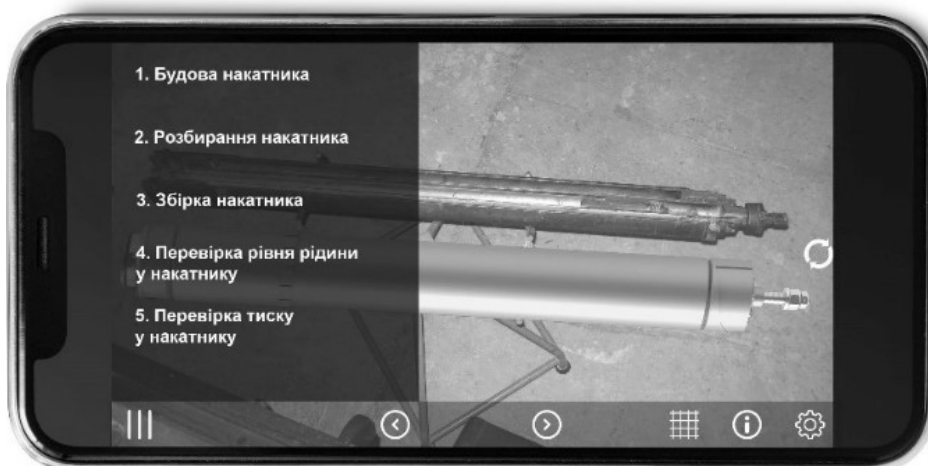


Рисунок 5 – Інструкції у застосунку QUADRANT з роботи із накатником 122-мм гаубиці Д-30

Для відкриття меню необхідно натиснути піктограму меню на екрані смартфона і обрати необхідну інструкцію користувача. На рис. 5 наведено доступні у застосунку інструкції з обслуговування накатника 122-мм гаубиці Д-30:

1. Будова накатника.
2. Розбирання накатника.
3. Збирання накатника.
4. Перевірка рівня рідини у накатнику.
5. Перевірка тиску у накатнику.

Кожна з інструкцій має графічне супроводження та анімацію. Так, наприклад, інструкція (поз. 2), покроково демонструє послідовність виконання операцій з використанням необхідних інструментів та місць їх знаходження у комплектах ЗІП. Решта інструкцій працюють за аналогічним алгоритмом. Спочатку подається 3D модель об'єкта і його

анімація. Праворуч (ліворуч) відкривається панно з рекомендованою послідовністю виконання операцій. Крім того, надаються поради від досвідчених фахівців.

По завершенню ідентифікації об'єкта і моделі, переглядаються доступні інструкції в меню. Після вибору потрібної, застосунок QUADRANT виконує її візуалізацію (рис. 6). На екрані поступово, крок за кроком, відображається процес розбирання накатника з візуальними коментарями до візуалізованої анімації у відповідності із штатною інструкцією до його розбирання (рис. 7). Крім того, в існуючій версії застосунку є доступні кнопки «Вперед», «Назад», що дають змогу перемикатись між інструкціями, накладати сітку для чіткішого визначення положення об'єкту застосунком, отримувати інформацію про доступні функції та виконувати необхідні налаштування.



Рисунок 6 – Фрагмент візуалізації будови накатника 122-мм гаубиці Д-30



Рисунок 7 – Скріншот візуалізації розбирання накатника 122-мм гаубиці Д-30

Отже, застосування спеціалізованого програмного забезпечення, що побудоване на AR технологіях має суттєві переваги порівняно з класичною організацією ремонтно-відновлювальних робіт, коли спеціалісти-ремонтники використовують технічну документацію на паперових або звичайних цифрових носіях. Це значно прискорює час на проведення ремонтно-відновлювальних робіт, забезпечує економію ресурсів (як часових, так і матеріальних) і, головне, обумовлює швидке повернення зразка ОВТ до застосування за призначенням.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Аналіз проблем, що пов'язані з інформаційним забезпеченням ремонтно-відновлювальних робіт із зразками озброєння та військової техніки під час ведення сучасних бойових дій, підтвердив актуальність і необхідність комплексного підходу для їх вирішення на основі використання сучасних інформаційних технологій, а саме технологій доповненої реальності. Ці технології можуть використовуватися безпосередньо як під час



проведення ремонтно-відновлювальних робіт, так і підготовки військово-технічних спеціалістів.

Запропонований підхід щодо створення та використання застосунку QUADRANT на основі технології доповненої реальності є важливим та перспективним кроком у забезпеченні інформаційної підтримки як процесу підготовки фахівців-ремонтників, так і якісного ремонту зразків озброєння та військової техніки у стислі терміни.

Зазначений застосунок надає повний супровід і виступає у ролі віртуального асистента та помічника, що спрощує завдання для військово-технічного спеціаліста, рівень знань і навичок у даній галузі у якого, може бути мінімальним. Особливо корисним такий додаток стане для військово-технічних спеціалістів, які були

призвані за мобілізацією, втратили набуті в минулому свої знання і навички, але дасть змогу їм відразу приступити до виконання ремонтно-відновлювальних робіт. Можливості застосунку роблять його інструментом для аналізу нештатних ситуацій, що можливі під час проведення ремонту з урахуванням багатьох факторів і реальних пошкоджень.

Подальшими кроками, на погляд авторів, є вдосконалення застосунку шляхом нарощування бази даних з 3D моделями як окремих механізмів, так і зразків озброєння та військової техніки у цілому, особливо, іноземного виробництва. Крім того, вбачається доцільним розроблення та впровадження у застосунок алгоритмів дефектації зразків озброєння та військової техніки.

### Список бібліографічних посилань

- 1. Бойовий статут Артилерії Сухопутних військ Збройних Сил України.** Частина II (дивізіон, батарея, взвод, гармата). Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії спільно з управлінням ракетних військ і артилерії командування підготовки командування сухопутних військ ЗСУ. Київ. БП 3-(07).03. 2020.
- 2. Чопа Д. А., Дерев'яничук А. Й., Москаленко Д. Р., Максимчук Д. С.** Віддалені віртуальні ремонтні лабораторії озброєння та військової техніки: вимоги сьогодення та перспективи. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2023. № 1(46). С. 115–123.
- 3. Re G. M., Bordegoni M.** An Augmented Reality Framework for Supporting and Monitoring Operators during Maintenance Tasks. In: Shumaker, R., Lackey, S. (eds) *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Applications of Virtual and Augmented Reality. VAMR. Lecture Notes in Computer Science*. 2014. vol 8526. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-07464-1\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07464-1_41).
- 4. Sanna, A., & Manuri, F.** A Survey on Applications of Augmented Reality. *Advances In Computer Science: An International Journal*. 2016. № 5(1). С. 18–27.
- 5. Palmarini R., Erkoyuncu J., Roy R.** An Innovative Process to Select Augmented Reality (AR). *Technology for Maintenance. Procedia CIRP*. 2017. № 59. С. 23–28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.10.001>.
- 6. Kamińska D., Zwoliński G., Laska-Leśniewicz A., Raposo R., Vairinhos M., Pereira E., Urem F., Hinić M., Haamer R., Anbarjafari G.** Augmented Reality: Current and New Trends in Education. *Electronics*. 2023. № 12(16). DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12163531>.
- 7. Neges H.-M., Wolf M., Abramovici M.** Secure Access Augmented Reality Solution for Mobile Maintenance Support Utilizing Condition-Oriented Work Instructions. *Procedia CIRP*. 2015. Vol. 38. P. 58–62. DOI: 10.1016/j.procir.2015.08.036.
- 8. Dimitris M., Siatras V., Angelopoulos J.** Real-Time Remote Maintenance Support Based on Augmented Reality (AR). *Applied Sciences*. 2020. № 10 (5), 1855. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10051855>.
- 9. Livingston M. A., Rosenblum L. J., Brown D. G., Schmidt G. S., Julier S. J., Baillot Yo., Swan II E. J., Ai Zh., Maassel P.** Military Applications of Augmented Reality. *Handbook of Augmented Reality* / edited by Borko Furht, Springer, USA. 2011.
- 10. Webel S., Engelke T., Peveri M., Olbrich M., Preusche C.** Augmented reality training for assembly and maintenance skills. *BIO Web of Conferences*. 2011. 1. DOI: 10.1051/bioconf/20110100097.
- 11. Goldiez B., Liarokapis F.** Trends and Perspectives in Augmented Reality Training, *The PSI Handbook of Virtual Environments for Training and Education: Developments for the Military and Beyond (Three Volumes) / Schmorrow, D., Cohn, J., Nicholson, D. (eds), Praeger Security International*. 2008. Vol. 3. Section 2. P. 78–289.
- 12. Дачковський В. О., Стрельбіцький М. А.** Математична модель функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2020. № 2(38). С. 87–94. URL: <https://sit.nuou.org.ua/article/view/212784> (дата звернення: 13.05.2024).
- 13. Шишанов М. О., Гуляєв А. В., Шевцов М. М.** Обґрунтування методу моделювання процесу функціонування відновлення озброєння та військової техніки угруповання військ. *Озброєння та військова техніка*. 2017. № 1(13). С. 75–77.
- 14. Дачковський В. О., Коцюрuba В. І.** Методика оцінювання ефективності функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2020. № 1(37). С. 5–14.
- 15. Старцев В. В., Гурін О. М., Просяник В. В., Коломійцев О. В.** Методики оцінювання ефективності відновлення озброєння та військової техніки повітряних сил Збройних Сил України. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. 2022. № 2(12). С. 134–144.
- 16. Сампір О.** Удосконалена методика визначення можливостей з технічної розвідки пошкоджених зразків озброєння та військової техніки в ході ведення бойових дій. *Journal of Scientific Papers – Social Development and Security*. 2021. № 11(2). P. 141–151. DOI:10.33445/sds.2021.11.2.14.
- 17. Сампір О.** Удосконалена методика оцінювання системи відновлення озброєння та військової техніки окремої механізованої бригади. *Journal of Scientific Papers – Social Development and Security*. 2021. Vol. 11. № 5.

**AN APPROACH TO INFORMATION SUPPORT OF REPAIR AND RESTORATION WORKS WITH SAMPLES OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT BASED ON AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES**

*Chopa Dmytro (Candidate of technical sciences, Senior Research Fellow)<sup>1</sup>*

*Derevianchuk Anatolii (Candidate of technical sciences, professor)<sup>2</sup>*

*Moskalenko Denis<sup>2</sup>*

*Zhuravlyov Andriy<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup> *Sumy State University, Sumy, Ukraine*

<sup>3</sup> *Main department of the Artillery and unmanned systems of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Formulation of the problem in general.** Today, one of the urgent problems faced by the Armed Forces of Ukraine in repelling the armed aggression of the Russian Federation is the large volume of repair and renewal work to return damaged weapons and military equipment to service. In addition, the growth in the size of the Armed Forces of Ukraine leads to an increase in the number of military technical specialists to carry out maintenance and repair of weapons and military equipment. Given the presence of a large range of weapons, both Soviet-made and partner countries, one of the factors for the rapid restoration of weapons and military equipment is the staffing of repair and restoration units with qualified personnel capable of carrying out repair and restoration work with high quality and in a short time. This factor, as well as the lack of the necessary material and technical base of repair and restoration units, require the introduction of the latest, innovative approaches to solving this problem. When conducting the research, the following methods were used: analysis, systematization, justification, evaluation, 3D modeling. This methodological approach made it possible to substantiate the expediency of using AR technologies both in the training of military technical specialists and in the repair process, to develop a special software scheme for the QUADRANT application, which allows generating AR instructions for the repair and maintenance of individual components of artillery weapons. The authors of the article proposed the sequence of using the above-mentioned application for step-by-step support of the technological process of service of the sample of weapons and equipment. The authors of the article proposed a sequence of using the above-mentioned application for step-by-step support of the technological process of maintenance of the sample of weapons and equipment. The results of the study will provide: informational support for the process of restoration of the weapons and equipment; simplification of tasks for military-technical specialists, whose level of knowledge and skills may be minimal; identification of a real object, which simplifies the search for malfunctions and their elimination; analysis of abnormal situations that are possible during repairs, taking into account many factors and real damage.

**Analysis of recent researches and publications.** A lot of attention is paid by scientists and researchers to the issues of using AR technologies in the repair process and the problems of the imperfection of repair and restoration works. But the analysis of publications devoted to the use of 3D modeling and AR technologies in the repair and restoration process showed that none of them considers the issues of using 3D and AR technologies to improve both the process of training specialists and the repair and restoration work itself. At the same time, the problem of building an effective system for the development and implementation of AR technologies in the changing dynamic conditions of the situation, when IVT requires constant updating, remains unsolved.

**Presenting the main material.** The main goal of implementing AR technologies in repair and production processes is to increase the productivity of the specialist by providing him with easy-to-follow step-by-step instructions. At the same time, AR can superimpose the generated information on the appearance of a real sample of weapons and equipment in need of repair or maintenance, improving the perception of such an object by a specialist.

**Elements of scientific novelty.** In order to implement and test the possibility of using AR technologies, a scheme was proposed and the QUADRANT application was developed, which allows generating AR instructions for servicing individual elements (aggregates) of the sample of artillery weapon.

**Practical significance of the article.** The use of AR technologies allows to reduce the number of errors during the execution of work by a specialist, and in some cases to avoid them altogether. By generating executive instructions, superimposing them on sample of weapons and equipment through a special application on a mobile device, the cognitive load on the brain of a specialist carrying out repair and restoration work is reduced. The most successful combination is the use of mobile devices (smartphones, tablets) to work with AR both for repair and restoration work and for the training of repair specialists.

**Conclusion and the perspectives of future researches.** The analysis of problems related to the organization of repair and restoration work during modern hostilities confirmed the relevance and necessity of a complex approach to their solution based on the use of modern information technologies, namely AR technologies. The proposed approach to the creation and use of an application based on AR technology is an important and promising step in improving the process of both the training of specialists – repairmen and the high-quality repair of weapons and military equipment in a short period of time.

**Key words:** repair and restoration work, augmented reality technologies, 3D modeling technologies, digital doubles.

## References

- 1. Combat Statute** of the Artillery of the Land Forces of the Armed Forces of Ukraine. Chastyna II (dyvizion, batareia, vzvod, harmata). Naukovo-doslidnyi tsentr raketnykh viisk i artylerii spilno z upravlinniam raketnykh viisk i artylerii komanduvannia pidhotovky komanduvannia sukhopotnykh viisk ZSU. Kyiv. BP 3-(07).03. 2020. **2. Chopa, D., Derevianchuk, A., Moskalenko, D., Maksymchuk, D.,** (2023). Remote virtual repair laboratories of weapons and military equipment: current requirements and perspectives. *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony*. Kyiv: NUOU. № 1(46). S. 115–123. **3. Re, G. M., Bordegoni, M.,** (2014). An Augmented Reality Framework for Supporting and Monitoring Operators during Maintenance Tasks. In: Shumaker, R., Lackey, S. (eds) *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Applications of Virtual and Augmented Reality. VAMR 2014. Lecture Notes in Computer Science*, 8526. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-07464-1\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07464-1_41).
- 4. Sanna, A., & Manuri, F.,** (2016). A Survey on Applications of Augmented Reality. *Advances In Computer Science: An International Journal*, 5(1), 18-27.
- 5. Palmarini, R., Erkoyuncu, J., Roy, R.** (2017). An Innovative Process to Select Augmented Reality (AR) Technology for Maintenance. *Procedia CIRP*, 59, 23-28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.10.001>.
- 6. Kamińska, D., Zwoliński, G., Laska-Leśniewicz, A., Raposo, R., Vairinhos, M., Pereira, E., Urem, F., Hinić, M., Haamer, R., Anbarjafari, G.,** (2023). Augmented Reality: Current and New Trends in Education. *Electronics*. № 12(16). DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12163531>.
- 7. Neges, H.-M., Wolf, M., Abramovici, M.,** (2015). Secure Access Augmented Reality Solution for Mobile Maintenance Support Utilizing Condition-Oriented Work Instructions. *Procedia CIRP*, 38, 58-62. DOI: [10.1016/j.procir.2015.08.036](https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.036).
- 8. Dimitris, M., Siatras, V., Angelopoulos, J.,** (2020). Real-Time Remote Maintenance Support Based on Augmented Reality (AR). *Applied Sciences* 10(5), 1855. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10051855>.
- 9. Livingston, M. A., Rosenblum, L. J., Brown, D. G., Schmidt, G. S., Julier, S. J., Baillot, Yo., Swan, II E. J., Ai, Zh., Maassel, P.,** (2011). Military Applications of Augmented Reality, in *Handbook of Augmented Reality*, edited by Borko Furht, Springer, USA.
- 10. Webel, S., Engelke, T., Peveri, M., Olbrich, M., Preusche, C.,** (2011). Augmented Reality Training for Assembly and Maintenance Skills. *BIO Web of Conferences*. 1. DOI: [10.1051/bioconf/201110100097](https://doi.org/10.1051/bioconf/201110100097).
- 11. Goldiez, B., Liarokapis, F.,** (2008). Trends and Perspectives in Augmented Reality Training. *The PSI Handbook of Virtual Environments for Training and Education: Developments for the Military and Beyond (Three Volumes)*, Schmorrow, D., Cohn, J., and Nicholson, D. (eds), Praeger Security International, 3, 2.
- 12. Dachkovsky, V., Strelbytskyi, M.,** (2020). Mathematical model of the functioning of the system of restoration of weapons and military equipment [online]. *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony*, 2(38). Available at: <https://sit.nuou.org.ua/article/view/212784> [Accessed: 13 May 2024].
- 13. Shishanov, M., Gulyaev, A., Shevtsov, M.,** (2017). Justification of the method of modeling the functioning of the process of restoring the armament and military equipment of a grouping of troops. *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika*, 1(13).
- 14. Dachkovsky, V., Kotsyruba, V.,** (2021). Methodology for evaluating the effectiveness of the system of restoring weapons and military equipment. *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony*, 1(37).
- 15. Startsev, V., Gurin, O., Prosyanyk, V., Kolomytsev, O.,** (2022). Methods of evaluating the effectiveness of the renewal of armaments and military equipment of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnogo naukovo-doslidnoho instytutu vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki*, 2(12).
- 16. Sampir, O.,** (2021). An improved technique for determining the technical intelligence of damaged samples of weapons and military equipment in the course of combat operations. *Journal of Scientific Papers – Social Development and Security*, 11(2), 141–151. DOI: [10.33445/sds.2021.11.2.14](https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.2.14).
- 17. Sampir, O.,** (2021). Improved the methodology for evaluating the system of fire control and military equipment of the mechanized brigade. *Journal of Scientific Papers – Social Development and Security*. 11, 5.