
DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt218.04.054>

ВОЛКОВ О.Є., канд. техн. наук, старш. дослідник,
директор
<https://orcid.org/0000-0002-5418-6723>, e-mail: alexvolk@ukr.net

КОМАР М.М., канд. техн. наук, старш. дослідник,
провід. наук. співроб.. заступ. директора з наукової та організаційної роботи
<https://orcid.org/0000-0001-9194-2850>, e-mail: nickkomar08@gmail.com

ПОПОВ І.В., аспірант,
наук. співроб. відд. інтелектуального управління
<https://orcid.org/0009-0009-7961-9431>, e-mail: popigor7@gmail.com

СИМАХІН В.М., канд. техн. наук,
старш. наук. співроб. лаб. безпілотних комплексів та систем
<https://orcid.org/0000-0003-4497-0925>, e-mail: thevladsima@gmail.com

Міжнародний науково-навчальний центр
інформаційних технологій та систем
НАН України та МОН України,
пр. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна

ПІДХОДИ ДО АДАПТАЦІЇ НАЛАШТУВАНЬ ПОЛЯ ЗОРУ ОПЕРАТОРІВ ПІД ЧАС ТРЕНУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДРОНІВ

Вступ. *Поширення застосування безпілотних літальних апаратів (БпЛА), в тому числі frv-дронів (first-person view), робить актуальнішим створення сучасних тренажерних комплексів підготовки операторів БпЛА та забезпечення оптимальної працездатності БпЛА.*

Досліджено різні чинники впливу на вестибулярний апарат оператора, та особливо ті, що допускають застосування інструментів штучного інтелекту (ШІ). Актуальним є аналіз групи програмно-апаратних чинників та окремо засобів налаштування робочого поля зору оператора. Запропонований метод ефективний як під час експлуатації, так і під час навчання на тренувальних програмно-апаратних комплексах, де це особливо важливо, оскільки оператори тренуються вкрай інтенсивно.

Мета статті дослідити способи та методи застосування штучного інтелекту для зниження навантаження на вестибулярний апарат зовнішніх пілотів під час навчання та експлуатації frv-дронів.

Методи. Використано такі методологічні інструменти: концепції інтелектуалізації інформаційних технологій, теорію інтелектуального керування, методологію побудови автономних систем на основі образного сприйняття інформації, теорію прийняття рішень, теорію штучного інтелекту.

Результати. Було визначено основні характеристики налаштувань поля зору операторів під час тренування та експлуатації дронів, які можуть бути використані для поліпшення працездатності операторів БпЛА. Проаналізовано наявні методи покращення якості зображення та алгоритми стабілізації зображення на базі ШІ для зниження навантаження на вестибулярний апарат зовнішніх пілотів. Розглянуто

© ВД «Академперіодика» НАН України, 2024. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

підходи до індивідуальної адаптації налаштувань поля зору методами ШІ та запропоновано алгоритм автоматичного налаштування поля зору операторів. Розроблено блок-схему автоматичного налаштування поля зору оператора на основі ШІ. Проаналізовано отримані результати, недоліки, припущення та перспективи для продовження досліджень.

Висновки. Індивідуальна адаптація налаштувань поля зору з використанням методів ШІ має значний потенціал для покращення ефективності та комфорту роботи зовнішніх пілотів frv-дронів, хоча є певні недоліки та обмеження, які слід враховувати. Забезпечення конфіденційності даних, керування обчислювальними ресурсами та ефективність алгоритмів є ключовими аспектами, які потребують уваги для успішної реалізації таких рішень.

Є можливим — забезпечити оптимальну продуктивність операторів під час виконання таких завдань, які потребують вестибулярних функцій. Це дозволить знизити вимоги до зовнішніх пілотів і відповідно збільшить кількість людей, здатних до керування frv-дронами. Методи застосування ШІ для оптимізації поля зору оператора вдало працюють як під час експлуатації реальних дронів, так і на тренувальних програмно-апаратних комплексах.

Ключові слова: frv-дрон, тренажерний комплекс, безпілотний літальний апарат, зовнішній пілот, оператор, віртуальна реальність, штучний інтелект, візуально-вестибулярний конфлікт, поле зору оператора.

ВСТУП

Розвиток інформаційних технологій, пов'язаний із зростанням можливостей ШІ, виводить подальшу еволюцію застосування БпЛА, зокрема frv-дронів, до питання чи потрібна взагалі людина, чи ні? У цій статті відсутнє рішення цієї дилеми, але спробуємо розглянути варіант у якому необхідності людської участі і людського рішення для керування літальним апаратом лишаються незаперечними.

У сучасному світі frv-дрони стали невід'ємною частиною багатьох індустрій, включно з кінематографією, спортом, сільським господарством, будівництвом, охороною, геоінформаційними системами моніторингу тощо. Особливо важливу роль вони відіграють у пошуково-рятувальних операціях та в роботі на територіях, де безпечний доступ є ускладненим чи неможливим.

Щоденно зростає попит на високоякісну аерофотозйомку та ускладнюються завдання, які може бути виконано з застосуванням frv-дронів. Тому з'являється потреба у підготовці все більшої кількості кваліфікованих навчених операторів frv-дронів. Для цього слугують зокрема і вітчизняні тренажерні комплекси підготовки зовнішніх пілотів безпілотних літальних апаратів.

І, хоча сьогодні важливу роль у цьому зростанні відіграє інтелектуалізація інформаційних технологій та навігації безпілотних літальних апаратів, людина зі своїми фізіологічними і психофізичними обмеженнями все одно лишається важливою ланкою цієї системи. Тому ми розглядаємо інтелектуалізацію інформаційних технологій для використання штучного інтелекту та машинного навчання на подолання зазначених обмежень та підвищення безпеки використання технологій [1].

Відомо, що для опанування дронів одними з найскладніших є frv-дрони, головною ознакою яких є можливість керувати дроном від першої особи. Ця незаперечна перевага досягається завдяки прямій

відеотрансляції з камери на борту дрона на окуляри або дисплей оператора. Цей підхід створює відчуття, ніби оператор сам перебуває на борту дрона, даючи змогу точніше контролювати рухи та маневри останнього. Окуляри *frv* або спеціальні дисплеї використовуються для перегляду цього відеопотоку, створюючи ефект занурення, що дає змогу оператору точно оцінювати відстань, швидкість та напрямок польоту, що є критично важливим для складних маневрів. Проте, використання *frv*-дронів вимагає певних додаткових навичок і, окремо, окрім навичок пілотування та спеціальних знань з аеронавтики, важливим для претендента є розвинений вестибулярний апарат. Ця додаткова вимога ускладнює процес підготовки дійсно великої кількості зовнішніх пілотів.

Вестибулярний апарат (або вестибулярна система) відіграє ключову роль у підтримці рівноваги та координації рухів. Зменшення навантаження на вестибулярний апарат зовнішніх пілотів БПЛА має вирішальне значення для підтримки їхнього фізичного стану та забезпечення оптимальної працездатності. Тому оператори *frv*-дронів можуть відчувати певний дискомфорт або навіть бути нездатними до керування через специфіку цього керування і сприйняття положення тіла.

Апаратне забезпечення може бути розташовано на базі пілотів, адже за специфікою роботи *frv*-дрону дотримується якомога висока якість вхідного відеопотоку, а тому на самому дроні не потрібно розміщувати коштовне обчислювальне обладнання для систем комп'ютерного зору та прийняття рішень. Тож визначення методів застосування ШІ, які можуть допомогти зменшити відсіювання об'єктивно нездатних претендентів, є необхідним для спрощення процесу керування.

Застосування технологій машинного навчання до пілотування *frv*-дронів відкриває нові напрями досліджень. Тому цікаво дослідити різні чинники впливу, а особливо ті, що допускають застосування інструментів штучного інтелекту. Серед них окремо розглянути групу програмно-апаратних чинників, зокрема налаштування робочого поля зору оператора (ПЗО). Систематизувати структури, дані та завади, які впливають на увагу оператора та на навантаження на його вестибулярний апарат для ефективного застосування методів машинного навчання.

Запропонована технологія ефективна як під час експлуатації *frv*-дронів, так і під час навчання на тренувальних програмно-апаратних комплексах. На тренувальних комплексах це особливо важливо, оскільки оператори тренуються інтенсивно і виконують багато тренувальних польотів з великою кількістю складних маневрів. Тому навантаження на їхній вестибулярний апарат значно зростає, що може призводити до швидкої втоми та зниження ефективності навчання. Використання штучного інтелекту дає змогу вчасно виявляти і зменшувати такі навантаження, що підвищує загальну якість підготовки операторів.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Чинники, які впливають на вестибулярний апарат зовнішніх пілотів *frv*-дронів. Є досить багато чинників, що впливають на вестибулярний апарат зовнішніх пілотів *frv*-дронів, але спробуємо виділити основні. Загалом чинни-

ки можна розділити на дві великі групи: ті, що пов'язані з фізіологічними особливостями людини, та ті, що мають за основу програмно-апаратні вади системи. Хоча значення чинників першої групи є достатньо вагомим (Рис.1), але в цьому дослідженні ми їх не розглядатимемо, а розглянемо іншу групу, до якої можна застосувати методи інформаційних технологій.

До другої групи належать чинники, які можуть бути кориговані без втручання у психо-фізичний стан людини виключно програмно-апаратними методами. Зокрема йдеться про характеристики відеосигналу, збільшення частоти оновлення та затримки, підвищення якості та чіткості зображення, стабілізації зображення та операцій щодо поля зору оператора (Рис. 2).

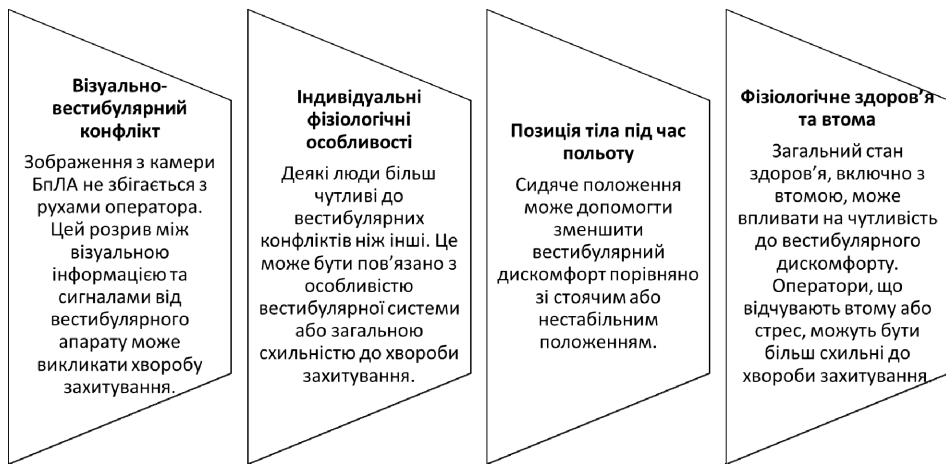


Рис. 1. Фізіологічні чинники впливу на вестибулярний апарат зовнішніх пілотів frv-дронів



Рис. 2. Програмно-апаратні чинники впливу на вестибулярний апарат операторів frv-дронів

Низька частота оновлення зображення та затримка передачі сигналу може збільшувати дискомфорт, оскільки мозок отримує нерівномірні або запізниті візуальні дані. Високоякісне та чітке зображення допомагає мозку краще інтерпретувати рухи, що може зменшити вестибулярний дискомфорт. Низька якість зображення або артефакти можуть викликати дезорієнтацію, як вже зазначалося вище, яка є найбільш значн причиною хвороби захитування [2].

Підходи до зменшення навантаження на вестибулярний апарат зовнішніх пілотів frv-дронів. Аналіз публікацій в галузі керування і застосування штучного інтелекту для зменшення навантаження на вестибулярний апарат зовнішніх пілотів frv-дронів свідчить про широку зацікавленість цією темою у світі і водночас відсутність глибоких досліджень у цій сфері.

Так, у звіті федерального управління цивільної авіації США серед чотирьох актуальних напрямів майбутніх досліджень були визначені такі: показники фізіологічної продуктивності; знання, навички, здібності оператора і навчання; системна інженерія; і зменшення ризику втоми [3]. У документі зазначається, що необхідне краще розуміння втоми в цих галузях, оскільки попит на нові операції безпілотних літальних апаратів продовжує зростати.

З одного боку проблема втоми не обмежується лише авіацією; важливі людські чинники та ергономічні міркування з інших галузей, які можуть впливати на втому оператора під час експлуатації БпЛА. А з іншого боку проблема візуально-вестибулярного конфлікту є дотичною до озвученого питання фізіологічної продуктивності та однією з причин передчасного виникнення втоми. І, хоча актуальність та важливість впливає з наведеного дослідження, саме воно не розглядається у роботах зі звіту.

Цікавим є дослідження позатілесного досвіду [4] — відчуття, коли люди спостерігають і відчувають своє власне тіло дець поза фізичним тілом. Було досліджено зв'язок між візуально-вестибулярним конфліктом та позатілесним досвідом за індукованої візуально-тактильної стимуляції у віртуальній реальності.

Результати показали, що учасники відчували суб'єктивну зміну володіння тілом за умов синхронної візуально-тактильної стимуляції незалежно від наявності сцени обертання віртуальної реальності. Важливість цього дослідження підкреслює отриманий висновок, що саме позатілесний досвід, викликаний синхронною візуально-тактильною стимуляцією, модулюється зорово-вестибулярним конфліктом, а не навпаки. Хоча наслідки позатілесного досвіду з плином часу ще не досліджені, але усунення зорово-вестибулярного конфлікту превентивно усуває його ймовірний негативний вплив.

Під час роботи frv-дрону виникають різноманітні прискорення (Рис. 3), тому проблема забезпечення стабільності для квадрокоптера залишається критичною [5]. У роботі проблему забезпечення стабільності розглядають для завдання транспортної системи, де корисний вантаж жорстко фіксується в нижній частині коптера. Подібна постановка завдання наближає розглянуту систему за своєю динамікою до систем, які розглядаються в статті. Так само важливою є ситуація, коли центр ваги підвісу відхиляється від центральної осі системи, і це змінює інерцію транспортної системи, що може призвести до неефективної роботи регулятора позиції через неточну динаміку.

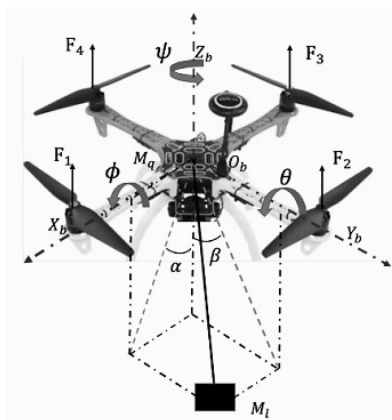


Рис. 3. Схематичне зображення квадрокоптера з підвісом

У роботі докладно розглядається питання моделювання роботи системи, не розглядається можливість використання нейронної мережі у реальному часі, що забезпечує стабільність усієї системи.

Досліджено вплив розбіжностей неізометричного відображення візуально-вестибулярних стимулів на хворобу захитування. Зокрема, є дослідження, де увагу зосереджено на вивченні зорово-вестибулярних наслідків захитування / заколисування в контексті симуляції польоту та індукції різних співвідношень імітованих зорово-вестибулярних сигналів [6]. Було виконано симуляцію різних профілів місії і надано оцінку симптомам захитування. Відповіді було проаналізовано ґрунтуючись на суб'єктивному оцінюванні опитувальника симуляторної хвороби. Аналіз результатів показав, що дезорієнтація має найбільше значення в ієрархії причин захитування, за нею йде окоруховий дискомфорт, а нудота виявляється як найменш впливова.

Подібні дослідження підвищують рівень загальної обізнаності дослідників про ситуацію з захитуванням, але актуальною задачею лишається визначення ваги другорядних ознак, які впливають на збільшення навантаження на вестибулярний апарат оператора та їх усунення або зменшення їх значення.

Часткові рішення. Опосередковано вирішенню проблеми сприяють системи стабілізації зображення, які можуть допомогти зменшити вестибулярний дискомфорт, оскільки зображення менш тремтить і є стабільнішим [7]. Також застосування ширококутного зображення може покращити сприйняття і зменшити дискомфорт, оскільки оператор має більше периферійного бачення, що наближає відчуття реального світу.

Використання ширококутних об'єктивів може покращити периферійне бачення і забезпечити природніше сприйняття простору [8]. Це може допомогти зменшити дезорієнтацію, оскільки оператор бачить більше навколишнього середовища. Також деякі f_{rv}-камери забезпечують можливість змінювати об'єктиви. І хоча камера в квадрокоптері є одним з ключових компонентів, залежно від якого віддається перевага тій чи іншій моделі, у цьому дослідженні ми відкинемо пріоритет покращення якості роботи об'єктивів (рис. 4).



Рис. 4. Набір об'єктивів dl/dl-s для zenmuse x7 для аерофотозйомки

Серед часткових рішень можемо навести приклад системи керування БПЛА з допомогою віртуальної реальності, де контролер зменшує кутову швидкість у діапазоні частот від 0,1 до 10 Гц, де вестибулярна система є найбільш чутливою. Зазначають, що кутова швидкість є одним з чинників, що сприяють виникненню хвороби віртуальної реальності, оскільки для дронів часто виникають проблеми хвороби віртуальної реальності під час взаємодії між лінійним і кутовим рухом [9]. Наводяться дані експериментального дослідження впливу кожної умови та запропоновано метод керування БПЛА для зменшення хворобливості. Було розроблено систему, яка не фіксує голову користувача в одній точці, а дає змогу робити вільні рухи. Водночас орієнтація та напрям голови синхронізуються з позицією дрона, щоб зменшити сенсорний конфлікт.

Хоча у роботі було продемонстровано помітне зменшення сенсорного конфлікту, проте лише часткове, без застосування методів ШІ та використовуючи лише синхронізацію з рухами голови. Тому доцільно застосувати отриманні експериментальні дані для подальших досліджень та моделювання системи під керівництвом штучного інтелекту.

Застосування методів ШІ досліджено для віртуальної реальності у боротьбі з відчуттям нудоти та дезорієнтації [10]. Було надано оцінку програмному забезпеченню штучного інтелекту для 360-градусної віртуальної реальності для оцінки симптомів кіберхвороби. Під час і після 360-градусного огляду віртуальної реальності використовувалися явні (опитувальник симулятора хвороби та оцінка швидкої захитування) і неявні (частота серцевих скорочень) методи визначення стану. Оцінки симулятора хвороби показали значне зменшення відчуття нудоти під час застосування доповнення ШІ порівняно з традиційною 360-градусною віртуальною реальністю, що підтверджує перспективність та практичність досліджень у даному напрямку.

Загалом, якщо спрямовані на покращення якості зображення методи наразі широко досліджено, то методи оптимізації налаштування поля зору є все ще маловивченими і цікавими для застосування сучасних технологій, зокрема ШІ. Поле зору оператора є важливим аспектом для зовнішніх пілотів frv-дронів, оскільки воно впливає на сприйняття простору і може допомогти зменшити візуально-вестибулярний конфлікт, який хоча і віднесений до першої групи загалом, але залежить і від чинників другої групи.

Тому у цій статті розглянемо метод зменшення візуально-вестибулярного конфлікту з другої групи, що може допомогти операторам frv-дронів зменшити дискомфорт та хворобу захитування. Це метод покращення якості зображення та налаштування поля зору. І насамперед йдеться про підвищення частоти оновлення зображення, що зменшує

затримку сигналу і покращує плавність цього зображення, та про використання систем стабілізації для зменшення тремтіння зображення.

МЕТА І ЗАВДАННЯ

Мета статті — проаналізувати способи та методи застосування штучного інтелекту для зниження навантаження на вестибулярний апарат зовнішніх пілотів під час навчання та експлуатації fpv-дронів

Для досягнення мети було поставлено такі задачі:

- виокремити методи застосування ШІ для керування у реальному часі;
- дослідити можливу вхідну інформацію для роботи ШІ;
- дослідити методи застосування ШІ для зменшення навантаження на вестибулярний апарат зовнішніх пілотів БпЛА.

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ МЕТОДІВ АДАПТАЦІЇ НАЛАШТУВАНЬ ПОЛЯ ЗОРУ ОПЕРАТОРІВ ПІД ЧАС ТРЕНУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДРОНІВ

Перспективи застосування штучного інтелекту для керування чинниками навантаження на вестибулярний апарат у реальному часі.

Серед методів, до яких можливо застосувати ШІ, є використання програмного забезпечення для оброблення відео. Зокрема можна інтелектуалізувати використання цифрового збільшення для зменшення ПЗО. Це, зі свого боку, може допомогти оператору зосередитися на центральній частині зображення і зменшити периферійні рухи, що можуть викликати дезорієнтацію [11]. Дослідники з Массачусетського технологічного інституту розробили моделі ШІ, які імітують периферійний зір людини, щоб покращити можливості виявлення об'єктів. Імітуючи периферійний зір людини, моделі ШІ можуть краще виявляти об'єкти на периферії зору, що може допомогти передбачити поведінку людини та підвищити безпеку водія. Дослідження має на меті оснастити моделі ШІ здатністю ефективніше виявляти небезпеки, що наближаються, подібно до того, як люди використовують периферійний зір.

Як вже зазначалося, є програми оброблення відео з можливістю стабілізувати зображення для зменшення ефекту тремтіння і покращити плавність зображення. Цей процес теж можна покласти на ШІ для вирішення цієї задачі у реальному часі. Такі алгоритми зможуть передбачати рухи дрона і відповідним чином коригувати зображення.

Перспективним можна вважати використання алгоритмів покращення зображення, таких як суперпозиція на базі ШІ, який може підвищити чіткість і деталізацію відео, що покращує візуальне сприйняття і зменшує втому очей; можливості ШІ автоматично налаштовувати яскравість, контраст і кольорову гамму відео у реальному часі, забезпечуючи оптимальні візуальні умови для оператора; здатність до автоматичного виявлення та корекції артефактів: використання ШІ для автоматичного виявлення і корекції візуальних артефактів (таких як шуми, розмиття або спотворення) у відео потоці може значно покращити якість зображення і зменшити візуальний стрес оператора.

Визначення вхідної інформації для застосування методів штучного інтелекту. Початковою точкою для інтелектуалізації та застосування алгоритмів індивідуальної адаптації в реальному часі можуть стати дані про фізичний стан людини та показники від зовнішніх давачів дрону. Використовуючи машинне навчання, ШІ може вивчати індивідуальні вподобання і фізіологічні реакції оператора, автоматично налаштовуючи ПЗО для максимальної зручності та мінімізації дискомфорту, аналізуючи дані з гіроскопів, акселерометрів та інших давачів дрона для автоматичного налаштування ПЗО у реальному часі, забезпечуючи оптимальне сприйняття руху.

Для кожного окремого аспекту використання індивідуальної адаптації на базі ШІ є відповідна вхідна інформація. Так, для збору особистих даних користувача це мають бути параметри фізіології: швидкість пульсу, рівень стресу, динаміка дихання тощо, які можуть бути відгуками на зорові подразники: на зміну контрасту, яскравості, швидкості руху зображення тощо.

Застосовуючи алгоритми глибокого навчання для аналізу великого обсягу даних та визначення патернів, треба враховувати реакції користувача на зміни параметрів frv-системи. Так, за автоматичного налаштування поля зору залежно від рівня стресу або концентрації користувача, це може бути корекція кольорової гами відповідно до його індивідуальних уподобань, розроблення алгоритмів, які можуть враховувати індивідуальні вподобання.

Підходи машинного навчання для виявлення захитування у віртуальній реальності потребують точно визначеного, реального та різноманітного набору даних, який дає змогу розробляти узагальнені моделі. Дослідники раніше точно визначили 24 мітки, пов'язані з захитуванням, для кожного кадру відео, серед них: рух об'єкта, глибину різкості та потік руху тощо [12]. Було впроваджено інструмент автоматичного вилучення фактичних даних із потоків візуалізацій.

Під час визначення вхідної інформації, варто заздалегідь передбачити постійне вдосконалення моделей, використання отримуваних даних для покращення точності та ефективності алгоритмів. А говорячи про безпеку, варто пам'ятати про моніторинг фізіологічних показників користувача, закласти можливість для автоматичної адаптації параметрів для зменшення стресу та втоми користувача та для зниження негативного впливу тривалого користування frv-системою.

Тому принципово важливим є збір саме відповідних даних та розроблення ефективних алгоритмів аналізу та його налаштування. Такий підхід може значно поліпшити ефективність роботи з frv і зменшити ризики виникнення втоми та стресу для зовнішніх пілотів .

Критерії доцільності застосування штучного інтелекту для керування чинниками навантаження на вестибулярний апарат у реальному часі. Підвищення продуктивності системи, а в нашому випадку це зниження вимог до кандидатів у оператори дронів, фізичним шляхом може бути реалізовано лише через розроблення нових елементів, або суттєве вдосконалення наявних, що стає економічно недоцільним та технічно складним. Тоді як впровадження ШІ може суттєво покращити продуктивність без необхідності фізичних змін.

До критеріїв доцільності застосування методів ШІ для зменшення навантаження на вестибулярний апарат зовнішніх пілотів можна віднести такі: насамперед це неопосередкована (пряма) робота з потоком відео, що має високий потенціал для оптимізації з допомогою ШІ, а саме наявність значного обсягу даних для роботи алгоритмів ШІ. Під час оброблення відео є багато рутинних або повторюваних завдань, які можна автоматизувати з допомогою ШІ, що так само веде до підвищення ефективності та зниження кількості помилок.

По-друге, виходячи з досвіду використання ШІ для покращення моніторингу систем в реальному часі в інших сферах застосування, можна припустити підвищення надійності роботи системи завдяки прогнозуванню майбутніх подій або проблем. Третє — підвищені вимоги до відеоканалу та ймовірні проблеми з його роботою роблять актуальнішими алгоритми ШІ для оптимізації використання ресурсів.

Крім того, сама постановка завдання підготовки зовнішніх пілотів виводить на перший план такі відповідні застосуванню ШІ переваги, як гнучкість та масштабування. Впровадження програмних рішень на основі ШІ зазвичай простіше та швидше масштабувати, ніж фізичне оновлення обладнання. До того ж, системи ШІ можуть швидко адаптуватися до змін у навколишньому середовищі або вимог без необхідності проведення фізичних модифікацій.

Виконання цих критеріїв ще раз potwierджує доцільність застосування можливостей ШІ для зниження навантаження на вестибулярний апарат, максимізуючи продуктивність і ефективність без значних капіталовкладень у фізичні зміни.

Щоб розібратися з алгоритмами покращення якості зображення з допомогою штучного інтелекту, треба розібратися з тим, які є підходи до вирішення цієї задачі, і як та за якими ознаками їх можна згрупувати. На Рис. 5 умовно відображено основні напрями використання ШІ для поліпшення якості зображень, автоматизації процесів корекції та оброблення відео в реальному часі. Групи алгоритмів пов'язано за порядком їх застосування та потреби у застосуванні. Автоматична корекція зображень є проміжною ланкою між алгоритмами ШІ, спрямованими безпосередньо на відновлення якості зображення, яка зазвичай є недостатньою внаслідок проблем, пов'язаних зі збиранням та передаванням інформації та алгоритмами роботи зі вже скорегованими зображеннями на реальному обладнанні.

Відповідно до наявних підходів було розроблено відповідні алгоритми. Для покращення якості зображення в frv-системах застосовують такі методи як: метод суперпозиції, метод поліпшення зображення за умов низької освітленості [13], метод усунення шуму [14], метод відновлення втрачених деталей [15].

Як приклади алгоритмів для першої групи можна навести Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Network (ESRGAN) [16], який може збільшувати роздільну здатність відео в реальному часі, збільшуючи чіткість і деталізацію зображення. Це дасть змогу frv-операторам бачити більше деталей під час польоту. Також прикладом може бути алгоритм Zero-DCE (Zero-Reference Deep Curve Estimation), який може автоматично

регулювати яскравість і контрастність зображень, зроблених у темних умовах, що підвищить видимість і безпеку польотів у сутінках.

Алгоритми, подібні до DnCNN (Denoising Convolutional Neural Network), можуть ефективно знижувати рівень шуму в зображеннях, що зменшує розмитість і підвищує чіткість відео. А алгоритми, подібні до SRGAN (Super-Resolution Generative Adversarial Network), можуть відновлювати втрачені деталі у стиснених відео, покращуючи загальну якість зображення.

Щодо алгоритмів автоматичної корекції зображень, варто навести такі алгоритми, як Deep Image Prior, розроблений для покращення кольорової гамми і контрастності зображень, та алгоритми, навчені на великих наборах даних із прикладами спотворень, що можуть автоматично виправляти геометричні спотворення в реальному часі. Все це допомагає зменшити втому очей оператора під час тривалих польотів.

Щодо оброблення відео у реальному часі на пристроях з обмеженими ресурсами, варто навести використання моделей, оптимізованих для роботи на мобільних процесорах. Це можуть бути системи, подібні до NVIDIA's Jetson платформи, яка дає змогу обробляти відео з низькою затримкою, підвищуючи якість зображення без значного навантаження на систему.

Алгоритми стабілізації зображення на базі штучного інтелекту використовують складні методи оброблення зображень і аналізу руху для покращення стабільності відео. Декілька прикладів [17–21] таких підходів та реалізацій таких алгоритмів подано на Рис. 5 та Рис. 6. Ці алгоритми використовують різні методи машинного навчання і оброблення зображень для стабілізації відео. Вони можуть бути інтегровані в frv-системи для покращення якості відеопотоку і зменшення візуально-вестибулярного конфлікту для зовнішніх пілотів.

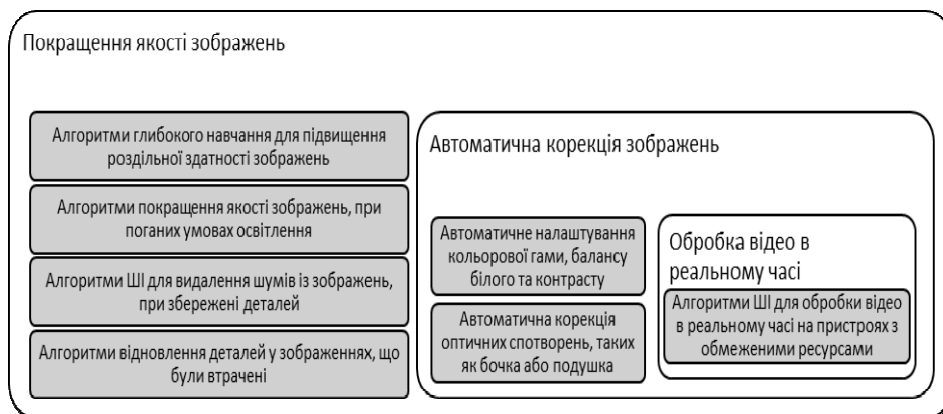


Рис. 5. Основні підходи до покращення якості зображення з допомогою штучного інтелекту

<p style="text-align: center;">Deep Video Stabilization:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Підхід: Використання глибоких нейронних мереж для аналізу і стабілізації відеопотоків. •Приклад: Алгоритм DeepStab використовує нейронну мережу для аналізу послідовностей кадрів, виявлення руху та обчислення необхідних корекцій для зменшення тремтіння. 	<p style="text-align: center;">Learning-Based Video Stabilization:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Підхід: Використання попередньо навчених моделей машинного навчання для передбачення і корекції рухів камери. •Приклад: Алгоритм, розроблений компанією NVIDIA, використовує глибоке навчання для покращення стабільності відео. Він аналізує рухи в кадрах і передбачає найбільш плавні траєкторії для корекції зображення. 	
<p style="text-align: center;">Optical Flow-Based Stabilization:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Підхід: Використання оптичного потоку для відстеження руху об'єктів у відео і компенсації цих рухів для стабілізації. •Приклад: Алгоритм Adobe After Effects використовує метод оптичного потоку на базі ШІ у своєму стабілізаторі Warp Stabilizer. Може визначити напрямки і швидкість руху пікселів у кожному кадрі, коригуючи зображення для досягнення плавності. 	<p style="text-align: center;">Real-Time Video Stabilization Using Convolutional Neural Networks (CNNs):</p> <ul style="list-style-type: none"> •Підхід: Використання згорткових нейронних мереж для обробки і стабілізації відео у реальному часі. •Приклад: Алгоритм, розроблений Google для своїх мобільних пристроїв (наприклад, Google Pixel), використовує CNN для реального часу аналізу і стабілізації відео. Це забезпечує плавне відео навіть під час швидких рухів камери. 	<p style="text-align: center;">Feature Point Tracking and Stabilization:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Підхід: Виявлення та відстеження характерних точок у відео, а потім використання цих точок для корекції руху. •Приклад: Алгоритм, інтегрований у програмне забезпечення для редагування відео, таке як Final Cut Pro, використовує методи відстеження характерних точок (наприклад, ORB або SIFT) для стабілізації відео на основі рухів об'єктів у кадрі.

Рис. 6. Алгоритми стабілізації на базі штучного інтелекту

Всі вони мають власні переваги і вади, та розроблені різними розробниками програмного забезпечення. Здебільшого використання того чи іншого алгоритму пов'язане з обраним програмним забезпеченням та наявною кооперацією з виробниками апаратного забезпечення.

ІНДИВІДУАЛЬНА АДАПТАЦІЯ НАЛАШТУВАНЬ ПОЛЯ ЗОРУ З ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Перспективним напрямом, який дає змогу підвищити ефективність та комфортність використання frv-дронів, є індивідуальна адаптація налаштувань поля зору за допомогою методів штучного інтелекту. Такі системи можуть автоматично налаштовувати параметри зображення залежно від умов навколишнього середовища та індивідуальних переваг оператора.

Гіпотеза полягає в тому, що найліпше з автоматичною адаптацією поля зору у реальному часі має впоратися ШІ, до того ж у різних напрямках. Окрім вже розглянутих можливостей щодо покращення якості зображення та адаптації до умов навколишнього середовища, як то аналізу освітлення, корекції спотворень, фільтрації шумів тощо, його можна застосувати для персоналізації налаштувань на основі індивідуальних параметрів, наприклад використовуючи розпізнання обличчя для автоматичного визначення оператора та завантаження його індивідуальних налаштувань, або для аналізу поведінки

оператора під час польоту для подальшого автоматичного коригування параметрів поля зору для оптимальної продуктивності.

А з іншого боку він найкраще підходить до саме інтерактивних налаштувань в реальному часі. Йдеться про динамічне налаштування параметрів, коли ШІ може здійснювати налаштування параметрів камери залежно від поточних умов польоту, забезпечуючи оптимальну якість зображення в кожен момент часу.

Тож треба визнати три його головні переваги: здатність до суттєвого покращення якості зображень, швидке та автоматичне налаштування параметрів, можливість налаштування системи під конкретного оператора. І головне, всі ці переваги можна забезпечити у реальному часі. Застосування ШІ для індивідуальної адаптації налаштувань поля зору відкриває нові можливості для покращення якості та ефективності роботи зовнішніх пілотів frv-дронів.

Окремо щодо питання фізичних експериментів щодо налаштувань та регулювання дисплея frv-окулярів під конкретну людину: в цьому разі теж може бути доручене ШІ.

Як окремий напрям цікавим є те, що зараз у світі розробляються медичні застосунки та розвивається біомедична інженерія, зокрема системи моніторингу здоров'я, які адаптуються до індивідуальних фізіологічних характеристик та показників здоров'я користувача. А також системи, які автоматично реагують на погіршення стану здоров'я користувача та надають рекомендації щодо його покращення.

Подібно до роботи цих систем, засоби для індивідуальної адаптації налаштувань поля зору теж можуть проводити аналіз попереднього досвіду і даних фізіологічних реакцій (наприклад, рухів очей, частоти серцевих скорочень тощо) конкретного оператора. Також можливе використання давачів для моніторингу стану здоров'я і фізіологічних показників оператора, та адаптація налаштувань в реальному часі.

Використання індивідуальної адаптації на базі штучного інтелекту є досить інноваційним підходом, який уможливить оптимізацію налаштування frv-системи для кожного оператора на основі їхніх індивідуальних потреб та умов навколишнього середовища. Цей підхід передбачає аналіз індивідуальних особливостей користувача та автоматичне налаштування параметрів системи для максимального комфорту та ефективності.

У світі є деякі розробки в галузі індивідуальної адаптації на базі штучного інтелекту для покращення користувацького досвіду у сферах віртуальної реальності, доповненої реальності (AR), а також у системах керування дронами та frv-технологіях.

Розробляються алгоритми для систем керування дронами, які автоматично адаптуються до фізіологічних показників та реакцій користувача під час польотів, а також системи, які враховують індивідуальні уподобання користувача щодо параметрів. Для систем віртуальної та доповненої реальності розробляються VR- та AR-пристрої, які адаптуються до фізіологічних та психологічних особливостей користувача для забезпечення комфортного досвіду. Розроблені системи, які автоматично адаптують параметри відображення до змінних умов освітлення та оточення.



Рис. 7. Методи автоматичного налаштування поля зору

Ці розробки спрямовані на забезпечення персоналізованого та комфортного користувацького досвіду в різних сферах застосування. Однак, застосування індивідуальної адаптації у frv-технологіях ще не настільки розповсюджене, як у інших суміжних галузях, проте його потенціал та переваги вже досліджуються.

Методи автоматичного налаштування поля зору оператора на основі штучного інтелекту або, іншими словами, адаптація поля зору з використанням ШІ є інноваційним підходом, який дає змогу оптимізувати налаштування камери дрона для кожного оператора на основі його індивідуальних потреб та умов навколишнього середовища. Ця технологія передбачає збір даних про оператора, таких як його звички та переваги, а також зовнішні умови, як то освітлення та висота польоту. З допомогою алгоритмів глибокого навчання та нейронних мереж система аналізує ці дані в реальному часі та автоматично налаштовує параметри камери для забезпечення оптимального поля зору, включно з корекцією кольорової гами, балансу білого та контрасту. Це дає змогу значно підвищити якість зображення та спрощує процес керування дроном, зменшуючи навантаження на оператора.

Пропонуємо виокремити саме методи автоматичного налаштування поля зору з допомогою штучного інтелекту для покращення комфорту зовнішніх пілотів frv-дронів (Рис. 7).

Це зокрема використання машинного навчання для аналізу індивідуальних переваг і фізіологічних реакцій оператора, коли система може збирати дані про фізіологічні реакції оператора, такі як рух очей, частоту серцевих скорочень та показники втоми. Такі системи можуть використовувати алгоритми машинного навчання для побудови моделей і визначати оптимальні налаштування для поля зору для кожного оператора у реальному часі для зменшення вестибулярного дискомфорту.

Також слід розглядати алгоритми комп'ютерного зору для аналізу відеопотоку, для аналізу об'єктів в кадрі та їх руху, адаптуючи поле зору для оптимального сприйняття. Якщо дрон рухається швидко, система може автоматично збільшити поле зору, щоб оператор міг бачити більше навколишнього простору, що зменшує відчуття швидкості і підвищує стабільність зображення.

Цікавою є можливість використання даних з давачів дрона, таких як гіроскопи, акселерометри і GPS, для автоматичного регулювання поля зору у реальному часі. Методи ШІ дозволяють передбачати рухи дрона і відповідно коригувати поле зору. Наприклад, під час різких маневрів система могла би збільшувати поле зору для зменшення візуального стресу і покращення орієнтування в просторі.

Найперспективнішим є використання глибоких нейронних мереж для аналізу відеопотоку і визначення оптимального поля зору для різних умов польоту. Нейронні мережі можуть бути навчені на великій кількості даних відео польотів для забезпечення оптимального перегляду. Система може автоматично звужувати поле зору під час польоту у вузьких місцях і розширювати його на відкритому просторі.

Ще одним дієвим напрямом застосування алгоритмів ШІ є побудова системи, яка може використовувати камери або інші давачі для відстеження рухів голови і очей оператора, адаптуючи поле зору залежно від напрямку погляду і рівня концентрації.

Грунтуючись на наведених підходах і матеріалах було запропоновано блок-схему автоматичного налаштування поля зору оператора на основі ШІ (Рис. 8). Було визначено ключові етапи процесу, починаючи від збору даних і закінчуючи застосуванням налаштувань в реальному часі.

Наведемо пояснення етапів, поданих на блок-схемі.

Вхідна інформація для роботи алгоритму отримується зі збору даних, а саме з отримання поточного відеопотоку з камери дрону. Паралельно від телеметрії отримуються додаткові дані, такі як інформація про навколишні умови, зокрема освітлення, висоту польоту та швидкість.

Після чого відбувається попередня обробка даних, що охоплює очищення або видалення шумів та інших перешкод з відеопотоку та нормалізацію або приведення відеопотоку до стандартного формату для подальшого аналізу.

Аналіз відеопотоку починається з виділення ключових кадрів та їх ідентифікації для детального аналізу. Після чого відбувається саме аналіз зображення з допомогою інструментів ШІ.

Послідовно застосовуються глибоке навчання з використанням нейронних мереж для аналізу зображень, виявлення умов освітлення, шумів та інших артефактів. Оцінюється якість отриманого відео-поток. Це визначення якості зображення необхідне для подальшого правильного налаштування параметрів.

Система приймає рішення щодо налаштувань оптимальних параметрів поля зору для забезпечення високої якості зображення. Зокрема відбувається автоматичне налаштування кольорової гами, балансу білого та контрасту.

Після чого відбувається реальне налаштування відеопотоку з застосуванням обраних параметрів до камери, і це має відбуватися в реальному часі. У циклі відбувається постійний моніторинг, проводиться безперервне спостереження за якістю відеопотоку для виявлення змінних умов. Це є необхідною передумовою для здійснення динамічного налаштування, зміни параметрів у відповідь на змінні умови для підтримки оптимальної якості зображення.

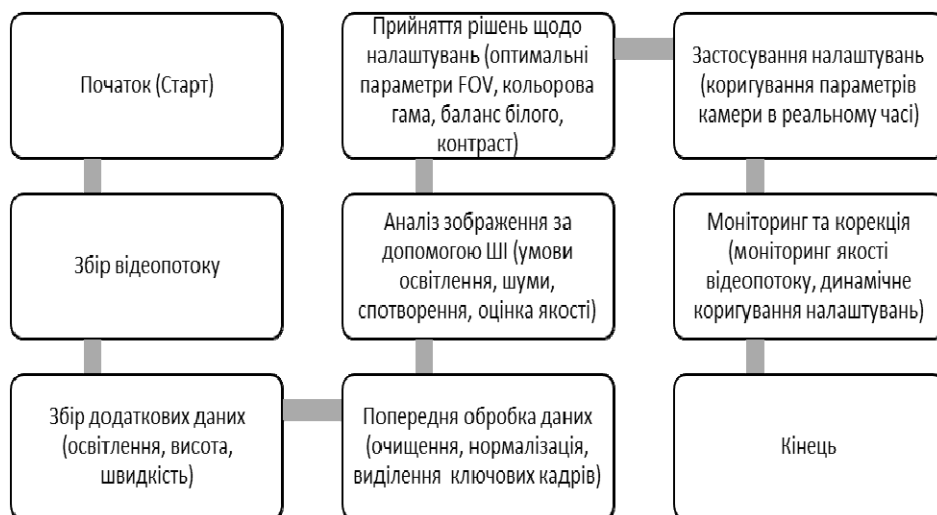


Рис. 8. Блок-схема автоматичного налаштування поля зору оператора на основі ШІ

Ці методи на базі ШІ допомагають значно покращити якість зображень та відео, що зменшує втоми очей і підвищує загальний комфорт зовнішніх пілотів frv-дронів. Впровадження таких технологій у frv-системи робить керування дронами ефективним і приємним для більшої кількості кандидатів в оператори.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Було досліджено методи застосування штучного інтелекту для зниження навантаження на вестибулярний апарат зовнішніх пілотів frv-дрону для роботи на тренувальному комплексі та для реального керування БпЛА. Проаналізовано наявні методи покращення якості зображення та алгоритми стабілізації зображення на базі штучного інтелекту. Розглянуто підходи до індивідуальної адаптації налаштувань поля зору методами штучного інтелекту та запропоновано алгоритм автоматичного налаштування поля зору операторі frv-дрону з застосуванням штучного інтелекту. Визначено, що для застосування методів ШІ для керування у реальному часі принципово важливим є збір відповідної вхідної інформації та розроблення ефективних алгоритмів аналізу та налаштування. Це добре видно під час симуляції на тренувальному програмно-апаратному комплексі. Було визначено основні підходи до покращення якості зображення з допомогою алгоритмів глибокого навчання. Розглянуто приклади використання складних методів оброблення зображень і аналізу руху для покращення стабільності відео.

Розглянуто гіпотезу перспективності застосування методів ШІ для індивідуальної адаптації налаштувань ПЗО. Грунтуючись на можливостях машинного навчання для аналізу індивідуальних переваг, найперспективнішим напрямом визначено використання глибоких нейронних мереж для аналізу відеопотоку і визначення оптимального поля зору за різних умов польоту, зокрема в разі інтенсивних тренувань на програмно-апаратних комплексах.

Розроблено блок-схему автоматичного налаштування поля зору оператора на основі ШІ. Проаналізовано отримані результати та перспективи продовження досліджень. Для підтвердження результатів дослідження порівнюємо їх з реальними прикладами застосування, а саме з використанням алгоритмів ШІ у продуктах компаній DJI [22] та Skydio [23].

Так, хоча алгоритми ШІ від компанії DJI використовують для автоматичного налаштування параметрів камери в своїх дронах, що дає змогу забезпечити високу якість зображення навіть в складних умовах, але вони не пропонують автоматичного налаштування поля зору оператора дрону, враховуючи його фізіологічні особливості.

Щодо практичного застосування алгоритмів ШІ для автоматичного уникнення перешкод та адаптації до умов навколишнього середовища в реальному часі для дронів від компанії Skydio, то те, що освітлено у цій статті, не відповідає нашій тематиці, проте автоматичне уникнення перешкод є дуже важливим для повністю автоматичного польоту, а не керованого польоту з правом оператора приймати рішення.

Ці приклади практичного застосування демонструють, що ШІ може бути застосовним для автоматичного налаштування поля зору з метою фізіологічної адаптації до навантажень вестибулярного апарату і зменшення вестибулярного дискомфорту зовнішніх пілотів frv-дронів. А розроблення таких технологій може значно покращити користувацький досвід і забезпечити більш безпечно і ефективно керування. І, хоча можливості ШІ для індивідуальної адаптації налаштувань поля зору є цікавими і широкими, але не можна оминати і недоліків, які слід подолати у подальшому розробленні алгоритмів.

Однією з проблем що виникає під час реалізації озвученої ідеї персоналізації налаштувань на основі індивідуальних параметрів, є питання конфіденційності та безпеки ідентифікації. Використання біометричних даних може призвести до проблем з безпекою, тому ці дані потребують захисту від несанкціонованого доступу. А можливі помилки в процесі ідентифікації можуть призвести до неправильного підлаштування системи під конкретного оператора.

Спільною проблемою усіх методів ШІ є їх велика ресурсомісткість, складність алгоритмів та різні затримки в реальному часі. Використання складних алгоритмів глибокого навчання та підвищення роздільної здатності в реальному часі може вимагати великих обчислювальних ресурсів.

Також алгоритми аналізу освітлення та корекції спотворень можуть не завжди коректно працювати в складних умовах освітлення, що може призвести до погіршення якості зображення. До того ж наявні алгоритми можуть не повністю виправляти різні типи оптичних спотворень, що може впливати на точність зображення.

Окремо слід зауважити, що в разі покращення якості зображення попри фільтрацію шумів, деякі деталі зображення можуть бути втрачені, а застосовані алгоритми суперпозиції можуть створювати артефакти в зображенні, що може впливати на його сприйняття.

Оброблення відео та динамічне налаштування параметрів може не завжди коректно реагувати на швидкозмінні умови, що може призвести до погіршення якості зображення. Але технології розвиваються, і будь-які недоліки може бути усунуто якщо не сьогодні, то з часом.

ВИСНОВКИ

Індивідуальна адаптація налаштувань поля зору з використанням методів ШІ має значний потенціал для покращення ефективності та комфорту роботи зовнішніх пілотів frv-дронів. Є певні недоліки та обмеження, які слід враховувати. Забезпечення конфіденційності даних, керування обчислювальними ресурсами та ефективність алгоритмів є ключовими аспектами, які потребують уваги для успішної реалізації таких рішень.

Зменшення навантаження на вестибулярний апарат і забезпечення оптимальної продуктивності у розв'язанні завдань, які потребують вестибулярних функцій, надасть можливість знизити вимоги до вестибулярного апарату зовнішніх пілотів і відповідно збільшить кількість людей, здатних керувати frv-дронами.

Слід відзначити, що методи застосування ШІ для оптимізації поля зору оператора вдало працюють як під час експлуатації реальних дронів, так і на тренувальних програмно апаратних комплексах. Під час роботи з тренувальними комплексами це особливо важливо, оскільки тренування операторів відрізняється високою інтенсивністю і виконанням складних елементів керування під час тренувальних польотів.

Оптимізація поля зору оператора методами ШІ допомагає створити більш природне і комфортне сприйняття польоту, що зменшує вестибулярний дискомфорт і підвищує задоволення від керування.

ФІНАНСУВАННЯ

Дослідження підготовлено за грантової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках реалізації проєкту «Сучасний програмно-апаратний комплекс для тренування операторів безпілотних літальних апаратів» (реєстраційний номер 2023.04/0082). в рамках конкурсу «Наука для зміцнення обороноздатності України».

REFERENCES

1. FPV Drone Market: Global Industry Analysis and Forecast (2023–2029), <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/fpv-drone-market/211053/>
2. P. Wojciechowski and K. Wojtowicz, "Simulator sickness and cybersickness as significant indicators in a primary selection of candidates for FPV drone piloting," 2022 IEEE 9th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace), Pisa, Italy, 2022, pp. 130–133. <https://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace54187.2022.9856141>
3. Nesthus, Thomas & Fercho, Kelene & Durham, Justin & Mofle, Theodore & Nesmith, Blake & Hu, Peter. (2021). Summary Final Report for Unmanned Aircraft Systems in Air Carrier Operations: UAS Operator Fatigue, DOT/FAA/AM-21/16, https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2020s/media/202116.pdf
4. Song, Zhe & Dong, Jiaoyang & Zhang, Xiting & Xu, Xiaotian & Pu, Fang & Fan, Xiaoya & Li, Shuyu. (2024). Effects of Visual-Vestibular Conflicts Caused by Visual Input on Out-of-Body Experience Induced by Visual-Tactile Stimulation in Virtual Reality. 345-352. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51455-5_38
5. Ding F, Sun C, He S. Anti-Swing Control for Quadrotor-Slung Load Transportation System with Underactuated State Constraints. Sensors. 2023; 23(21):8995. <https://doi.org/10.3390/s23218995>
6. Javaid, A.; Rasool, S.; Maqsood, A. Analysis of Visual and Vestibular Information on Motion Sickness in Flight Simulation. Aerospace 2024, 11, 139. <https://doi.org/10.3390/aerospace11020139>

7. Deng, Zilong, Dongxiao Yang, Xiaohu Zhang, Yuguang Dong, Chengbo Liu, and Qiang Shen. 2020. "Real-Time Image Stabilization Method Based on Optical Flow and Binary Point Feature Matching" *Electronics* 9, no. 1: 198. <https://doi.org/10.3390/electronics9010198>
8. Jarron, D., Shahbazi, M., Lichti, D., Radovanovic, R.: MODELLING WIDE-ANGLE LENS CAMERAS FOR METROLOGY AND MAPPING APPLICATIONS, *ISPRS 2019 Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-2/W7, 79-86. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W7-79-2019>
9. Watanabe, K., Takahashi, M. Head-synced Drone Control for Reducing Virtual Reality Sickness. *J Intell Robot Syst* 97, 733-744 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10846-019-01054-6>
10. Arshad, I., De Mello, P., Ender, M., McEwen, J. D., & Ferré, E. R. (2021). Reducing Cybersickness in 360-Degree Virtual Reality. *Multisensory Research*, 35(2), 203–219. <https://doi.org/10.1163/22134808-bja10066>
11. Anne Harrington, Vasha DuTell, Mark Hamilton, Ayush Tewari, Simon Stent, William T. Freeman, Ruth Rosenholtz COCO-Periph: Bridging the Gap Between Human and Machine Perception in the Periphery *ICLR 2024 Conference*, ICLR 2024 <https://openreview.net/pdf?id=MiRPBbQNHv>
12. E. Wen et al., "VR.net: A Real-world Dataset for Virtual Reality Motion Sickness Research," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 30, no. 5, pp. 2330-2336, May 2024. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2024.3372044>
13. W. Kim, "Low-Light Image Enhancement: A Comparative Review and Prospects," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 84535-84557, 2022. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3197629>
14. Ilesanmi, A.E., Ilesanmi, T.O. Methods for image denoising using convolutional neural network: a review. *Complex Intell. Syst.* 7, 2179-2198 (2021). <https://doi.org/10.1007/40747-021-00428-4>
15. Hüsem, Hürkal & Orman, Zeynep. (2020). A Survey on Image Super-Resolution with Generative Adversarial Networks. *Acta INFOLOGICA*. <https://doi.org/10.26650/cin.765320>
16. Wang, X. et al. (2019). ESRGAN: Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Networks. In: Leal-Taixé, L., Roth, S. (eds) *Computer Vision - ECCV 2018 Workshops*. ECCV 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 11133. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11021-5_5
17. Jung, Felix, Kevin Frey, David Zimmer, and Timo Mühlhaus. 2023. "DeepSTABp: A Deep Learning Approach for the Prediction of Thermal Protein Stability" *International Journal of Molecular Sciences* 24, no. 8: 7444. <https://doi.org/10.3390/ijms24087444>
18. J. Yu and R. Ramamoorthi, "Learning Video Stabilization Using Optical Flow," 2020 *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Seattle, WA, USA, 2020, pp. 8156-8164. <https://doi.org/10.1109/CVPR42600.2020.00818>
19. T. Liu, G. Wan, H. Bai, X. Kong, B. Tang and F. Wang, "Real-Time Video Stabilization Algorithm Based on SuperPoint," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 73, pp. 1–13, 2024, Art no. 5004113. <https://doi.org/10.1109/IM.2023.3342849>
20. A. Censi, A. Fusiello and V. Roberto, "Image stabilization by features tracking," *Proceedings 10th International Conference on Image Analysis and Processing*, Venice, Italy, 1999, pp. 665–667. <https://doi.org/10.1109/ICIAP.1999.797671>
21. <https://www.dji.com/global>
22. <https://www.skydio.com/>

Received: 27.09.2024

Volkov O.Ye., PhD (Engineering), Senior Researcher,
Director

<https://orcid.org/0000-0002-5418-6723>, e-mail: alexvolk@ukr.net

Komar M.M., PhD (Engineering), Senior Researcher

Deputy Director for Scientific and Organizational Work,

<https://orcid.org/0000-0001-9194-2850>, e-mail: nickkomar08@gmail.com

Popov I.V., PhD Student,

Researcher of the Intelligent Control Department

<https://orcid.org/0009-0009-7961-9431>, e-mail: popigor7@gmail.com

Simakhin V.M., PhD (Engineering),

Senior Researcher of the Research Laboratory of Unmanned Complexes and System

<https://orcid.org/0000-0003-4497-0925>, e-mail: thevladsima@gmail.com

International Research and Training Center

for Information Technologies and Systems

of the National Academy of Sciences

of Ukraine and the Ministry of Education and Science of Ukraine,

40, Acad. Glushkov av., 03187, Kyiv, Ukraine

APPROACHES TO ADAPTATION OF OPERATORS' FIELD OF VISION SETTINGS DURING TRAINING AND OPERATION OF DRONES

Introduction. *The widespread use of unmanned aerial vehicles (UAVs), including first-person view drones (FPV drones), makes it more urgent to create modern training complexes for training UAV operators and ensuring their optimal performance.*

The purpose of the paper is to investigate ways and methods of using artificial intelligence to reduce the load on the vestibular apparatus of external pilots of FPV drones.

Results. *Various factors influencing the operator's vestibular apparatus have been studied, especially those that allow the use of artificial intelligence (AI) tools. The analysis of a group of software and hardware factors and separately the means of adjusting the operator's working field of vision is relevant. The proposed method is effective both during operation and during training on training software and hardware complexes, where this is especially important, since operators train extremely intensively.*

Conclusions. *Individual adaptation of field of view settings using AI methods has significant potential to improve the efficiency and comfort of external pilots of FPV drones, although there are certain shortcomings and limitations that should be taken into account.*

Ensuring data confidentiality, managing computing resources and algorithm efficiency are key aspects that require attention for the successful implementation of such solutions. It is possible to ensure optimal operator performance when performing tasks that require vestibular functions. This will reduce the requirements for external pilots and, accordingly, increase the number of people capable of controlling FPV drones. Methods for using AI to optimize the operator's field of view work successfully both during the operation of real drones and on training software and hardware complexes.

Keywords: *FPV drone, training complex, unmanned aerial vehicle, external pilot, operator, virtual reality, artificial intelligence, method, visual-vestibular conflict, operator` field of view, optimal operator performance.*