

УДК 004.021, 004.588, 004.78

DOI <https://doi.org/10.36994/2788-5518-2025-01-09-19>

СИМУЛЯТОРИ ДРОНІВ: ТРЕНУВАННЯ В БЕЗПЕЧНИХ УМОВАХ

Середа А. В., Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», Інститут комп'ютерних технологій, Київ, Україна. <https://orcid.org/0000-0002-4779-5475>, andrew.sereda@gmail.com

Даценко І. П., к.т.н., доц., Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», Інститут комп'ютерних технологій, Київ, Україна. <https://orcid.org/0000-0002-0047-413X>, docik_ivan@ukr.net

Анотація. У статті розглядається застосування віртуальних симуляторів дронів як безпечного, ефективного й економічно доцільного інструмента підготовки операторів безпілотних літальних апаратів (БПЛА). З огляду на стрімкий розвиток безпілотних технологій і зростання потреби у висококваліфікованих операторах у різних галузях – від оборонної до аграрної – питання організації якісного й безпечного навчання є надзвичайно актуальним. Традиційна підготовка потребує значних ресурсів, пов'язана з ризиками uszkodження обладнання, а також залежить від погодних умов. Тому все частіше використовуються симулятори, які дають змогу тренувати навички керування у віртуальному середовищі. Метою дослідження було провести порівняльну оцінку шести популярних на ринку програмних платформ: DRL Simulator, Liftoff, Uncrashed, AI Drone Simulator, FPV SkyDive та FPV Freerider. Оцінювали за п'ятьма критеріями: реалістичністю моделювання, адаптивністю до різних сценаріїв, зручністю інтерфейсу користувача, можливістю інтеграції з реальним обладнанням (пультами, окулярами, контролерами) і загальною доступністю (вартість, сумісність, системні вимоги). Для об'єктивного вибору використано метод аналізу ієрархій (АHP), який передбачає побудову ієрархічної моделі з урахуванням вагових коефіцієнтів критеріїв. Проведено опитування 10 експертів: викладачів навчальних центрів, інженерів БПЛА-платформ і сертифікованих операторів. Респонденти оцінили важливість кожного критерію за 10-бальною шкалою, після чого дані нормалізовані для усунення індивідуальних упереджень. За отриманими оцінками розраховано інтегральний бал P для кожного симулятора. Лідером став DRL Simulator, який показав найвищі результати завдяки реалістичності польоту й широким можливостям налаштування сценаріїв. За ним – Liftoff та Uncrashed. Найнижчі бали отримали FPV Freerider та FPV SkyDive. Результати дослідження демонструють ефективність АHP як методу підтримки прийняття рішень при виборі навчального ПЗ. Стаття містить рекомендації для освітніх центрів, дослідницьких лабораторій, операторів дронів і розробників тренажерів, зацікавлених у впровадженні ефективних навчальних рішень у сфері БПЛА.

Ключові слова: БПЛА, віртуальні навчальні полігони, дрон, тренажер, моделювання середовища, сценарії місій, адаптивне навчання, цифрові тренування, алгоритми польоту, стимуляційні платформи, автоматизація управління.

DRONE SIMULATORS: TRAINING IN SAFE CONDITIONS

Andrii Sereda, Open University of Human Development “Ukraine”, Kyiv, Ukraine. <https://orcid.org/0000-0002-4779-5475>, andrew.sereda@gmail.com

Ivan Datsenko, Ph.D., Open University of Human Development “Ukraine”, Kyiv, Ukraine. <https://orcid.org/0000-0002-0047-413X>, docik_ivan@ukr.net

Abstract. The article explores the implementation of virtual drone simulators as a safe, efficient, and cost-effective alternative to traditional UAV (Unmanned Aerial Vehicle) operator training. With the increasing demand for skilled drone pilots in both civilian and defense sectors, simulation-based training offers an attractive solution by reducing risk, lowering operational costs, and providing consistent learning conditions. The study evaluates six widely used drone simulation platforms – DRL Simulator, Liftoff, Uncrashed, AI Drone Simulator, FPV SkyDive, and FPV Freerider – according to five comprehensive criteria: (1) realism of flight dynamics modeling, (2) adaptability to various flight environments and training scenarios, (3) usability and intuitiveness of the user interface, (4) capability to integrate with real UAV hardware and controllers, and (5) overall accessibility, including cost, hardware requirements, and availability across platforms. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was employed as a structured methodology for multi-criteria decision-making. Ten subject-matter experts – including certified drone pilots, UAV instructors, and aerospace engineers – participated in a survey to assess the importance of each criterion on a 10-point scale. The collected data were normalized to reduce personal bias, and final scores (denoted as P) were computed for each simulator. The results showed that DRL Simulator ranked highest due to its superior realism and training adaptability. Liftoff and Uncrashed followed, showing strong overall performance. Simulators like AI

Drone Simulator, FPV SkyDive, and FPV Freerider scored lower, often limited by hardware integration and interface quality. The findings, visualized through comparative charts, confirm the effectiveness of AHP in simulator evaluation and offer practical guidance for training centers, research institutions, and engineers choosing optimal software for UAV operator development.

Key words: UAV, virtual training grounds, drone, simulator, environment modeling, mission scenarios, adaptive learning, digital training, flight algorithms, simulation platforms, control automation.

Вступ

У сучасних умовах стрімкого розвитку безпілотних технологій зростає потреба у висококваліфікованих операторах дронів. Одним із ключових елементів ефективної підготовки є використання віртуальних навчальних полігонів – спеціалізованих програмних платформ, відомих як симулятори дронів. Вони моделюють широкий спектр реальних умов керування безпілотними літальними апаратами (далі – БПЛА), що дає змогу навчатися без ризику пошкодження техніки або загрози для безпеки людей. Симулятори дронів стають важливим складником сучасної освітньої інфраструктури, аналогічно до мобільної освіти, яка забезпечує доступність і гнучкість навчального процесу. Завдяки адаптивним сценаріям тренування оператори можуть набувати навичок реагування на нестандартні ситуації, відпрацьовувати техніку польоту в різних погодних умовах і вдосконалювати стратегії місії. Таке безпечне середовище дає змогу значно прискорити процес засвоєння необхідних знань і вмінь. Розвиток симуляторів відкриває нові можливості для стандартизації підготовки операторів, зменшуючи витрати на реальні тренування й підвищуючи загальний рівень безпеки у сфері експлуатації БПЛА.

Виконання досліджень

Оцінювання симуляторів дронів здійснювалося методом аналізу ієрархій (АНР) за низкою ключових критеріїв, що визначають ефективність тренувального середовища. До переліку критеріїв увійшли реалістичність моделювання польотної динаміки, адаптивність до різноманітних сценаріїв використання, зручність і доступність інтерфейсу користувача, можливість інтеграції симулятора з реальними апаратними платформами, а також загальна доступність програмного забезпечення для кінцевого користувача. Для оцінювання обрано шість найбільш популярних на ринку симуляторів: FPV SkyDive, Uncrashed, Liftoff, FPV Freerider, AI Drone Simulator і The Drone Racing League Simulator. Кожен симулятор оцінювався за визначеними критеріями шляхом експертного опитування. У дослідженні взяли участь 10 експертів, яких поділено на три основні категорії: викладачі навчальних центрів із підготовки операторів БПЛА, технічні інженери безпілотних платформ і сертифіковані оператори дронів. Учасникам запропоновано оцінити важливість кожного критерію за 10-бальною шкалою (де 1 – мінімальна важливість, 10 – максимальна). Отримані результати нормалізовані для усунення суб'єктивних відхилень. На основі нормалізації сформовано підсумкову таблицю середніх оцінок критеріїв і розраховано нормалізовані вагові коефіцієнти для подальшого аналізу.

Таблиця 1
Середнє значення й нормалізована вага по критеріях

Критерій	Середнє значення	Нормалізована вага
Реалістичність моделювання (R)	8,8	0,29
Адаптивність сценаріїв (A)	7,6	0,25
Інтерфейс користувача (U)	5,2	0,17
Інтеграція з обладнанням (I)	5,4	0,18
Вартість/доступність (C)	3,0	0,10

Отримали таблицю середніх оцінок симуляторів згідно з критеріями, наданими експертами.

Таблиця 2
Оцінка симуляторів за критеріями

Симулятор	R	A	U	I	C
FPV SkyDive	7	6	9	6	10
Uncrashed	9	8	8	9	7
Liftoff	8	10	8	9	6
FPV Freerider	6	5	7	5	10
AI Drone Simulator	8	9	7	8	7
DRL Simulator	9	10	9	10	6

Застосуємо інтегральний розрахунок методом аналізу ієрархій для обчислення балу кожного із симуляторів:

$$P = R \cdot 0.29 + A \cdot 0.25 + U \cdot 0.17 + I \cdot 0.18 + C \cdot 0.10 \quad (1),$$

де

- P – інтегральний бал симулятора,
- R – оцінка реалістичності моделювання,
- A – оцінка адаптивності до різних сценаріїв,
- U – оцінка зручності інтерфейсу користувача,
- I – оцінка інтеграції з реальним обладнанням,
- C – оцінка доступності програмного забезпечення,
- коефіцієнти 0,29, 0,25, 0,17, 0,18 і 0,10 – нормалізовані ваги відповідних критеріїв, отримані шляхом опитування експертів.

Отримані значення P для шести симуляторів, що оцінюються, відображено на графіку.

Висновок

FPV SkyDive – безкоштовний симулятор від компанії ORQA, орієнтований на початківців. Експерти високо оцінили інтерфейс користувача (9/10): він інтуїтивний, з мінімальним навантаженням для новачків. Модель польоту досить спрощена (7/10), тому симулятор краще підходить для базового навчання, а не професійного тренування. Сценарії обмежені (6/10), проте симулятор відмінно справляється з імітацією стартових умов. FPV SkyDive підтримує стандартні геймпади та джойстики (6/10) і має головну перевагу – повну безкоштовність (10/10).

Uncrashed FPV Drone Simulator високо оцінений за реалістичністю моделі польоту (9/10), що робить його придатним для просунутих тренувань. Адаптивність сценаріїв (8/10) дає змогу створювати треки, що відповідають різним умовам польотів, зокрема в закритих приміщеннях і на вулиці. Інтерфейс простий, але функціональний (8/10). Важливою перевагою є гарна інтеграція з більшістю FPV-контролерів (9/10). Ціна помірною (7/10), що робить цей симулятор збалансованим варіантом для індивідуального й навчального використання.

Liftoff – один із найвідоміших FPV-симуляторів, який активно використовують як любителі, так і професіонали. Він отримав найвищу оцінку за адаптивність сценаріїв (10/10): у грі доступна велика кількість трас, редактор треків, режим кар'єри та мультиплеєр. Реалістичність польоту (8/10) також високо оцінена, хоча деякі пілоти відзначають незначні спрощення в аеродинаміці. Інтерфейс зручний (8/10), а підтримка обладнання майже повна (9/10). Недоліком є вартість (6/10), проте вона виправдана широким функціоналом.

FPV Freerider – один із найперших симуляторів FPV-дронів. Він вирізняється своєю простотою та доступністю, має низькі системні вимоги й безкоштовну демо-версію. Але реалістичність польоту – на базовому рівні (6/10), що обмежує можливості професійної підготовки. Адаптивність (5/10) мінімальна, усього кілька треків без гнучкого редагування. Інтерфейс простий, але застарілий (7/10). Підтримка контролерів не завжди стабільна (5/10). Основна перевага – повна доступність (10/10), що робить його хорошим стартом для новачків.

AI Drone Simulator – симулятор з відкритим кодом, орієнтований не лише на FPV, а й на дослідження в галузі штучного інтелекту. Його фізика польоту оцінена на рівні 8/10, оскільки базується на реалістичному русі. Гнучкість сценаріїв висока (9/10), включаючи підтримку кастомних сцен і симуляцію сенсорів. Інтерфейс дещо технічний (7/10), тому новачкам може бути складно. Інтеграція з реальним обладнанням добра (8/10), особливо через API. Ціна – безкоштовний (7/10), хоча потрібно більше часу для налаштування.

The Drone Racing League (DRL) Simulator – офіційний симулятор Ліги перегонів дронів, розроблений спеціально для професійного FPV-тренування. Він лідує в усіх категоріях: реалістичність – 9/10 (польоти майже ідентичні реальним трасам DRL), адаптивність – 10/10 (великий вибір треків, щотижневі змагання, тренувальні місії), інтерфейс – 9/10 (професійний, але інтуїтивний). Підтримка контролерів повна (10/10), особливо фірмового пульта DRL. Вартість не найнижча (6/10), але виправдана якістю. Ідеально підходить для серйозної підготовки гонщиків-дронів.

За результатами АНП-аналізу, The DRL Simulator є найкращим FPV-симулятором для підготовки операторів дронів. Його переваги: виняткова реалістичність, кастомні треки, інтеграція з реальними пультами й актуальна підтримка індустрії. Liftoff – відмінний вибір для тренувань у середовищі симуляції з відкритими треками й мультиплеєром. Uncrashed займає третє місце завдяки балансу між реалістичністю й ціною. Також хочеться відмітити FPV Freerider за низькі системні вимоги та легкий поріг входу для новачків.

Література

1. Холл Дж., Браун М. Симуляція польоту FPV-дронів : технічний посібник. DroneTech Publishing, 2020.
2. Команда розробників Liftoff. Liftoff: Симулятор перегонів FPV-дронів : офіційний посібник користувача. LuGus Studios, 2023.
3. Чень К., Чжао Х. Оцінка симуляторів БПЛА для підготовки пілотів на основі фізичних рухів реального часу. *Журнал безпілотних систем*. 2022. № 10 (3). С. 115–127.
4. Команда ORQA. FPV.SkyDive: Нотатки з розробки та принципи симуляції. ORQA Ltd, 2021.

References

1. Hall, J., & Brown, M. (2020). FPV Drone Flight Simulation: A Technical Guide. DroneTech Publishing.
2. Liftoff Dev Team. (2023). Liftoff: FPV Drone Racing Simulator – Official User Manual. LuGus Studios.
3. Chen, K., & Zhao, H. (2022). Evaluation of UAV Simulators for Pilot Training Based on Real-Time Physics Engines. *Journal of Unmanned Systems*, 10(3), 115–127.
4. ORQA Team. (2021). FPV.SkyDive: Development Notes and Simulation Principles. ORQA Ltd.

Дата першого надходження рукопису до видання: 20.05.2025
 Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 12.06.2025
 Дата публікації: 25.07.2025