

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОБУЧЕНИЮ ОПЕРАТОРОВ СИСТЕМ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ С БПЛА

Поликарпов Д. С.¹, Пономарев Д. Ю.², Бисултанов Р. С.³

DOI:10.21681/3034-4050-2026-4-93-98

Ключевые слова: симулятор, тренировочные сценарии, радиоподавление, электромагнитное воздействие, учебные миссии, тактическая подготовка, виртуальная среда.

Аннотация

Цель работы: анализ и разработка симулятора для обучения операторов антидроновых ружей, направленного на формирование базовых теоретических знаний и практических навыков противодействия беспилотным летательным аппаратам в безопасной виртуальной среде.

Результаты исследования: разработанный симулятор позволяет значительно повысить уровень подготовки специалистов без необходимости использования реального оборудования. Пользователи получают возможность отрабатывать обнаружение и подавление каналов управления БПЛА в различных условиях, включая городскую среду, открытую местность и зоны с ограниченной видимостью. Система оценки фиксирует точность обнаружения, скорость реакции и правильность применения антидроновых средств, что способствует формированию устойчивых навыков.

Научная новизна: интеграция реалистичной физической модели радиопомех с адаптивными учебными сценариями, что позволяет максимально приблизить виртуальное обучение к реальным условиям эксплуатации антидроновых ружей.

Введение

С развитием технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) произошла трансформация в сфере безопасности. Изначально разработанные для гражданских и коммерческих целей, дроны стали представлять серьезную опасность для защиты различных объектов. Широкая доступность, невысокая стоимость и легкость управления дронами создали совершенно новую обстановку, в которой потенциальная угроза может исходить от множества лиц.

В связи с этим необходимо пересмотреть подходы к подготовке специалистов, способных эффективно бороться с угрозами, исходящими от БПЛА. Устаревшие методы обучения, основанные на использовании реального оборудования в полевых условиях, теряют свою актуальность. Высокая цена антидроновых систем делает массовое обучение операторов нерентабельным, а потребность в специализированных полигонах ограничивает доступность обучения [1].

Современные виртуальные тренировочные комплексы предлагают кардинально новый путь решения указанной задачи. Формирование цифрового окружения, в высокой степени имитирующего реальность, дает возможность обойти ключевые недостатки классических способов обучения. Передовые технологии компьютерного моделирования достигли такого уровня,

что стало возможным создание сложных симуляторов, способных воспроизводить не только внешний облик устройств, но и основные законы их работы.

Разработка обучающего симулятора для подготовки специалистов по антидроновым системам на базе Unreal Engine 5 представляется закономерным ответом на существующие вызовы. Unreal Engine 5 – это игровой движок, позволяющий создавать предельно реалистичные условия для обучения. Отличительной особенностью разрабатываемого симулятора является его комплексность. Таким образом, тренажёр не представляет собой поверхностный обзор оборудования, а воспроизводит основные аспекты работы систем борьбы с дронами. Это включает как практические навыки использования устройства, так и навыки оценки ситуации и принятия решений. Таким образом, обучаемые получают целостное представление о процессе противодействия беспилотным летательным аппаратам.

Важнейшей частью разработки является создание различных учебных миссий, которые будут охватывать широкий спектр сценариев. В виртуальном пространстве можно симулировать различные типы дронов, различающихся по своим летным характеристикам и схемам действий. Условия видимости, уровень

1 Поликарпов Дмитрий Сергеевич, старший преподаватель кафедры радиоэлектронной борьбы Южного федерального университета. Таганрог, Россия. E-mail: polikarpov@sfedu.ru

2 Пономарёв Даниил Юрьевич, студент Южного федерального университета. Таганрог, Россия. E-mail: daponomarev@sfedu.ru

3 Бисултанов Раджаб Сулайманович, студент Южного федерального университета. Таганрог, Россия. E-mail: bisultanov@sfedu.ru

радиоэлектронных помех, особенности ландшафта – все эти переменные можно регулировать, обеспечивая подходящие условия для последовательного получения навыков.

Внедрение виртуальной реальности радикально преобразует образовательный процесс. Полное вовлечение в искусственно созданную среду позволяет обучающимся оттачивать умения в обстановке, максимально имитирующей реальность. Это критически важно для выработки моторики при работе с оборудованием и развития пространственного воображения, необходимого для эффективного реагирования на быстро движущиеся объекты.

Создаваемый симулятор демонстрирует успешное воплощение передовых компьютерных технологий для решения актуальных задач в сфере безопасности. Сочетание современных графических технологий, точной физической симуляции и методически выверенной системы обучения формирует мощный инструмент для подготовки специалистов. Данный подход открывает новые горизонты для организации широкомасштабного обучения пользователей с минимальными финансовыми затратами (рис. 1).



Рис. 1. Теоретические материалы

Дальнейшее развитие проекта связано с непрерывным расширением функционала системы. Внедрение новых видов угроз, усовершенствование физической модели, добавление дополнительных сценариев – все это будет способствовать повышению отдачи от подготовки специалистов. Значительное внимание уделяется вопросам адаптивности решения для различных групп пользователей.

Внедрение подобных симуляторов в программы обучения знаменует новый этап в подготовке специалистов по противодействию беспилотным угрозам. Виртуальные тренировочные системы становятся не просто дополнением к традиционным методам, а полноценной альтернативой, обладающей рядом неоспоримых преимуществ. Это особенно важно в условиях, когда скорость появления новых угроз опережает возможности традиционных систем подготовки кадров.

Постановка задач

Создание тренажера для нейтрализации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) сопряжено с решением ряда переплетающихся проблем, направленных на создание действенного и безопасного инструмента обучения [2, 3]. Ключевой задачей является точное воспроизведение работы антидроновых ружей, включая их спецификации, принципы функционирования и ограничения. Данные средства используют различные способы воздействия на дроны, например, направленное электромагнитное излучение. Тренажер призван детально имитировать эти процессы, чтобы пользователи понимали, как и при каких условиях целесообразно применять тот или иной режим работы.

Второй немаловажной задачей является разработка различных ситуаций, правдоподобно отображающих реальные сценарии использования антидроновых систем. Это включает в себя разнообразные типы БПЛА (мультикоптеры, самолетного типа и гибридные модели), особенности их полетов (одиночные вылеты, групповые атаки, уклонение от воздействия), а также влияние окружающей среды (погодные условия, городская застройка, сторонние радиопомехи) [4]. Уровень сложности заданий должен гибко изменяться в зависимости от навыков пользователя, начиная с элементарных обучающих упражнений и переходя к комплексным тактическим маневрам.

Третья важной целью является развитие у обучаемых способностей по обнаружению и квалификации БПЛА. Они могут быть оснащены камерами, передающими устройствами и даже взрывчатые вещества, поэтому оператору необходимо быстро определять степень опасности. Тренажер должен обеспечивать обучение не только путем визуального распознавания, но и с использованием вспомогательных средств, таких как детекторы дронов и тепловизоры. Существенно, чтобы специалист разбирался в различиях между мультикоптерами, FPV-дронами и БПЛА самолетного типа, а также знал, какие ответные меры следует применять в каждом отдельном случае.

Четвертая задача – совершенствование тактических навыков. Работа с антидроновым оружием требует не только технических знаний, но и понимания тактики. Специалист должен грамотно выбирать позицию и менять её после подавления БПЛА, рассчитывать расстояние до цели, предвидеть траекторию движения БПЛА и ожидать появления последующих БПЛА. В тренажере должны быть сценарии, подразумевающие действия в условиях дефицита времени и минимизации сопутствующего ущерба.

И, наконец, пятая задача – создание системы оценки эффективности обучения. Тренажер должен фиксировать ключевые показатели, такие как время реакции, точность обнаружения, правильность выбора метода противодействия и соблюдение правил безопасности. На основе этих данных формируется индивидуальная статистика, позволяющая выявить пробелы в подготовке обучающегося и скорректировать программу обучения.

Таким образом, поставленные задачи охватывают техническое моделирование, разработку реалистичных сценариев, формирование практических навыков и объективную оценку результатов обучения [5]. Такой комплексный подход обеспечивает не только имитацию работы с антидроновыми ружьями, но и полноценную подготовку специалистов, готовых к эффективным действиям в реальных условиях.

Решение поставленной задачи

Разработка комплексного симулятора для подготовки операторов антидроновых ружей потребовала создания многоуровневой архитектуры, объединяющей передовые технологии моделирования с методически обоснованной системой обучения. Основой решения стал выбор платформы Unreal Engine 5, предоставляющей уникальный набор инструментов для реализации всех компонентов системы [6]. Этот современный игровой движок сочетает мощные графические возможности с гибкостью программирования, что делает его идеальной основой для специализированных тренажерных систем.

Применения технологий Nanite и Lumen обеспечивают фотореалистичную визуализацию интерактивной учебной среды. Nanite позволяет использовать высокодетализированные модели оборудования и окружающей среды без потери производительности, что крайне важно для идеального воспроизведения всех нюансов противодронного оружия, чтобы каждый элемент управления работал (рис. 2). Динамическое глобальное освещение обеспечивается Lumen, что обеспечивает реалистичные эффекты света и тени в различных ситуациях – от яркого дневного света до сложных ночных условий с тепловизорами [7].

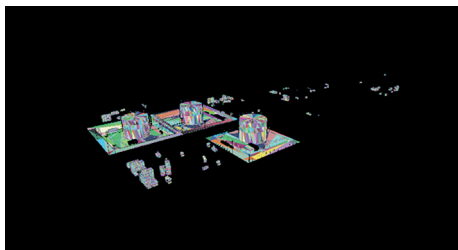


Рис. 2. Визуализация Nanite

Физическая модель для симулятора основана на системе Chaos, где она с высокой точностью эмулирует основные принципы работы противодронного ружья (рис. 3). При моделировании особое внимание уделяется имитации электромагнитного излучения с учетом мощности сигнала, характеристик антенны, а также эффектов затухания в различных средах. Для устройств радиоэлектронного подавления разработана детализированная модель генерации помех, учитывающая задержки во времени распространения сигнала и особенности модуляции. Визуализация отображает зону эффективного действия в режиме реального времени, позволяя оператору оценивать эффективность своих действий.



Рис. 3. Физическая модель на системе Chaos

Моделирование поведения БПЛА представляет собой сложную инженерную задачу (рис. 4). В симуляторе реализована библиотека типовых моделей дронов, различающихся по аэродинамическим характеристикам, системам навигации и алгоритмам полета. Для реалистичного воспроизведения применяются физически обоснованные модели, учитывающие массу, подъемную силу, инерцию и ветровые нагрузки. Особый интерес представляют алгоритмы реакции на внешние воздействия – при подавлении каналов управления дрон может переходить в различные режимы: возврат к оператору, автопосадка или продолжение полета по последним известным координатам.



Рис. 4. Моделирование поведения БПЛА

Функциональность симулятора обеспечивается комплексом инструментов Unreal Engine 5. Blueprints позволяют создавать интуитивно понятный интерфейс и систему управления [8],

в то время как MetaSounds отвечает за пространственное звуковое сопровождение, критически важное для локализации целей [9]. Niagara используется для визуализации специальных эффектов, включая электромагнитное воздействие и радиопомехи.

Система оценки эффективности обучения построена на анализе множества параметров, включая время реакции, точность наведения, выбор оптимального метода нейтрализации и соблюдение мер безопасности. Для каждого упражнения разработаны комплексные критерии оценки, учитывающие как технические навыки, так и тактическое мышление оператора [10]. Статистика сохраняется в индивидуальном профиле обучаемого, позволяя отслеживать прогресс и выявлять проблемные области подготовки.

Система обучения построена по модульному принципу, сочетая теоретические материалы с практическими упражнениями. Теоретический блок включает интерактивные лекции по физическим принципам работы антидроновых ружей, классификации БПЛА и правовым аспектам их нейтрализации. Практическая часть начинается с простых упражнений по обнаружению и завершается комплексными миссиями, требующими применения всех полученных навыков в условиях, приближенных к реальным.

Использование Unreal Engine 5 в качестве технологической основы позволяет создать многофункциональную обучающую платформу, сочетающую техническую достоверность с методической эффективностью. Движок предоставляет все необходимые средства для точного моделирования как физических процессов, так и тактических ситуаций, с которыми операторы могут столкнуться в реальных условиях эксплуатации антидроновых ружей [11].

Выводы

Разработанный симулятор на базе Unreal Engine 5 представляет собой современное решение

для подготовки операторов антидроновых ружей, сочетающее технологическую инновационность с практической эффективностью. Реализация проекта подтвердила возможность создания высоко реалистичной учебной среды, где специалисты могут отрабатывать навыки противодействия БПЛА без рисков и затрат, связанных с полевыми учениями.

Ключевым достижением стала интеграция фотореалистичной визуализации с точной физической моделью работы антидроновых ружей. Использование технологий Nanite и Lumen позволило достичь беспрецедентного уровня детализации, критически важного для идентификации типов БПЛА и оценки дистанций. Система Chaos обеспечила достоверное моделирование электромагнитного воздействия и аэродинамики беспилотников, что принципиально отличает данный симулятор от аналогичных решений.

Практическая ценность разработки заключается в ее адаптивности и комплексном подходе к обучению. Встроенная система оценки не просто фиксирует результаты, но и анализирует тактические решения оператора, формируя персонализированные рекомендации.

Перспективы развития проекта связаны с расширением библиотеки сценариев за счет включения новых типов угроз и условий окружающей среды. Особое внимание будет уделено моделированию группового взаимодействия операторов и интеграции с другими системами противодействия БПЛА. Дальнейшая оптимизация позволит развертывать решение на мобильных платформах без потери качества симуляции.

Внедрение данного симулятора в программы подготовки специалистов позволит существенно повысить уровень их квалификации при значительном снижении эксплуатационных расходов [12]. Разработка устанавливает новый стандарт в области виртуальной тренировки операторов антидронного оборудования, сочетая технологические возможности Unreal Engine 5 с глубокой проработкой предметной области.

Литература

1. Адаптивное персонализированное обучение: внедрение современных технологий в высшем образовании / М. В. Максимова, О. В. Фролова, Х. Х. Этуев, Л. Д. Александрова // Информатика и образование. – 2023. – Т. 38. – № 4. – С. 14–27. – DOI 10.32517/0234-0453-2023-38-4-14-27.
2. Мельник В. Н. Технологии виртуальной реальности в военном образовании: мировой опыт и лучшие практики / В. Н. Мельник // Динамика развития системы военного образования: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Омск, 14 марта 2025 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2025. – С. 496–501.
3. Уварина Н. В. Анализ и перспективы применения иммерсивных технологий в системе подготовки офицеров российской армии / Н. В. Уварина, А. В. Полковников // Современная высшая школа: инновационный аспект. – 2020. – Т. 12 – № 4 (50). – С. 10–19. – DOI 10.7442/2071-9620-2020-12-4-10-19.

4. Кудряшов В. А. Тренажеры, тренажеры-симуляторы управления беспилотным воздушным судном / В. А. Кудряшов // Академический вестник войск национальной гвардии Российской Федерации. – 2024. – № 3. – С. 8–14.
5. Федулов В. А. Оценка эффективности системы поражения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов методом имитационного моделирования / В. А. Федулов, Н. В. Быков, В. Д. Баскаков // Системы управления, связи и безопасности. – 2023. – № 4. – С. 63–104. – DOI 10.24412/2410-9916-2023-4-63-104.
6. Французов А. М. Сравнительный анализ графических движков Unreal Engine 4 и Unreal Engine 5 / А. М. Французов, И. М. Камалутдинов // Научные открытия: междисциплинарные аспекты: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Саратов, 20 января 2024 года. – Москва: Издательство «Доброе слово и Ко», 2024. – С. 243–249.
7. Карпов Д. Е. Lumen и Nanite в Unreal Engine 5: разбор новых технологий глобального освещения и визуализации, их влияние на процесс разработки и качество графики / Д. Е. Карпов // Актуальные исследования. – 2024. – № 21-1 (203). – С. 80–84.
8. Model Checking of Visual Scripts Created by UE4 Blueprints / N. Igawa, T. Yokogawa, M. Takahashi, K. Arimoto // Proceedings – 2020, 9th International Congress on Advanced Applied Informatics, IIAI-AAI 2020: 9, Kitakyushu, 01–15 сентября 2020 года. – Kitakyushu, 2020. – P. 512–515. – DOI: 10.1109/IIAI-AAI50415.2020.00107.
9. Евграфова Е. Е. Технология создания звукового сопровождения в интерактивной виртуальной среде / Е. Е. Евграфова, Л. С. Земляникова // Актуальные проблемы информатизации в цифровой экономике и научных исследованиях: Материалы V Научно-практической конференции с международным участием, Москва, 21–22 ноября 2024 года. – Москва: Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», 2024. – С. 14–19.
10. Среда моделирования трехмерных сцен для обучения и тестирования алгоритмов компьютерного зрения / А. В. Колдомасов, П. А. Гессен, А. И. Лизин [и др.] // Перспективные системы и задачи управления: Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции и XIV молодежной школы-семинара. Посвящается памяти Почетного члена Оргкомитета Конференции, водителя первого лунохода, генерал-майора В. Г. Довганя, п. Домбай, Карачево-Черкесская Республика, 03–07 апреля 2023 года. – Таганрог: Общество с ограниченной ответственностью Издательство «Лукоморье», 2023. – С. 365–376.
11. Король М. А. Продвинутое средство передвижения и ее использование в Unreal Engine / М. А. Король, А. Г. Дзюба, В. В. Верютина // Инноватика – 2022 : Сборник материалов XVIII международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 21–22 апреля 2022 года. – Томск: Общество с ограниченной ответственностью «СТТ», 2022. – С. 428–430.
12. Прищепа В. Н. Интерактивный тренировочный комплекс по формированию первичных навыков выполнения упражнений армейской тактической стрельбы / В. Н. Прищепа, А. В. Северенко, И. Г. Кириллов // Военная мысль. – 2024. – № 10. – С. 54–59.

INNOVATIVE APPROACH TO TRAINING OPERATORS OF ELECTRONIC COMBAT SYSTEMS AGAINST UAVS

Polikarpov D. S.⁴, Ponomarev D. Yu.⁵, Bisultanov R. S.⁶

Keywords: *simulator, training scenarios, radio suppression, electromagnetic effects, training missions, tactical training, virtual environment.*

Abstract

The purpose of the work: *analysis and development of a simulator for training anti-drone gun operators, aimed at forming basic theoretical knowledge and practical skills in countering unmanned aerial vehicles in a safe virtual environment.*

Research results: *the developed simulator allows to significantly increase the level of training of specialists without the need to use real equipment. Users get the opportunity to practice detection and suppression of UAV control channels in various conditions, including urban environments, open areas and areas with limited visibility. The assessment system records the accuracy of detection, reaction speed and correctness of the use of anti-drone means, which contributes to the formation of sustainable skills.*

Scientific novelty: *integration of a realistic physical model of radio interference with adaptive training scenarios, which allows virtual training as close as possible to the real conditions of operation of anti-drone guns.*

References

1. Adaptive personalized learning: implementation of modern technologies in higher education / M. V. Maksimova, O. V. Frolova, H. H. Etuev, L. D. Aleksandrova // Computer Science and Education. – 2023. – Vol. 38, No 4. – Pp. 14–27. – DOI 10.32517/0234-0453-2023-38-4-14-27.

⁴ **Dmitry S. Polikarpov**, Senior Lecturer, Department of Electronic Warfare, Southern Federal University. Taganrog, Russia. E-mail: polikarpov@sfedu.ru

⁵ **Daniil Yu. Ponomarev**, Student, Southern Federal University. Taganrog, Russia. E-mail: daponomarev@sfedu.ru

⁶ **Radzhab S. Bisultanov**, Student, Southern Federal University, Taganrog. Russia. E-mail: bisultanov@sfedu.ru

2. Melnik V. N. Virtual reality technologies in military education: world experience and best practices / V. N. Melnik // Dynamics of development of the military education system: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference, Omsk, March 14, 2025. – Omsk: Omsk State Technical University, 2025. – Pp. 496–501.
3. Uvarina N. V. Analysis and prospects of using immersive technologies in the training system of officers of the Russian army / N. V. Uvarina, A. V. Polkovnikov // Modern higher education: innovative aspect. – 2020. – Vol. 12. – No 4 (50). – P. 10–19. – DOI 10.7442/2071-9620-2020-12-4-10-19.
4. Kudryashov V. A. Simulators, training simulators for controlling an unmanned aerial vehicle / V. A. Kudryashov // Academic Bulletin of the National Guard Troops of the Russian Federation. – 2024. – No. 3. – P. 8–14.
5. Fedolov V. A. Evaluation of the effectiveness of the system for defeating small-sized unmanned aerial vehicles using the simulation modeling method / V. A. Fedolov, N. V. Bykov, V. D. Baskakov // Control, Communications and Security Systems. – 2023. – No 4. – P. 63–104. – DOI 10.24412 / 2410-9916-2023-4-63-104.
6. Frantsuzov A. M. Comparative analysis of the graphics engines Unreal Engine 4 and Unreal Engine 5 / A. M. Frantsuzov, I. M. Kamalutdinov // Scientific discoveries: interdisciplinary aspects: Collection of articles from the International Scientific and Practical Conference, Saratov, January 20, 2024. – Moscow: Izdatelstvo «Dobroe slovo i Ko», 2024. – P. 243–249.
7. Karpov D. E. Lumen and Nanite in Unreal Engine 5: Analysis of New Global Illumination and Visualization Technologies, Their Impact on the Development Process and Graphics Quality / D. E. Karpov // Actual Research. – 2024. – No 21-1 (203). – P. 80–84.
8. Model Checking of Visual Scripts Created by UE4 Blueprints / N. Igawa, T. Yokogawa, M. Takahashi, K. Arimoto // Proceedings – 2020, 9th International Congress on Advanced Applied Informatics, IIAI-AAI 2020: 9, Kitakyushu, September 01–15, 2020. – Kitakyushu, 2020. – P. 512–515. – DOI 10.1109/IIAI-AAI50415.2020.00107.
9. Evgrafova E. E. Technology of creating sound accompaniment in an interactive virtual environment / E. E. Evgrafova, L. S. Zemlyannikova // Actual problems of informatization in the digital economy and scientific research: Proceedings of the V Scientific and Practical Conference with international participation, Moscow, November 21–22, 2024. – Moscow: National Research University «Moscow Institute of Electronic Technology», 2024. – P. 14–19.
10. Three-dimensional scene modeling environment for training and testing computer vision algorithms / A. V. Koldomasov, P. A. Gessen, A. I. Lizin [et al.] // Advanced control systems and tasks: Proceedings of the XVIII All-Russian scientific and practical conference and the XIV youth school-seminar. Dedicated to the memory of the Honorary Member of the Organizing Committee of the Conference, the driver of the first lunar rover, Major General V. G. Dovgan, p. Dombay, Karachevo-Cherkess Republic, April 3–7, 2023. – Taganrog: Limited Liability Company Publishing House «Lukomorye», 2023. – P. 365–376.
11. Korol, M. A. Advanced movement system and its use in Unreal Engine / M. A. Korol, A. G. Dzyuba, V. V. Veryutina // Innovatika – 2022: Collection of materials of the XVIII international school-conference of students, graduate students and young scientists, Tomsk, April 21–22, 2022. – Tomsk: Limited Liability Company «STT», 2022. – P. 428–430.
12. Prishchepa, V. N. Interactive training complex for the formation of primary skills in performing army tactical shooting exercises / V. N. Prishchepa, A. V. Severenko, I. G. Kirillov // Military Thought. – 2024. – No 10. – P. 54–59.

