

УДК 378.162.33

ББК 39.5

DOI 10.51955/2312-1327_2025_2_26

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ВЕРТОЛЁТА МИ-8Т НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ VR

*Владимир Михайлович Попов,
orcid.org/0000-0002-5899-3012,
кандидат технических наук, доцент
Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
povlamix@mail.ru*

*Сергей Валентинович Снимщиков
orcid.org/0009-0003-4356-3516,
кандидат технических наук
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский бульвар, д. 20
Москва, 125993, Россия
info@mstuca.ru*

*Вячеслав Сергеевич Турчановский,
orcid.org/0009-0001-1042-0434,
Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
orion3663@mail.ru*

*Арсений Юрьевич Колмаков,
orcid.org/0009-0008-6127-2380,
Московский государственный технический университет
гражданской авиации (Иркутский филиал),
ул. Коммунаров, 3
Иркутск, 664047, Россия
kolmakov-arseniy2016@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются разработка и применение виртуального тренажера вертолёта МИ-8Т на основе технологии виртуальной реальности (Virtual Reality) с использованием программного обеспечения Blender, 3DCoat и Unity, позволяющего воспроизвести реалистичную картину приборных панелей, электрощитков и органов управления вертолётом. Путём взаимодействия оператора с ними, проводить различные процедуры включения, проверки работоспособности и готовности бортового оборудования к полету при проведении учебных занятий студентов и курсантов вуза и повышении квалификации авиационных специалистов, что может существенно повысить эффективность и качество учебного процесса и подготовки авиационных специалистов.

Ключевые слова: виртуальная реальность, виртуальный тренажер вертолёта, технология VR.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A VIRTUAL SIMULATOR FOR THE MI-8T HELICOPTER BASED ON VR TECHNOLOGY

Vladimir M. Popov,
orcid.org/0000-0002-5899-3012,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Moscow State Technical University of
Civil Aviation (Irkutsk branch),
3, Kommunarov St.
Irkutsk, 664047, Russia
povlamix@mail.ru

Sergey V. Snimshchikov
orcid.org/0009-0003-4356-3516,
Candidate of Technical Sciences
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
Kronstadtsky boulevard, 20
Moscow, 125993, Russia
info@mstuca.ru

Vyacheslav S. Turchanovskiy,
orcid.org/0009-0001-1042-0434,
Moscow State Technical University of
Civil Aviation (Irkutsk branch),
3, Kommunarov St.
Irkutsk, 664047, Russia
orion3663@mail.ru

Arseniy Yu. Kolmakov,
orcid.org/0009-0008-6127-2380,
Moscow State Technical University of
Civil Aviation (Irkutsk branch),
3, Kommunarov St.
Irkutsk, 664047, Russia
kolmakov-arseniy2016@yandex.ru

Abstract. The paper deals with the development and application of a virtual simulator of MI-8T helicopter based on Virtual Reality technology using Blender, 3D Coat and Unity software which allows reproducing a realistic picture of instrument panels, electrical panels and flight controls of the helicopter. The operator interacting with them can carry out various procedures of switching on, checking the operability and readiness of onboard equipment for flight. This is useful in conducting lessons for students and cadets of the university and in advanced training of aviation specialists and can significantly improve the efficiency and quality of the educational process and training of aviation specialists.

Keywords: virtual reality, virtual helicopter simulator, VR technology.

Введение

Современные технологии виртуальной реальности позволяют создать безопасную и экономически выгодную среду для обучения, заменяя или дополняя традиционные методы подготовки [Франчук и др., 2023]. Тренажеры в области авиации давно зарекомендовали себя как эффективный инструмент для обучения пилотов и других специалистов [Науменко и др., 2021; Попов, 2017].

Однако в последние годы, с развитием технологий виртуальной реальности (VR), появился новый подход к обучению инженерно-технического персонала (ИТП), который работает с вертолётами. Использование VR-тренажеров для подготовки специалистов, занимающихся техническим обслуживанием, ремонтом и эксплуатацией воздушных судов, значительно повышает качество обучения, позволяя им не только теоретически изучать механизмы работы вертолётов, но и на практике отрабатывать процедуры в безопасной и контролируемой среде [Харитонов и др., 2011].

Разработкой виртуальных тренажеров занимаются во многих странах мира. Представленный в статье виртуальный тренажер основывается на технологиях виртуальной реальности [Kuntz Rangel et al., 2002].

Разработанный виртуальный тренажер вертолёта Ми-8Т предназначен для обучения студентов и технических специалистов запуску и диагностике систем воздушного судна.

Основной целью разработки является создание тренажера, который обеспечит полное погружение в виртуальную среду, предоставляя пользователям возможность отрабатывать навыки в условиях, максимально приближенных к реальным [Турчановский и др., 2024].

Материалы и методы

Во время реализации проекта были использованы следующие программные инструменты:

- Blender для моделирования 3D-объектов [Blender Foundation..., 2024];
- 3D-Coat для наложения текстур и рендеринга [Pilgway..., 2024];
- Unity для разработки приложения [Unity Technologies..., 2024].

Создание симулятора начинается с проработки 3D-моделей в Blender, их текстурирования в 3D-Coat и последующей интеграции в Unity. Функциональность системы обеспечивается программированием логики работы авиационных систем.

Виртуальная реальность предоставляет возможность взаимодействия с тренажером через гарнитуру VR (рисунок 1), а контроллеры позволяют пользователю управлять виртуальными элементами, такими как кнопки и переключатели в кабине вертолёта (рисунок 2).

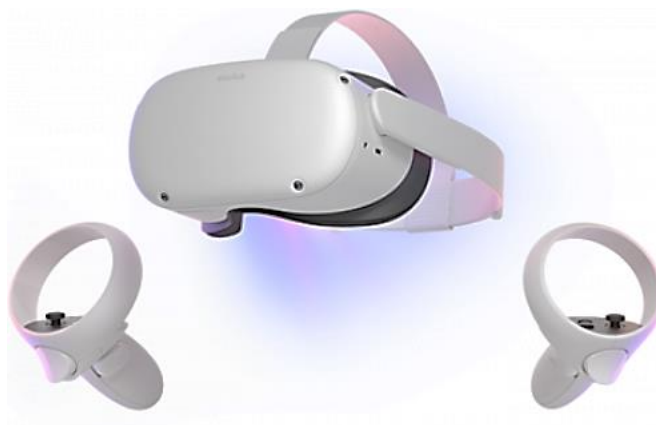


Рисунок 1 – Шлем и контроллеры виртуальной реальности Oculus Quest 2

Разработка виртуального тренажера началась с определения его базовых принципов и создания виртуального пространства в среде разработки Unity. Для обеспечения взаимодействия пользователя с элементами тренажера был интегрирован плагин SteamVR, позволяющий управлять объектами в виртуальной реальности посредством контроллеров. Для подключения шлема виртуальной реальности к компьютеру необходимо установить бесплатное программное обеспечение Oculus [Oculus VR, 2024] и программу SteamVR [Valve Corporation..., 2024]. Это обеспечит отображение сцены на экране шлема и его дублирование на мониторе компьютера (рисунок 3).



Рисунок 2 – Взаимодействие пользователя с элементами управления в виртуальной кабине

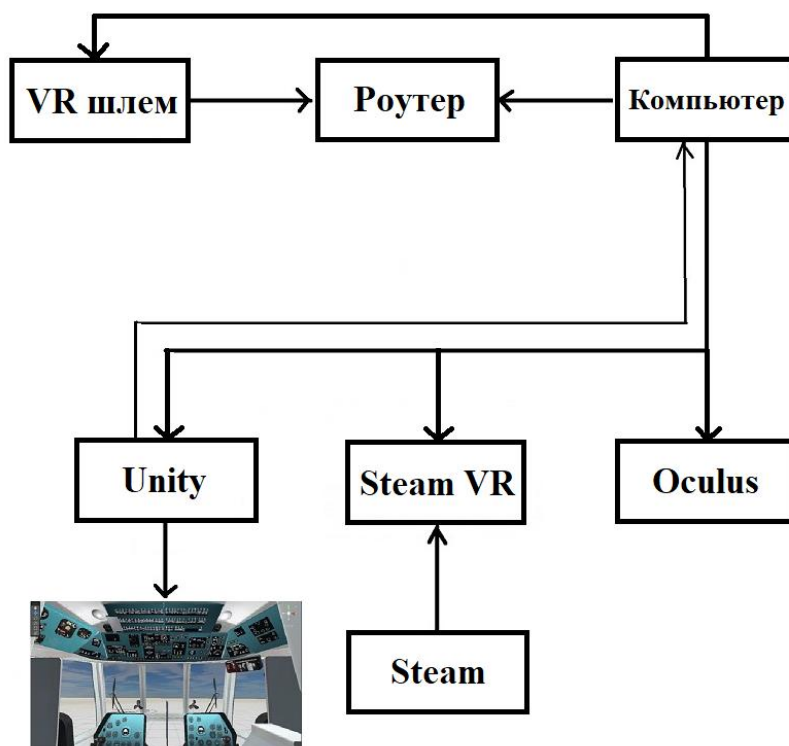


Рисунок 3 – Функциональная схема работы симулятора

В ходе проекта также были использованы:

- трёхмерная модель вертолётa Ми-8Т (рисунок 4);
- разработанные в Blender и 3Dcoat модели приборных панелей и пультов управления (рисунок 5).



Рисунок 4 – Модель вертолётa Ми-8Т



Рисунок 5 – 3D модели панелей и пультов управления

Создание VR-тренажера вертолётa Ми-8 требует высокой степени детализации и реализма, что критично для достижения эффекта погружения и эффективного обучения. Одним из ключевых этапов разработки является создание 3D-моделей внутренних панелей вертолётa и их текстурирование.

С этой целью использовалась программа Blender для создания детализированных 3D-моделей элементов вертолётa. Особое внимание уделялось точности геометрии, чтобы каждый объект в виртуальной кабине соответствовал своему реальному аналогу.

Моделирование включает сбор референсных материалов (реальных фотографий), которые используются для создания точных копий панелей. Эти

материалы включают фотографии приборных панелей с разных ракурсов, технические чертежи и схемы. Они помогают понять конструкцию, размеры и пропорции панелей, что критически важно для разработки реалистичных моделей.

На начальной стадии создается базовая форма модели. Используются простые примитивы, такие как кубы и цилиндры, которые последовательно модифицируются с помощью инструментов Extrude (выдавливание), Scale (масштабирование) и Rotate (поворот). Для повышения качества поверхности модели применяются модификаторы, например, Subdivision Surface (сглаживание моделей), который позволяет сгладить форму и сделать ее более органичной.

Далее происходит процесс детализации модели. Для добавления мелких элементов, таких как грани, вырезы и отверстия, применяются инструменты Bevel (фаска), Inset (вдавливание) и Loop Cut (разрез). Особое внимание уделяется мелким деталям, включая переключатели, индикаторы и кнопки на панелях. Завершенная модель представлена на рисунке 6.

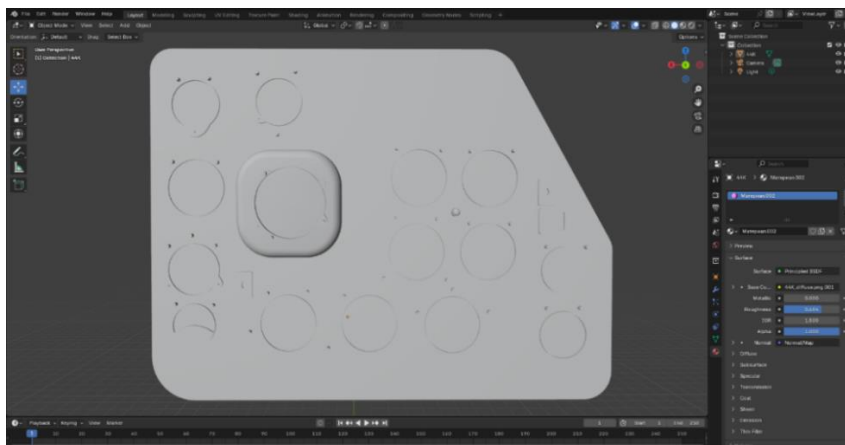


Рисунок 6 – Модель правой приборной доски

Затем модель проходит этап текстурирования в программной среде 3D-Coat, где создаются реалистичные текстуры с высоким уровнем детализации, чтобы она была визуально похожа на оригинал. С помощью инструментов рисования и работы со слоями в 3D-Coat создаются карты диффузии, нормалей и отражений. Диффузная карта определяет базовый цвет и мелкие детали, нормальная карта придает модели рельеф, а отражательные свойства задаются specular картой. Для придания текстурам реалистичности используются маски и эффекты, такие как износ, царапины и загрязнения.

Готовая к использованию модель с текстурой представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Модель правой приборной доски с текстурой

После завершения этапов моделирования и текстурирования все элементы интегрируются в среду разработки Unity. Этот этап важен с точки зрения реализации интерактивного сценария: в Unity создаются алгоритмы работы системы вертолѐта, а также предоставляет возможность взаимодействия с виртуальными органами управления. Для взаимодействия с симулятором используется шлем виртуальной реальности Oculus Quest 2, позволяющий полностью погрузиться в виртуальную среду. Контроллеры отслеживают движения рук, позволяя пользователю свободно перемещаться по виртуальной кабине и взаимодействовать с такими элементами, как тумблеры, кнопки и переключатели, которые расположены в кабине вертолѐта.

В среде Unity были реализованы:

- визуализация;
- физика взаимодействия пользователя с виртуальным пространством;
- интерфейс;
- логика работы элементов управления и систем вертолѐта;
- оптимизация работы симулятора.

Под визуализацией подразумевается импорт (внедрение) созданных ранее моделей в Unity и их расположение на сцене (виртуальное пространство). Изначально использовались модели разных размеров, поэтому необходимо было изменить их так, чтобы они соответствовали реальным размерам. Для этого производилась настройка освещения, теней, устанавливались skybox (фоновое изображение) и поверхность для расположения модели вертолѐта.

Под интерфейсом подразумевается расположение кнопок и создание световых табло с текстом. Кнопки включения и выключения тумблеров располагаются одна в другой, при том, что кнопки выключения изначально деактивированы. Это необходимо для корректной работы тумблеров, а для имитации загоревшихся световых табло были созданы прямоугольники с соответствующим текстом (рисунок 8).

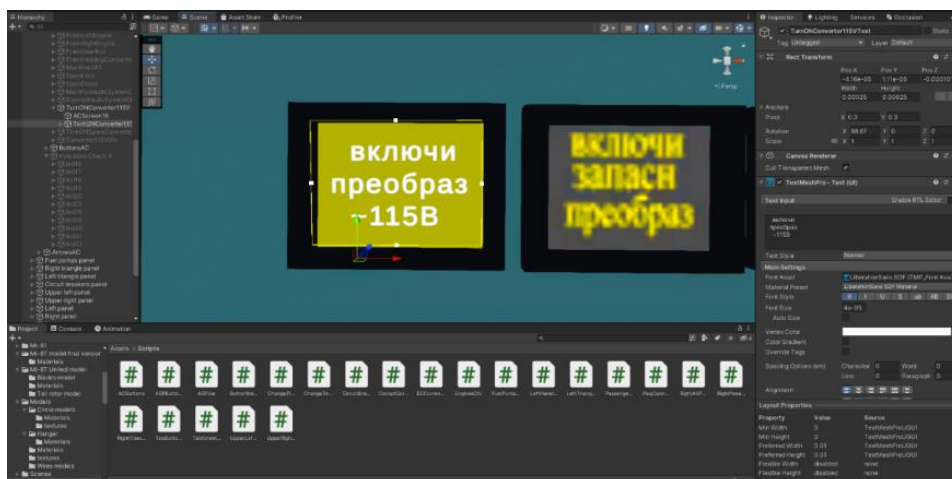


Рисунок 8 – Визуализация светового табло

Логика работы всех систем была реализована с помощью программирования на языке C#. Далее представлена реализация включения и выключения тумблера. Сначала был создан цилиндр для визуализации тумблера и две кнопки. В скрипте созданы 4 массива для:

- переменных;
- объектов (тумблеров);
- кнопок включения;
- кнопок выключения.

Оптимизация – это неотъемлемая часть разработки любого приложения [Берилло, 2024]. Она необходима для уменьшения нагрузки на устройство (ПК или ноутбук) и увеличения производительности.

Используемые в тренажере 3d модели имеют достаточно большое количество полигонов и из-за этого требуют большего количества draw calls (вызовы отрисовки или батчи), что крайне негативно сказывается на производительности. Для оптимизации моделей панелей использовался Blender для их объединения и создания текстурного атласа (атлас – объединяет несколько текстур) (рисунок 9).

В кабине вертолёта довольно большое количество тумблеров и кнопок, поэтому для их оптимизации использовался dynamic batching (динамический батчинг – использование одного материала на объектах для их объединения и уменьшения вызовов отрисовки).

Оптимизация текстов заключалась в отключении некоторых функций взаимодействия пользователя с текстами, таких как:

- rich text (параметр, который указывает Unity искать теги разметки в тексте);
- raycast target (параметр, позволяющий активировать элементы интерфейса за текущим объектом).

В дальнейшем, после создания внешней обстановки, предполагается оптимизация освещения функцией light mapping (запекание света – функция создания карты освещения для преобразования текущего освещения и теней в

общее изображение). Таким образом оптимизация освещения позволит достигнуть большей производительности.

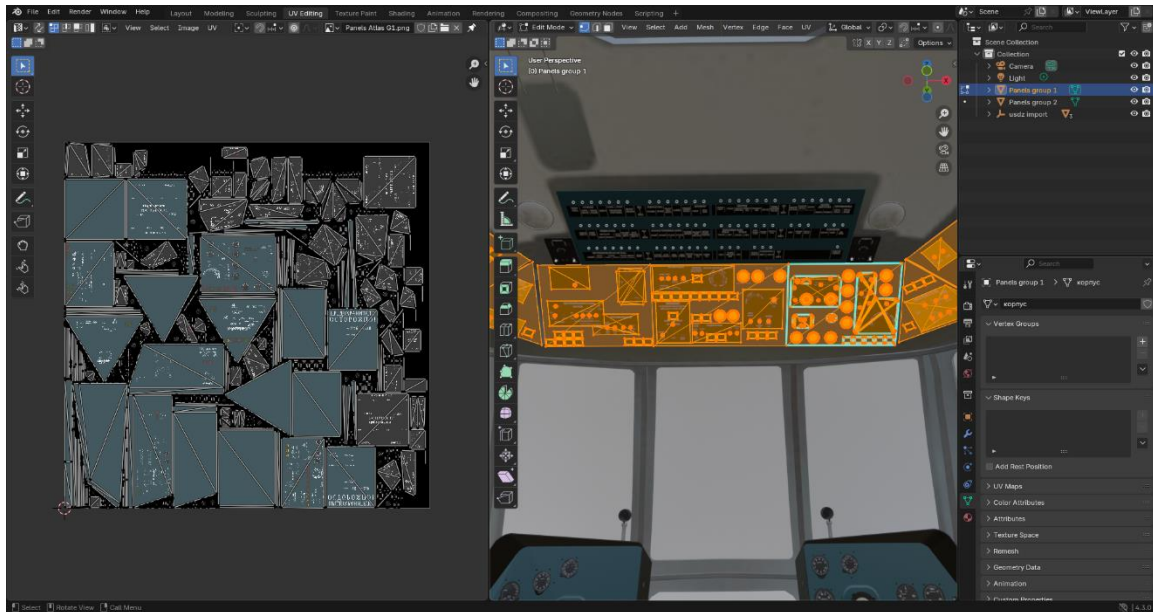


Рисунок 9 – Объединенные модели электропультов и созданный текстурный атлас

Изменение производительности определяется значением Batches (количество вызовов отрисовки), FPS (Frames Per Second – количество кадров в секунду) и Tris (Triangles – точки, объединенные в треугольники). Низкое значение Batches, Tris и высокое количество FPS определяют явное улучшение производительности.

В среде Unity был реализован виртуальный планшет [Турчановский и др., 2024], который необходим для внешнего воздействия на тренажер (рисунок 10).



Рисунок 10 – Вид виртуального планшета

С помощью программирования на языке C# был реализован функционал планшета, а именно:

- вывод характеристик вертолѐта (рисунок 11);

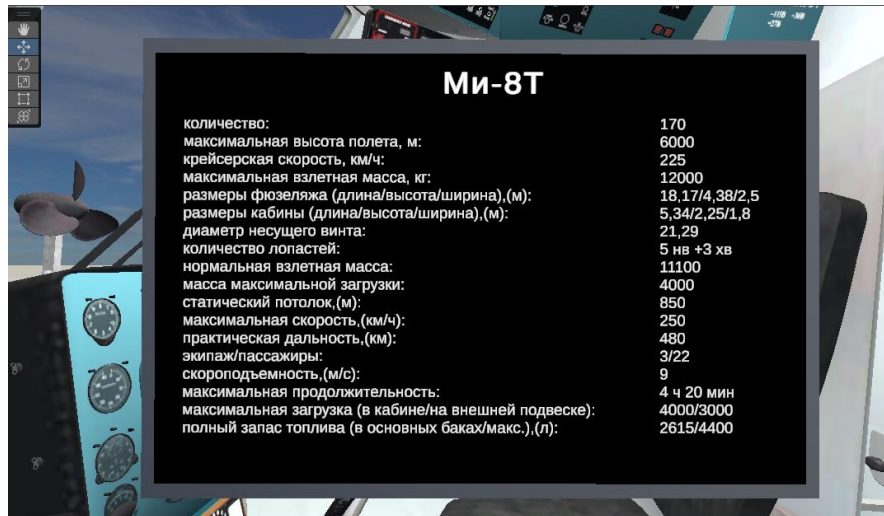


Рисунок 11 – Характеристики вертолѐта

- подключение аэродромного источника питания (рисунок 12);

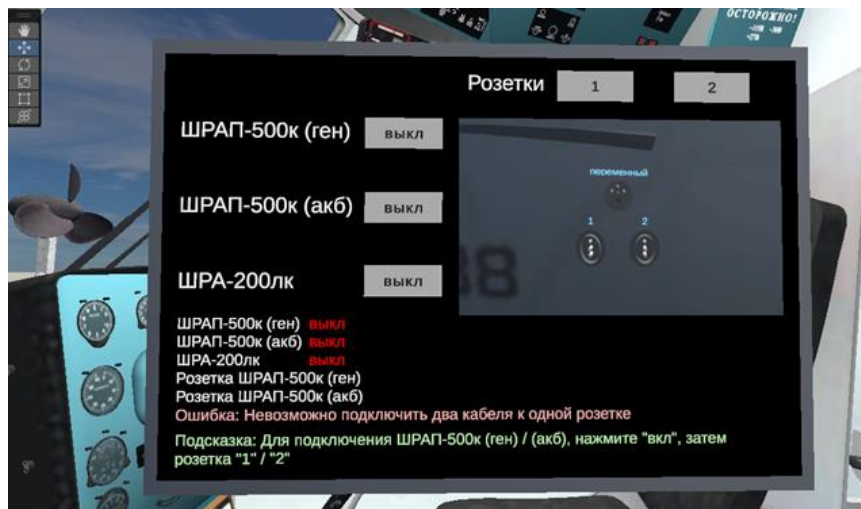


Рисунок 12 – Подключение аэродромного источника питания

- открытие технологических карт (рисунок 13).

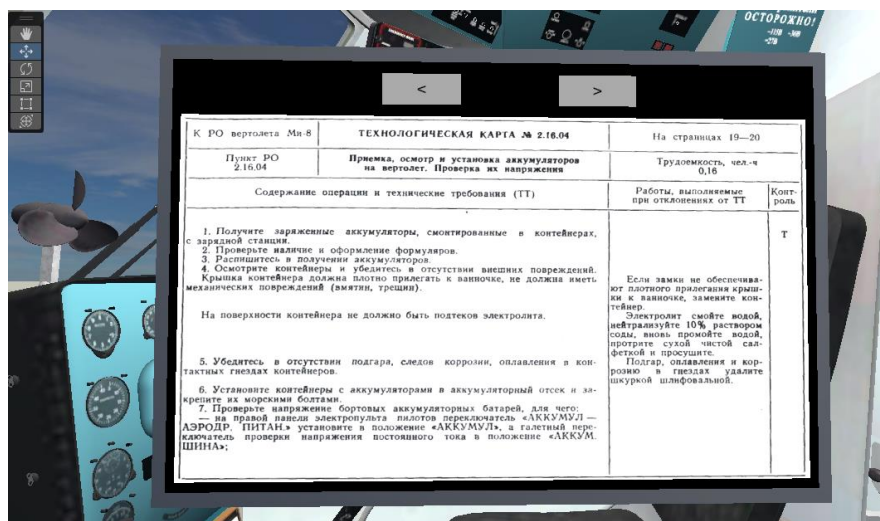


Рисунок 13 – Технологическая карта на виртуальном планшете

Результаты

Ниже представлено применение разработанного виртуального тренажера при проведении эксплуатационной практики с курсантами специальности 25.02.03 «Техническая эксплуатация электрифицированных и пилотажных комплексов». Результаты практики свидетельствуют о высокой эффективности формирования практических навыков курсантов по проверке исправности и проведении оперативной подготовки оборудования вертолёта к полету при использовании виртуального тренажера. Сначала курсанты отрабатывают навыки на виртуальном тренажере, а потом демонстрируют на реальном. Количество вертолётов и преподавателей, ведущих практику, на учебном аэродроме ограничено, поэтому уменьшение времени нахождения курсантов в реальном вертолёте, т.к. они получили навыки и отработали процедуры проверки оборудования на виртуальном тренажере и свободно ориентируются в его расположении, приводит к максимальному охвату всех курсантов (одновременно в кабине вертолёта могут находиться только два курсанта и преподаватель). Раньше эти цели не всегда достигались.

Рассмотрим использование тренажера на примере проверки напряжения аэродромного источника [Носырев, 2009], а именно:

- подключить ШРАП-500к, для этого на виртуальном планшете нажать на кнопку «Подключение» (рисунок 12);

- нажать на кнопку включения ШРАП-500к (ген) или ШРАП-500к (акб) (текст подсветится желтым) и нажать на кнопку выбора розетки «1» или «2». На консоли подключения отобразится подключенный ШРАП, номер розетки и картинка (рисунок 14);



Рисунок 14 – Подключение ШРАП-500к (ген)

- после подключения аэродромного источника, на правой панели электропульты (рисунок 15) загорятся индикаторы: «отказал левый генератор», «отказал правый генератор», «розетка 1 включена» или «розетка 2 включена»;



Рисунок 15 – Модель правой панели электропульты

- установить галетный переключатель в положение РОЗЕТКИ 1 или 2 в зависимости от того, к какой был подключен ШРАП, при этом на вольтметре установится значение напряжения в пределах 24 – 27 В.

Также были реализованы следующие проверки оборудования вертолѐта:

- исправности ламп;
- подключения преобразователей;
- противопожарной системы;
- процесса запуска двигателей;
- противообледенительной системы и т.д.

Инженерно-технический персонал (ИТП), работающий с вертолѐтами, несет ответственность за безопасность и исправность воздушных судов. Обучение специалистов в этой области требует знания конструкции вертолѐта,

принципов его работы, а также умения оперативно реагировать на различные неполадки и неисправности [Попов, 2023]. Традиционные методы обучения, такие как лекции, тренировки на реальных объектах и использование манекенов, имеют ряд ограничений. Виртуальная реальность позволяет создавать гибкие, многообразные и безопасные условия для обучения, что открывает новые горизонты в подготовке ИТП.

При применении VR-тренажеров в обучении ИТП можно выделить следующие моменты:

1. Иммерсивность обучения. Одним из основных преимуществ использования виртуальной реальности является высокий уровень погружения. ИТП может в полной мере взаимодействовать с виртуальной моделью вертолѐта, визуализируя его конструкции и системы, что помогает лучше понять принципы работы различных компонентов [Науменко и др., 2021].

2. Безопасность. Работа с вертолѐтом или его компонентами в реальных условиях, особенно при ремонте или тестировании в аварийных ситуациях, сопряжена с риском для безопасности. Виртуальная реальность позволяет моделировать различные сценарии, включая аварийные, без каких-либо угроз для здоровья и жизни.

3. Повторяемость тренировки. VR-тренажеры позволяют повторять различные операции и сценарии множество раз, оттачивая навыки и улучшая реакции на нестандартные ситуации, что невозможно при использовании реальных объектов, которые требуют времени для восстановления и могут быть дорогими.

4. Доступность и экономия ресурсов. Обучение с использованием VR не требует значительных затрат на оборудование или спецтехнику. Кроме того, это позволяет проводить обучение в любых условиях – не нужно иметь в наличии настоящий вертолѐт или специализированное учебное оборудование.

5. Моделирование различных неисправностей. Виртуальная реальность предоставляет возможность моделировать неисправности и поломки вертолѐта в безопасной и контролируемой среде. Это позволяет ИТП отрабатывать процедуры диагностики и ремонта в реальных условиях, даже если неисправность редко возникает в действительности.

VR-тренажеры вертолѐтов могут быть использованы для различных видов обучения инженерно-технического персонала [Попов и др., 2024]:

- Обучение диагностике и ремонту. Инженеры могут виртуально разбирать и собирать различные компоненты вертолѐта, исследовать причины неисправностей и отрабатывать способы их устранения. Это особенно важно в условиях ограниченности времени и ресурсов для практических тренировок на реальных вертолѐтах.

- Обучение в условиях экстренных ситуаций. Виртуальная реальность позволяет моделировать различные аварийные и чрезвычайные ситуации, например, потерю мощности, отказ системы или пожар на борту. В таких ситуациях ИТП должны действовать быстро и точно, и VR-тренировки могут значительно повысить их готовность.

– Обучение техническому обслуживанию. Подготовка ИТП к регулярному обслуживанию вертолётов, таким как проверка системы управления, диагностика бортовых компьютеров и замена компонентов, становится значительно более эффективной с помощью симуляторов. Это позволяет отрабатывать процедуры обслуживания в любое время и без затрат на реальные расходные материалы.

Хотя применение VR-тренажеров в обучении ИТП имеет множество преимуществ, существуют и определенные сложности. Одной из них является высокая стоимость разработки качественного тренажера, который должен точно передавать все особенности вертолёта. Также для эффективного использования VR необходимо наличие специализированных технических устройств – шлемов виртуальной реальности, перчаток и датчиков движения, что может быть дорогостоящим.

Тем не менее, с развитием технологий стоимость таких тренажеров будет снижаться, а их возможности расширяться. Это приведет к более широкому внедрению VR в авиационную отрасль, в том числе в подготовку инженерно-технического персонала.

Заключение

В рамках проекта был разработан виртуальный интерактивный тренажер вертолёта Ми-8Т, предназначенный для обучения технических специалистов. Реализация тренажера включала создание детализированных 3D-моделей, их текстурирование и интеграцию в виртуальную среду с использованием технологии VR.

Основные преимущества разработанного решения:

- безопасность. Тренировки проводятся в виртуальной среде без риска для здоровья и оборудования;
- экономия. Использование тренажера снижает затраты на эксплуатацию реального оборудования;
- интерактивность. Пользователи могут полностью взаимодействовать с системами вертолёта, что делает обучение максимально эффективным.

Проект продемонстрировал эффективность использования виртуальной реальности в образовательных целях, предложив инновационный инструмент для подготовки специалистов авиационной отрасли.

Применение авиационного виртуального тренажера вертолёта в виртуальной реальности для обучения инженерно-технического персонала открывает новые возможности для повышения квалификации специалистов. Он предоставляет эффективные, безопасные и экономичные средства для обучения, что способствует улучшению качества обслуживания вертолётов, снижению числа ошибок и повышению общей безопасности воздушных судов.

Библиографический список

Берилло А. Обзор бенчмарка Unigine Superposition: и тестирование производительности видеокарт AMD и Nvidia // [Электронный ресурс]. – 2017. URL: <https://ixbt.com/video4/unigine-superposition.shtml> (дата обращения: 10 апреля 2024).

Науменко А. А. Использование авиасимуляторов в учебном процессе авиационного вуза / А. А. Науменко, А. С. Князев // Вестник Армавирского государственного педагогического университета. 2021. № 4. С. 64-70. EDN PTZFGI.

Носырев А. И. Электрооборудование вертолѐта Ми-8Т и его летная эксплуатация. Тюмень: НП Центр подготовки персонала, 2009. 58 с.

Попов В. М. Применение виртуального симулятора вертолѐта МИ-8Т на основе технологии VR при проведении учебных занятий / В. М. Попов, В. С. Турчановский, А. Ю. Колмаков // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: материалы XIII Международной научно-практической конференции, Иркутск, 10–11 октября 2024 года. Иркутск: Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2024. С. 96-104. EDN ATVGMW.

Попов В. М. Применение программных и аппаратных средств Labview при модернизации пилотажных тренажеров на базе аналогового приборного и пилотажно-навигационного оборудования // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации России: сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 50-летию Иркутского филиала МГТУ ГА, Иркутск, 17–19 мая 2017 года. Иркутск: Московский государственный технический университет гражданской авиации, Иркутский филиал, 2017. С. 61-65. EDN YQBMZD.

Попов В. М. Применение учебного тренажера кабины вертолѐта МИ-8Т для проведения эксплуатационной практики / Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции, посвященной празднованию 100-летия отечественной гражданской авиации, Иркутск, 12–13 октября 2023 года. Иркутск: Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2023. С. 260-263. EDN TMYOFB.

Турчановский В. С. Концепция разработки виртуального симулятора вертолѐта МИ-8Т с использованием технологии VR / В. С. Турчановский, А. Ю. Колмаков, В. М. Попов // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации - 2023: Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов, посвященной празднованию 100-летия отечественной гражданской авиации, Иркутск, 07–08 декабря 2023 года. Иркутск: Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2024. С. 139-143. EDN KXQGUO.

Франчук А. К. Применение технологий виртуальной реальности в системе технических средств обучения летного вуза / А. К. Франчук, А. В. Симонов // Информатика: проблемы, методы, технологии: материалы XXIII Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгаинова, Воронеж, 15–17 февраля 2023 года. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2023. С. 1426-1433. EDN CZLQNZ.

Харитонов В. А. Компьютерное воспроизведение виртуальной реальности в современных авиационных тренажерах / В. А. Харитонов, В. А. Бажин, Л. Е. Рудельсон // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2011. № 171. С. 158-165. EDN OQQRUL.

Blender Foundation. Blender 3D Software // [Электронный ресурс]. – 2024. URL: <https://www.blender.org> (дата обращения: 15.03.2024).

Kuntz Rangel R. Development of a virtual flight simulator / R. Kuntz Rangel, L. N. F. Guimarães, F. de Assis Correa // Cyberpsychol Behav. 2002. № 5(5). P. 461-70. DOI 10.1089/109493102761022887.

Oculus VR. [Электронный ресурс]. – 2024. URL: <https://developers.meta.com/horizon> (дата обращения: 15.03.2024).

Pilgway. 3DCoat Software // [Электронный ресурс]. – 2024. URL: <https://3dcoat.com> (дата обращения: 10.04.2024).

Unity Technologies. Unity Game Engine // [Электронный ресурс]. – 2024. URL: <https://unity.com> (дата обращения: 12.05.2024).

Valve Corporation. SteamVR Plugin Documentation // [Электронный ресурс]. – 2024. URL: <https://store.steampowered.com/steamvr> (дата обращения: 20.06.2024).

References

- Berillo A. (2017). *Unigine Superposition Benchmark Review. AMD and Nvidia Graphics Card Performance Testing*. Available at: <https://ixbt.com/video4/unigine-superposition.shtml> (accessed 10 April 2024). (In Russian)
- Blender Foundation. *Blender 3D Software* (2024). Available at: <https://www.blender.org> (accessed 15 March 2024).
- Franchuk A. K., Simonov A. V. (2023). Application of virtual reality technologies in the system of technical means of training of a flying university. *In collection: Informatics: problems, methods, technologies. Proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference named after E.K. Algazinov*. 1426-1433. EDN CZLQHZ. (In Russian)
- Kharitonov V. A., Bazhin V. A., Rudelson L. E. (2011). Computer reproduction of virtual reality in modern aviation simulators. *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*. № 171. C. 158-165. EDN OQQRUL. (In Russian)
- Kuntz Rangel R., Guimarães L. N. F., de Assis Correa F. (2002). Development of a virtual flight simulator. *Cyberpsychol Behav*. 5(5): 461-70. DOI 10.1089/109493102761022887.
- Naumenko A. A., Knyazev A. S. (2021). Use of aircraft simulators in the educational process of aviation university. *Bulletin of Armavir State Pedagogical University*. 4: 64-72. EDN PTZFGI. (In Russian)
- Nosyrev A. I. (2009). *Electrical equipment of Mi-8T helicopter and its flight operation*. Tyumen: NP Personnel Training Center, 2009. 58 p. (In Russian)
- Oculus VR. (2024). Available at: <https://developers.meta.com/horizon> (accessed 15 March 2024).
- Pilgway. *3D Coat Software* (2024). Available at: <https://3dcoat.com> (accessed 10 April 2024).
- Popov V. M. (2017). Application of software and hardware Labview at modernization of pilot simulators on the basis of analog instrument and pilot-navigation equipment. *In Collection: Actual problems and prospects of civil aviation development. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 50th anniversary of the Irkutsk branch of MSTU GA*. 61-64. EDN YQBMZD. (In Russian)
- Popov V. M. (2023). Application of the MI-8T helicopter cockpit simulator for operational practice. *In Collection: Actual problems and prospects of civil aviation development. Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference*. 260-263. EDN TMYOFB. (In Russian)
- Popov V. M., Turchanovsky V. S., Kolmakov A. Yu. (2024). Application of the virtual simulator of MI-8T helicopter on the basis of VR technology in training. *In Collection: Actual problems and prospects of civil aviation development. Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference*. 96-104. EDN ATVG MW. (In Russian)
- Turchanovsky V. S., Kolmakov A. Y., Popov V. M. Concept of development of virtual simulator of Mi-8T helicopter using VR technology. *In Collection: Actual problems of development of aviation equipment and methods of its operation - 2023. Proceedings of the XVI All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Postgraduates*. 139-143. EDN KXQGUO. (In Russian)
- Unity Technologies. *Unity Game Engine* (2024). Available at: <https://unity.com> (accessed 12 May 2024).
- Valve Corporation. *SteamVR Plugin Documentation* (2024). Available at: <https://store.steampowered.com/steamvr> (accessed 20 June 2024).