Вестник Череповецкого государственного университета, 2026, № 5 (134), с. 65–76.
Cherepovets State University Bulletin, 2026, no. 5 (134), pp. 65–76.

Научная статья
УДК 004.94
https://doi.org/10.23859/1994-0637-2026-5-134-6
https://elibrary.ru/whmldv

Комплекс виртуальных имитационных 3D-тренажеров для обучения специалистов технического обслуживания самолетов

Александр Валерьевич Серегин[1]✉, Татьяна Николаевна Иванилова[2]
[1,2]Сибирский государственный университет науки и технологий
им. академика М. Ф. Решетнева,
Красноярск, Россия
[1]✉sear_ring@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7047-2466
[2]ivanilovatn@sibsau.ru, https://orcid.org/0000-0002-1202-6609

Аннотация. В работе описан комплекс виртуальных 3D-тренажеров, имитирующих некоторые системы самолетов модели Sukhoi SuperJet-100, также представлено описание основных компонентов тренажеров: имитационный компонент, компонент практических заданий, справочно-теоретический компонент, компонент тестирования знаний. Тренажеры могут быть использованы для обучения студентов умениям и навыкам работы с системами самолета (как лабораторные работы), для повышения квалификации или переподготовки специалистов технического обслуживания самолетов и как справочное средство по обслуживанию самолета.

Ключевые слова: виртуальный тренажер, имитационная модель самолета, техническое обслуживание самолета

Для цитирования: Серегин А. В., Иванилова Т. Н. Комплекс виртуальных имитационных 3D-тренажеров для обучения специалистов технического обслуживания самолетов. *Вестник Череповецкого государственного университета*, 2026, № 5 (134), с. 65–76. https://doi.org/10.23859/1994-0637-2026-5-134-6; EDN: WHMLDV

A virtual 3D-simulator set for training aircraft maintenance specialists

Alexander V. Seregin[1]✉, Tatiana N. Ivanilova[2]
[1,2]Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Krasnoyarsk, Russia
[1]✉sear_ring@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7047-2466
[2]ivanilovatn@sibsau.ru, https://orcid.org/0000-0002-1202-6609

Abstract. The article presents a set of virtual 3D-simulators of several Sukhoi SuperJet-100 airplane systems. The authors give descriptions of the main components: simulation component, practical task component, theoretical reference component, theoretical testing component. The simulators can be used as a laboratory exercise to train students in the skills of interacting with airplane systems, for

© Серегин А. В., Иванилова Т. Н. 2026

advanced training and retraining aircraft maintenance specialists, and as a reference tool for aircraft maintenance.

Keywords: virtual simulator, aircraft simulation model, aircraft maintenance

For citation: Seregin A. V., Ivanilova T. N. A virtual 3D-simulator set for training aircraft maintenance specialists. *Cherepovets State University Bulletin*, 2026, no. 5 (134), pp. 65–76. (In Russ.) https://doi.org/10.23859/1994-0637-2026-5-134-6; EDN: WHMLDV

Введение

Процесс технического обслуживания (далее – ТО) самолетов гражданской авиации состоит из большого количества работ, образующих единый комплекс, который гарантирует своевременность полетов и их безопасность. Данный процесс требует квалифицированных сотрудников, способных ориентироваться во множестве компонентов, работ и процедур ТО, описанных в документации на самолет. Тем не менее, исчерпывающее знание документации не означает, что специалист готов приступить к работе с реальным летательным аппаратом, – ему все еще требуется получить опыт работы.

Подготовку по выполнению работ ТО можно выполнить на имитационных тренажерах, не прибегая к использованию реального самолета. Различают два типа имитационных тренажеров[1]: аппаратно-программные позволяют выполнять действия по обслуживанию на оборудовании, близком к реальному, но требуют специальных аппаратных решений; полностью программные (или виртуальные) позволяют имитировать рабочие ситуации на достаточно точных моделях систем самолетов, зачастую не требуя особых аппаратных средств (кроме обычного компьютера). После перевода процессов обслуживания самолета в цифровой вид можно получить средство, подходящее не только для обучения, но и для наглядной отработки персоналом алгоритмов работ ТО систем самолета. Процедурные тренажеры также могут быть использованы во время реального обслуживания для визуального уточнения действий техника в ситуациях, когда это затруднительно сделать через документацию.

В данной статье представлен разработанный комплекс имитационных тренажеров процедур ТО для самолетов Sukhoi SuperJet-100 (далее – SSJ-100) с дополнительными функциями справочника для обучения и упрощения работы технического персонала при выполнении работ ТО по документации.

Основная часть

Обзор разработок виртуальных тренажеров обслуживания самолетов

Виртуальные имитационные тренажеры позволяют частично или полностью провести обучение специалиста навыкам работы с реальной системой в ее программной

[1] Сениченков Ю. Б. Виртуальные лаборатории: использование, разработка, стандартизация. *Компьютерные инструменты в образовании*, 2022, № 3, с. 108–130. https://doi.org/10.32603/2071-2340-2022-3-108-132; EDN: KRGJYN

модели[1]. Применение компьютерной модели позволяет не занимать рабочее время реальной техники для обучения и избежать рисков, касающихся безопасности и качества ТО.

В зарубежной практике уже давно принято использовать виртуальные тренажеры для обучения технических специалистов обслуживания летательных аппаратов[2] (например, тренажеры FAROS для самолета Airbus A320[3]). Данные тренажеры состоят из следующих основных компонентов:

– электронная база документации по ТО и устранению неисправностей;

– модуль навигации по виртуальной модели самолета;

– модуль осмотра кабины и внешнего осмотра самолета;

– система электронных обучающих ресурсов;

– модуль, имитирующий некоторые системы самолета, для проведения ТО и устранения неисправностей.

В отечественной же практике применение виртуальных тренажеров для обучения техников не является стандартом на законодательном уровне. При этом долгое время большое внимание уделялось разработке и адаптации комплексов обслуживания зарубежной гражданской техники[4]. В зарубежной практике уже достаточно давно распространены технологии виртуального обучения специалистов с применением технологии дополненной реальности[5], а в последнее время ведутся активные отечественные разработки с применением XR-технологий[1].

[1] Мичкасов В. Е. Оценка соответствия процедур технического обслуживания воздушного судна на авиационных тренажерах. *Инновационные, информационные и коммуникационные технологии*, 2018, № 1, с. 104–109. EDN: VTHGCZ; Дудырев Ф. Ф., Максименкова О. В. Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты. *Вопросы образования*, 2020, № 3, с. 255–276. https://doi.org/10.17323/1814-9545-2020-3-255-276; EDN: HYRSLG

[2] Bernard F., et al. Digital simulation tools in aviation maintainability training. *Computer Applications in Engineering Education*, 2022, vol. 30, no. 2, pp. 384–395. https://doi.org/10.1002/cae.22461; EDN: NAPNVP; Alasim F., Almalki H. Virtual simulation-based training for aviation maintenance technicians: Recommendations of a panel of experts. *SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility*, 2021, vol. 3, no. 3, pp. 1285–1292. https://doi.org/10.4271/2021-01-0038; EDN: RXMYEB

[3] Кивокурцев А. Л. Особенности применения процедурных тренажеров “Faros A-320” при подготовке обучающихся в вузе. *Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации*, 2021, с. 144–153. EDN: BQHYIX

[4] Чокой В. З. Электронный тренажер Speller-TSM по локализации отказов оборудования самолетов Airbus a320. *Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык*, 2016, № 1, с. 157–165. EDN: VOIJPH

[5] Кадиров М. Авиационные тренажеры или как vr-технологии используются в авиации для подготовки наземного персонала. *Решение социальных проблем в управлении и экономике*, 2025, т. 4, № 2, с. 165–174; Wu W. C., Vu V. H. Application of virtual reality method in Aircraft Maintenance Service – Taking Dornier 228 as an example. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, no. 14, p. 7283. https://doi.org/10.3390/app12147283; EDN: BNFMLQ; Gómez-Cambronero Á., Miralles I., Tonda A., Remolar I. Immersive virtual-reality system for aircraft maintenance education:

Еще одним качеством виртуальных тренажерных комплексов является возможность их применения как справочных программ во время работы технического персонала. Один из основных недостатков современного метода составления технической документации на самолет – описание большей части процессов на естественном языке, который может упускать некоторые детали реальной работы по ТО. Такие неточности или недопонимания со стороны технического персонала могут привести к задержкам в работах ТО самолета. Применяя реализации справочного программного обеспечения, использующие визуализацию из тренажеров в своей работе, можно в наглядной форме продемонстрировать трудные шаги работ по обслуживанию в ходе реального процесса ТО.

Характеристика разработанных виртуальных тренажеров

В статье представлены имитационные тренажеры процедур ТО самолета SSJ-100. Они реализованы как виртуальные трехмерные компьютерные программные комплексы, предназначенные для обучения и демонстрации специалистам, обслуживающим SSJ-100, различных работ по ТО и алгоритмов их выполнения. Программы позволяют в интерактивной форме реализовать алгоритмы работ ТО, а также содержат описания систем и принципы их работы, оформленные в виде справочной документации.

Имитационные тренажеры могут быть использованы в учебном процессе студентов, обучающихся в области ТО самолетов, в специализированных центрах для подготовки и переподготовки техников по обслуживанию самолета SSJ-100. Также они могут применяться в качестве справочного средства для просмотра в виртуальном формате алгоритмов действий техников во время выполнения реальных работ по ТО самолета.

В статье представлены пять разработанных виртуальных тренажеров, реализующих следующие виды работ:

– заправка, слив и перекачка топлива в баки самолета, выполняемые на пульте управления заправкой;

– проверка статуса систем, поиск отказов и выполнение интерактивных тестов через дисплей бортовой системы ТО;

– проверка работоспособности системы электроснабжения;

– проверка работоспособности элементов управления и индикации системы автоматического управления полетом;

– обход, визуальный осмотр и проверка работоспособности датчиков пилотажно-навигационного оборудования.

Все тренажеры создавались как трехмерные лабораторные работы в рамках проектов программы «Приоритет 2030», при участии специалистов-преподавателей

A case study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2023, vol. 13, no. 8, p. 5043. https://doi.org/10.3390/app13085043; EDN: MNNSEU

[1] Попов В. М., Снимщиков С. В., Турчановский В. С., Колмаков А. Ю. Разработка и применение виртуального тренажера вертолета МИ-8Т на основе технологии VR. *Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык*, 2025, № 2, с. 26–42. https://doi.org/10.51955/2312-1327_2025_2_26; EDN: AWXSUD

кафедры технической эксплуатации авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов Института гражданской авиации и таможенного дела Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева (далее – СибГУ). Тренажеры реализованы как web-приложения и размещены на серверах дистанционного обучения СибГУ им. академика М. Ф. Решетнева для обеспечения к ним доступа студентов из электронных курсов без необходимости скачивать и устанавливать программу на компьютер.

В состав тренажеров входят следующие компоненты:

– практические задания, которые обучают пользователей выполнять базовые операции и алгоритмы работ с рассматриваемыми системами самолета;

– теоретический справочный материал для самостоятельного изучения состава, структуры и принципов работы рассматриваемых систем самолета;

– тестовые задания для проверки теоретических знаний;

– протокол выполнения работ для проверки выполнения заданий преподавателем, который можно сохранить на компьютер и загрузить в программу как файл сохранения прогресса.

Представление элементов программной реализации

Для реализации тренажеров была выбрана среда разработки Unity. Данный программный комплекс активно применяется для разработки интерактивных виртуальных сред (в том числе имитационных тренажеров[1]). Unity использует язык C# для описания алгоритмов и поддерживает кроссплатформенную разработку (в том числе и web-разработку).

Основное взаимодействие пользователя с виртуальной средой происходит через компонент практических работ. Типовая структура компонента практических работ виртуальных тренажеров изображена на рис. 1 в виде диаграммы классов UML – виртуальные модели систем самолета представлены как абстрактные блоки PlaneSystemInteractiveModel и PlaneSystemElement, реализация которых зависит от конкретной системы самолета. Некоторые переменные состояния элементов модели представлены в виде класса ObservableValue, который скрывает переменную и определяет метод записи ее значения. В ходе работы модели, когда переменная изменяет свое значение, новое значение отправляется в элементы заданий, которые сравнивают его с требуемым значением. Таким образом, переменные ObservableValue становятся наблюдаемыми. Для сопоставления передаваемых значений с параметром модели значения передаются не напрямую, а через класс-посредник – EventManager, который содержит таблицу, где сопоставляются строковые идентификаторы переменных с множеством событий обработки изменений данной переменной. То есть элементы заданий могут подписаться на изменение состояний модели через единый

[1] Кулаков П. А., Еремин А. С. Особенности разработки компьютерных обучающих тренажеров в Unity 3D. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2024, № 1, с. 177–181. https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-1-177-178; EDN: ZYZMAG; Mou J. Construction of a virtual simulation teaching system for aeroengine maintenance based on Unity 3D. *Proceedings of the 2023 International Conference on Information Education and Artificial Intelligence*, 2023, pp. 565–570. https://doi.org/10.1145/3660043.3660144

интерфейс, а сама модель может отправлять идентифицируемые данные об изменениях через тот же интерфейс.

Элементы заданий реализованы через классы TaskControllersManager, TasksContoller, Task и TaskGoal. TaskGoal – это объекты, которые принимают значение переменной из модели системы самолета, то есть являются их наблюдателями и сравнивают принятые значения с требуемыми. Объекты Task объединяют несколько TaskGoal для разделения всего алгоритма работы на блоки шагов алгоритма. Объекты TaskController содержат все блоки конкретного алгоритма. После выполнения всех TaskGoal в определенном блоке Task, TaskController позволяет пользователю перейти к следующему блоку шагов алгоритма. Объект TaskControllersManager используется для управления всеми TasksController для их инициализации, запуска и завершения работы.

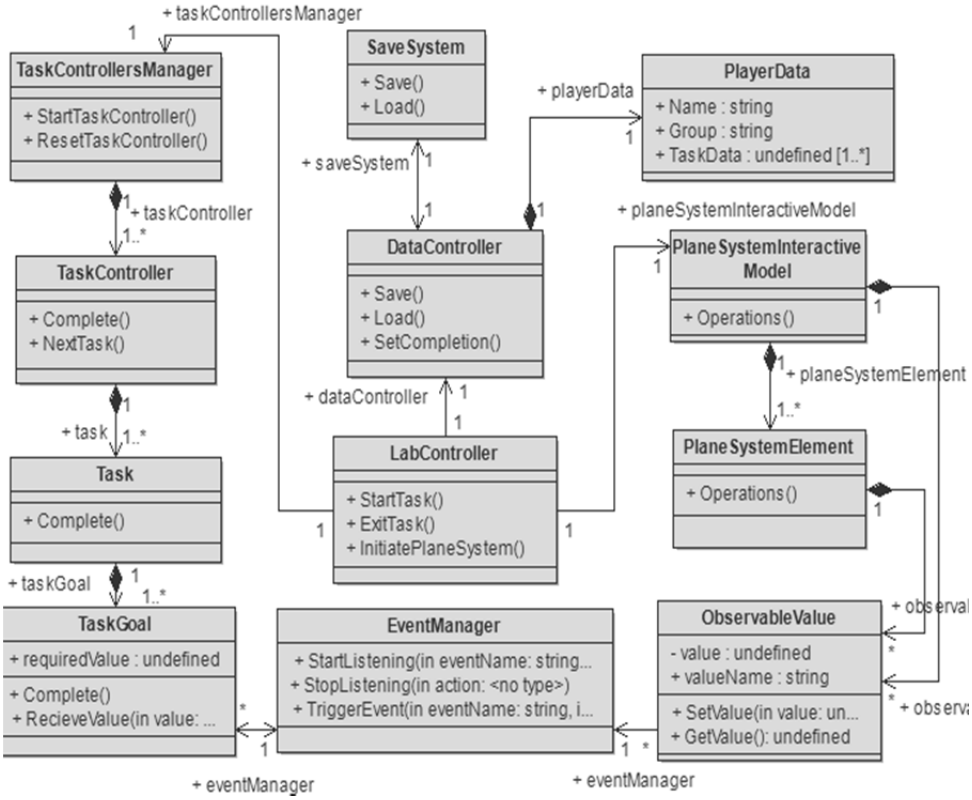


Рис. 1. Структура практических работ в тренажерах

Общее управление всеми системами осуществляется через оставшиеся на диаграмме классы. LabController переводит состояние моделей систем самолета в начальное состояние, запускает и завершает выбранные пользователем задания. DataController записывает данные о завершении заданий в PlayerData. Объект SaveSystem используется для сохранения и загрузки данных о выполнении заданий

из внешнего файла. Эти данные представлены протоколом выполнения заданий в программе, который может быть передан преподавателю для проверки выполнения работы на тренажере. Также файл протокола может быть использован как файл сохранения, чтобы пользователь мог продолжить выполнение заданий в тренажерах, не теряя прогресс из предыдущих заданий.

Описание виртуальных тренажеров

На рис. 2 представлен снимок рабочего экрана одного из тренажеров в практических заданиях. Типовой экран тренажера при выполнении практических заданий состоит из рабочей области с трехмерным представлением элементов системы самолета, с которыми взаимодействует пользователь, панели с перечнем шагов алгоритма для практического задания, кнопки меню и панели перехода между видами рабочей области. В зависимости от рассматриваемых систем и работ на экране могут отображаться дополнительные элементы интерфейса.



Рис. 2. Пример рабочего окна тренажера системы автоматического управления полетом

Далее представлены краткие описания функций и практических компонентов разработанных тренажеров.

Тренажер пульта топливной заправки содержит следующие компоненты:

– имитацию системы заправки, которая включает функциональные элементы топливных баков, клапанов подачи топлива, методы управления автоматической заправкой;

– интерактивные элементы трехмерной модели пульта заправки;

– задания по автоматической и ручной заправке топлива, переливания и слива.

Тренажер бортовой системы ТО содержит следующие компоненты:

– имитацию дисплея бортовой системы технического обслуживания, навигацию между его меню и их содержанием;

– интерактивные элементы трехмерной модели и графического интерфейса дисплея;

– задания по поиску перечня отказов, навигации и поиска меню, проведения интерактивных тестов других систем.

Тренажер системы электроснабжения содержит следующие компоненты:

– виртуальные мнемокадры состояния системы электроснабжения и двигателей;

– объекты, имитирующие работу компонентов системы электроснабжения;

– интерактивные элементы трехмерных моделей панелей управления электросистемы, вспомогательного генератора, двигателей, панели доступа для внешнего электроисточника;

– задания по проверке работоспособности системы.

Тренажер системы автоматического управления полетом содержит следующие компоненты:

– виртуальные дисплеи отображения состояния системы автоматического управления полетом и сообщений отказов;

– объекты, имитирующие работу некоторых компонентов системы автоматического управления полетом, которые необходимы для работ технического обслуживания;

– интерактивные трехмерные элементы панели управления системой автоматического управления полетом, ручки управления самолетом, рычаги управления двигателем;

– задания по проверке работоспособности системы.

Тренажер системы пилотажно-навигационного оборудования содержит следующие компоненты:

– модели наружных датчиков пилотажно-навигационного оборудования измерения параметров полета, обеспечения посадки и руления, автономных пилотажно-навигационных систем;

– частичную реализацию главного пилотажного дисплея с отображением данных параметров полета, рассчитываемых по данным с наружных датчиков;

– задания на обход и проверку наружных датчиков и проверку показаний состояния полета на дисплее.

В программах-тренажерах также реализована справочная документация по системам самолета. Пользователю она представлена в виде иерархического списка страниц со справочными данными. Справочная документация позволяет использовать тренажеры на лекционных занятиях или как средство самостоятельного изучения теоретических аспектов работы систем самолета. Пример интерфейса справочника представлен на рис. 3.

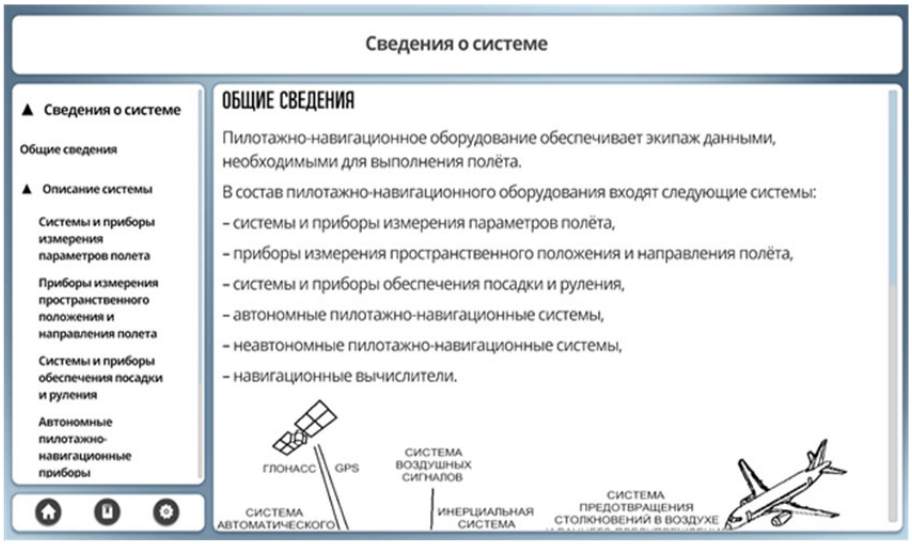


Рис. 3. Пример справочника систем самолета

Завершающим заданием, реализованным в программах, являются тестовые упражнения по проверке теоретических знаний, которые состоят из нескольких вопросов типа единственный и множественный ответ, случайно выбранных из общего банка вопросов в программе.

Выводы

В статье представлен комплекс из пяти виртуальных имитационных тренажеров систем гражданского самолета Sukhoi SuperJet-100, а также основные компоненты тренажеров для выполнения алгоритмов работ и самостоятельного изучения работы систем. Помимо этого, описана структура компонента практических заданий, его взаимодействия с имитационными моделями систем самолета по принципу наблюдателя. Тренажеры были разработаны в формате лабораторных работ для обучения студентов кафедры технической эксплуатации авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов Института гражданской авиации и таможенного дела Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. Составленные лабораторные работы встроены в учебный процесс и используются для обучения студентов направлений 25.00.00 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной и ракетно-космической техники» в дисциплинах «Оборудование и системы отечественных ближнемагистральных самолетов» и «Горюче-смазочные материалы».

Список источников / References

Дудырев Ф. Ф., Максименкова О. В. Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты. *Вопросы образования*, 2020, № 3, с. 255–276. https://doi.org/10.17323/1814-9545-2020-3-255-276; EDN: HYRSLG

Dudyrev F. F., Maksimenkova O. V. Training simulators in vocational education: Pedagogical and technological aspects. *Educational Studies*, 2020, no. 3, pp. 255–276. (In Russ.) https://doi.org/10.17323/1814-9545-2020-3-255-276; EDN: HYRSLG

Кадиров М. Авиационные тренажеры или как vr-технологии используются в авиации для подготовки наземного персонала. *Решение социальных проблем в управлении и экономике*, 2025, т. 4, № 2, с. 165–174.

Kadirov M. Aviation simulators or how VR technologies are used in aviation for training ground personnel. *Solutions of social problems in management and economics*, 2025, vol. 4, no. 2, pp. 165–174. (In Russ.)

Кивокурцев А. Л. Особенности применения процедурных тренажеров “Faros A-320” при подготовке обучающихся в вузе. *Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации*, 2021, с. 144–153. EDN: BQHYIX

Kivokurtsev A. L. Features of application of “Faros A-320” procedural simulators in training students at university. *Current problems and prospects for the development of civil aviation*, 2021, pp. 144–153. (In Russ.) EDN: BQHYIX

Кулаков П. А., Еремин А. С. Особенности разработки компьютерных обучающих тренажеров в Unity 3D. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2024, № 1, с. 177–181. https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-1-177-178; EDN: ZYZMAG

Kulakov P. A., Eremin A. S. Peculiarities of development of computer training simulators in Unity 3D. *Proceedings of Tula State University. Technical Sciences*, 2024, no. 1, pp. 177–181. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-1-177-178; EDN: ZYZMAG

Мичкасов В. Е. Оценка соответствия процедур технического обслуживания воздушного судна на авиационных тренажерах. *Инновационные, информационные и коммуникационные технологии*, 2018, № 1, с. 104–109. EDN: VTHGCZ

Michkasov V. E. Assessment of conformity of aircraft maintenance procedures on aviation simulators. *Innovative, information and communication technologies*, 2018, no. 1, pp. 104–109. (In Russ.) EDN: VTHGCZ

Попов В. М., Снимщиков С. В., Турчановский В. С., Колмаков А. Ю. Разработка и применение виртуального тренажера вертолета МИ-8Т на основе технологии VR. *Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык*, 2025, № 2, с. 26–42. https://doi.org/10.51955/2312-1327_2025_2_26; EDN: AWXSUD

Popov V. M., Snimshchikov S. V., Turchanovskii V. S., Kolmakov A. Iu. Development and application of a virtual simulator for the MI-8T helicopter based on VR technology. *Crede Experto: Transport, Society, Education, Language*, 2025, no. 2, pp. 26–42. (In Russ.) https://doi.org/10.51955/2312-1327_2025_2_26; EDN: AWXSUD

Сениченков Ю. Б. Виртуальные лаборатории: использование, разработка, стандартизация. *Компьютерные инструменты в образовании*, 2022, № 3, с. 108–130. https://doi.org/10.32603/2071-2340-2022-3-108-132; EDN: KRGJYN

Cenichenkov Iu. B. Virtual laboratories: Usage, Development, Standardization. *Computer tools in education*, 2022, no. 3, pp. 108–130. (In Russ.) https://doi.org/10.32603/2071-2340-2022-3-108-132; EDN: KRGJYN

Чокой В. З. Электронный тренажер Speller-TSM по локализации отказов оборудования самолетов Airbus a320. *Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык,* 2016, № 1, с. 157–165. EDN: VOIJPH

Chokoi V. Z. Speller-TSM electronic simulator for troubleshooting A320 equipment. *Crede Experto: Transport, Society, Education, Language*, 2016, no. 1, pp. 157–165. (In Russ.) EDN: VOIJPH

Alasim F., Almalki H. Virtual simulation-based training for aviation maintenance technicians: Recommendations of a panel of experts. *SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility*, 2021, vol. 3, no. 3, pp. 1285–1292. https://doi.org/10.4271/2021-01-0038; EDN: RXMYEB

Bernard F., et al. Digital simulation tools in aviation maintainability training. *Computer Applications in Engineering Education*, 2022, vol. 30, no. 2, pp. 384–395. https://doi.org/10.1002/cae.22461; EDN: NAPNVP

Gómez-Cambronero Á., Miralles I., Tonda A., Remolar I. Immersive virtual-reality system for aircraft maintenance education: A case study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2023, vol. 13, no. 8, p. 5043. https://doi.org/10.3390/app13085043; EDN: MNNSEU

Mou J. Construction of a virtual simulation teaching system for aeroengine maintenance based on Unity 3D. *Proceedings of the 2023 International Conference on Information Education and Artificial Intelligence*, 2023, pp. 565–570. https://doi.org/10.1145/3660043.3660144

Wu W. C., Vu V. H. Application of virtual reality method in Aircraft Maintenance Service – Taking Dornier 228 as an example. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, no. 14, p. 7283. https://doi.org/10.3390/app12147283; EDN: BNFMLQ

Сведения об авторах

Александр Валерьевич Серегин – аспирант, https://orcid.org/0000-0001-7047-2466, sear_ring@mail.ru, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева (д. 31, пр-т. им. газеты «Красноярский рабочий», 660037 Красноярск, Россия); **Alexander V. Seregin** – Postgraduate Student, https://orcid.org/0000-0001-7047-2466, sear_ring@mail.ru, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (31, pr. im. gazety “Krasnoyarskiy rabochiy”, 660037 Krasnoyarsk, Russia).

Татьяна Николаевна Иванилова – кандидат технических наук, доцент, https://orcid.org/0000-0002-1202-6609, ivanilovatn@sibsau.ru, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева (д. 31, пр-т. им. газеты «Красноярский рабочий», 660037 Красноярск, Россия); **Tatiana N. Ivanilova** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, https://orcid.org/0000-0002-1202-6609, ivanilovatn@sibsau.ru, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (31, pr. im. gazety “Krasnoyarskiy rabochiy”, 660037 Krasnoyarsk, Russia).

Заявленный вклад авторов: Серегин А. В. – разработка программ, написание текста статьи; Иванилова Т. Н. – научное руководство проектом, предложение правок к тексту статьи. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: Seregin A. V. – software development, writing the text of the article, Ivanilova T. N. – scientific supervision of the project, suggesting edits to the text. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 06.04.2026; одобрена после рецензирования 25.05.2026; принята к публикации 18.06.2026.

The article was submitted 06.04.2026; Approved after reviewing 25.05.2026; Accepted for publication 18.06.2026.