

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных
систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/MEBG1583>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

МРНТИ 28.17.33

<https://doi.org/10.48081/HACK9127>

**К. Т. Кошеков¹, Ю. Н. Тановицкий², *А. К. Кошеков³,
Я. М. Курбанов⁴, Р. К. Тогамбаев⁵**

^{1, 2, 3, 4}Академия гражданской авиации, Республика Казахстан, г. Алматы

⁵Институт транспорта и связи, Латвия, г. Рига

*e-mail: a.k.koshekov@gmail.com

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9586-2310>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5217-1245>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7373-1494>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8883-600X>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0045-5764>

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБУЧАЮЩИХ ТРЕНАЖЕРОВ РАЗБОРКИ И СБОРКИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D VR

В данной статье представлен процесс программирования обучающих тренажеров в трёхмерной виртуальной среде с использованием технологий виртуальной реальности. В условиях стремительного развития технологий и растущих требований к качеству и безопасности авиационного транспорта, использование инновационных методов для обслуживания и ремонта авиационной техники становится неотъемлемой частью эффективного управления современным авиапарком.

Разработанные тренажеры могут быть использованы в качестве реально-виртуальных лабораторных стендов в процессе обучения студентов и переподготовки специалистов на предприятиях. Применение подобных технологий позволяет расширить объем лабораторной базы в учебных заведениях и облегчить процесс передачи знаний от старшего поколения к младшему. В статье в качестве объекта исследования выбран

процесс разборки и сборки винта клапана вертолета Ми-8, применяемого специальными службами Республики Казахстан.

В статье описаны основные проблемы, с которыми сталкивается инженер-разработчик при формировании сценария работы тренажера, пути решения данных проблем, а также язык описания и основные сущности. Результатом проведенного исследования является список рекомендаций для решения проблем, описанных выше. Результаты были апробированы на авиаремонтном предприятии Республики Казахстан.

Ключевые слова: трехмерная среда, виртуальная реальность, учебный тренажер, автоматизация процессов, сценарии обучения.

Введение

Технологии виртуальной реальности позволяют создавать реалистичные модели машин и агрегатов [1], что открывает широкие возможности для обучения в области строительства, машиностроения, авиастроения, наукоемких производств, на транспорте и во многих других сферах. Важным классом задач, где применение 3D VR может дать значительный экономический эффект являются задачи на сборку и разборку агрегатов [2]. В отличие от персонального компьютера, обладающего мониторами и манипулятором мышь современные 3D VR технологии предлагают очки с панорамным обзором [3], а также на много более продвинутую систему отслеживания положения головы и глаз, а также кистей рук [4]. Очки-мониторы дают возможность обучаемому видеть устройство и его составные части, наглядно передают представление о принципе работы, работать с устройствами на стадии проектирования, а также выполнять различные упражнения, связанные с его ремонтом и обслуживанием [5]. Несмотря на прогресс, связанный с развитием компьютерных чипов и ПО, 3D VR тренажеры остаются дорогими, причем одним из самых дорогих компонентом в процессе их создания остается программирование [6]. В данной статье рассматриваются подходы к сокращению затрат проектированию таких тренажеров.

Материалы и методы

Программирование тренажеров по разборке и сборке связано с преодолением следующих основных проблем:

1 Создание методического и технического сценариев. Методический сценарий создается в терминах предметной области. Методический сценарий должен отвечать на вопросы: кого и чему обучает данное (3D VR) упражнение; что является результатом обучения; какими методами, способами, упражнениями достигается результат обучения; как объективно можно измерить этот результат. Технический сценарий описывает сцену с перечнем всех элементов, а также конкретную последовательность взаимодействия всех 3D элементов объекта с обучаемым уже в терминах создаваемого программного обеспечения (далее ПО) [7].

2 Создание 3D моделей агрегатов. Для создания тренажеров обучения процессам разборки и сборки наиболее удобными являются CAD модели, создаваемые в таких пакетах как Компас 3Д, Autocad, SolidWorks и т.п. – поскольку наряду со стандартными средствами создания, они предлагают развитые инструменты поддержки сборок [8]. Иногда 3D модели доступны непосредственно из технической документации агрегата, для которого разрабатывается тренажер, иногда они могут быть получены путем 3D сканирования агрегатов и их деталей.

3 Моделирование специфической физики твердых тел. В реальном мире взаимодействие контактирующих тел приводит к микродеформациям их молекулярной структуры, в результате которой возникают силы трения и отталкивания. Упрощенные модели механически контактирующих тел рассматриваются в теоретической механике. Если, например рассмотреть винтовое соединение двух тел то придется столкнуться с необходимостью обсчитывать силы, возникающие в результате взаимодействия сложных резьбовых поверхности несколько десятков раз в секунду чтобы обеспечить режим «реального времени» [9]. Не утверждая, что это невозможно в принципе, на современном этапе развития вычислительной техники, это вряд ли целесообразно, поскольку потребует огромных вычислительных затрат и множества дополнительной информации, не актуальной в контексте применения тренажеров.

4 Программирование сценария обучения. На этом этапе происходит связывание 3д объектов и необходимого алгоритма действий обучаемого над ними [10]. Заметим, что один и тот же агрегат, может быть, как правильно, так и неправильно собран множеством способов, например

одинаковые винты могут быть использованы с разными подходящими резьбовыми отверстиями, и последовательность закручивания винтов может быть различной. В связи с этим так же актуальной является задача оценивания действий обучаемого.

5 Ускорение и упрощение процессов создания тренажеров, что в конечном счете приведет к снижению стоимости и массовому внедрению, заключается в создании среды дающей возможности разработчику концентрироваться только на агрегате и процессе обучения избегая, например, низкоуровневого программирования, или внесения иных изменений в программное ядро тренажера.

Результаты и обсуждение

В качестве путей решения поставленных проблемных вопросов, авторы предлагают следующие практические результаты:

1 Предлагается процесс сборки разборки рассматривать как последовательность бинарных операций {триггер, анимация}. Триггер – программный компонент, срабатывающий после выполнения обучаемым требуемого действия, например, совмещение им нужных деталей друг с другом. Сработавший триггер при этом активирует анимацию, отображающую движение (или новое состояние объекта) проигрываемую плеером. В конце или начале анимации могут быть выполнены дополнительные действия, например, отделение инструмента от детали, пример неправильной сборки приведен на рисунке 1.

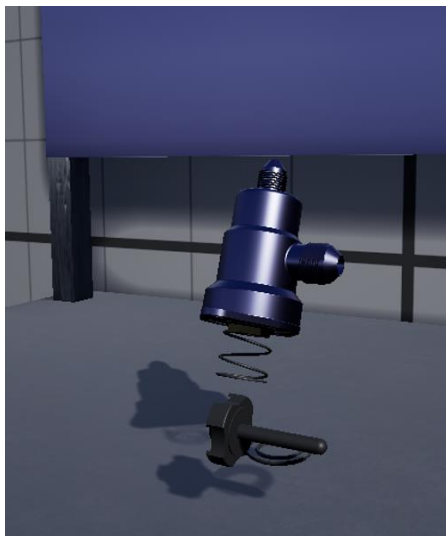


Рисунок 1 – При неправильной ориентации и незафиксированных деталях, они могут «высыпаться» из слотов под действием силы тяжести

По сути, при этом выполняется переход от аналогового моделирования (где динамика в основном описывается системами дифференциальных уравнений) к цифровому – говоря точнее базирующемуся на очереди событий моделированию. Такие подходы, например, распространены в языках моделирования Verilog, VHDL и т.п. В отличие от прямого моделирования физики экономия вычислительных ресурсов достигает 2-3 и более порядков.

В этом случае, задача обучаемого, технически, сводится к необходимости активировать требуемую последовательность триггеров. Соответственно, задача обучающего сформировать такую обучающую последовательность. А задача программиста методики обучения разместить триггеры на 3D моделях, установить начальные, конечные, промежуточные, точки анимации, задать последовательность сборки или разборки, добавить вспомогательные аудиовизуальные обучающие или справочные материалы в нужные фазы упражнения, а также реализовать алгоритм оценивания.

2 Программирование методики обучения может показаться, если не сложным, то трудоемким процессом. Поэтому здесь также удобно ввести

определенные универсальные языковые конструкции для описания путей разборки и сборки объектов. Ниже будут рассмотрены основные сущности и методы такого языка Тренажеров Разборки Сборки, далее сокращенно ТРС.

3 Снизить стоимость проектирования тренажера можно за счет создания универсального маршрута формирования тренажера и на его основе Wizard-а, который мог бы предложить ответить на конкретную последовательность вопросов и сформировать шаблон программы, а также другого специализированного ПО.

4 За счет применения ИИ, на определенных этапах, создания тренажеров. Применение ИИ возможно и полезно, однако, применяя ИИ также важно четко понимать в какой общей структуре происходят процессы обучения, понимать основные этапы и сущности, понимать, что конкретно требуется от ИИ и как оценивать качество ИИ материалов. Сложно или даже невозможно произвести валидацию, а соответственно и сертифицировать знания обучаемого, если такой процесс вдруг окажется не до конца прозрачен.

Как сказано выше для упрощения и удешевления тренажеров целесообразно создать специализированные языковые конструкции для управления обучающим материалом. Здесь мы ограничимся рассуждением на тему каким минимальным множеством конструкций должен обладать такой язык

1 Понятия Class и Object. Class это тип детали агрегата, а Object – конкретный экземпляр объекта, например тип (Class)- «Винт М5» и 4 экземпляра этого винта (Object-ы), которые используются для закрепления крышки агрегата. Любая деталь, отображаемая в 3D VR, существует, с одной стороны, в среде графического движка, например, Unreal Engine (далее сокращенно UE) в форме StaticMesh или SkeletalMesh объекта со своими материалами и текстурами. Эта часть детали должна быть скомпилирована в среде UE, а, с другой стороны, на языке описания ТРС ей соответствуют записи, которые управляют логикой разборки и сборки. Связь между этими сущностями посредством интерфейсов интерпретатора языка ТРС (рис 1.). Такой подход позволят отделить графические сущности от базовой логики тренажера и сделать ядро ПО стабильным, т.е. без

необходимости внесения каких-либо изменений в него при создании новых тренажеров.

2 Слот, Терминал и Сокет. Слот - место в главной детали, такой как основание, шасси и т.п., к которому в процессе сборки прикрепляется другая деталь или детали, именуемые терминалами. Слот хранит список всех типов своих терминалов и имена сокетов на них, но не наоборот. Следует отметить, что деление какую деталь считать слотом, а какую терминалом должен выбирать методист исходя из своих соображений. В общем случае Терминал может также быть составным, т.е. сам содержать слоты, поэтому перед соединением деталей следует проверять готовность терминала к текущему этапу сборки, пример проиллюстрирован на рисунке 2.

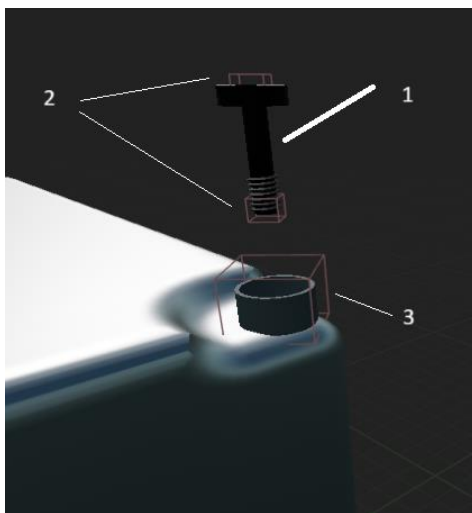


Рисунок – 2

Пример, иллюстрирующий понятия: слот, терминал, сокет. На рисунке обозначено 1 винт, являющийся терминалом; 2 сокет, нижний активует соединение винта для крепления крышки, верхний сокет служит для применения инструмента (отвертки); 3 – слот, который принимает как колпачек, так и сам винт.

3 ОТ – ориентир-точка – это пара {Кватернион, 3D вектор}. Кватернион – задает вращение (ориентацию) в 3D пространстве, а вектор задает расположение (точку) в этом пространстве. ОТ может быть как абсолютной, т.е. с отсчетом в системе координат виртуального мира, так и относительной – в системе координат детали. При помощи ОТ задается расположение триггеров, начальные, конечные и промежуточные точки анимации, положения деталей друг относительно друга и т.д. ОТ удобно располагать по сцене и внутри деталей агрегатов как скрытые, не визуальные объекты непосредственно в среде проектирования 3D CAD.

4. Триггер – программный код, активирующий событие, являющееся реакцией на действие обучаемого. Он является центральным элементом предлагаемой модели тренажеров. Любой триггер содержит ссылку на слот, тип взаимодействующей со слотом детали и эмитирует события Вкл или Выкл, обрабатываемые интерпретатором ТРС. Можно выделить шесть типов триггеров в зависимости от условий его срабатывания. Триггеры первого типа - самые простые срабатывают при совмещении деталей. Такими триггерами удобно моделировать, например, нажатие на кнопки. Триггер всегда оперирует с ОТ объектами. Пусть представлен как $OT = [q, x]$, где q кватернион, а x – 3d вектор. Пусть кватернион представлен в виде $q = [v, w]$, где v трехмерный массив и w - скаляр. Любой графический движок легко конвертирует локальные ОТ из локальных координат в глобальные - ОТ относительно сцены или 3d мира. Пусть имеются две пары ОТ1 и ОТ2 в глобальной системе координат и кватернионы q этих пар нормированные. Тогда условие проверки срабатывания триггера первого типа будет выглядеть:

$$\|OT1.x - OT2.x\| < d \quad (1)$$

где d – допустимая величина разности расстояний деталей.

Триггеры второго типа помимо расстояния требуют правильной ориентации одной детали относительно другой. Т.е. когда выполнено условие (1), а также:

$$\text{Norm}(OT1.v) * \text{Norm}(OT2.v) > \cos(\alpha), \quad (2)$$

Здесь Norm – функция нормировки, а alpha – ограничение на разницу углов первой и второй деталей в пространстве, дополнительно следует проверить совпадение знаков компонентов w для OT1 и OT2. Они должны совпасть иначе к углу расхождения следует прибавить 180 градусов. Таким образом достаточно найти скалярное произведение векторов для контроля совпадения положения деталей, где требуется только совмещение осей. Если же требуется совпадение не только осей установки деталей, но и угла их поворота в плоскости перпендикулярной оси установки, то такое ограничение дополнительно к условиям (1) и (2) удобно проверять по следующей приближенной формуле:

$$OT1.w - OT2.w < \sin(\beta/2), \quad (3)$$

где β задает ограничение на такой угол. Триггеры третьего типа срабатывают при наличии линейной или угловой скорости, например, чтобы активировать закручивание винтового соединения, можно настроить условие триггера на вращение по часовой стрелке (относительно слота), а откручивание – против. Триггеры четвертого типа реагируют на ускорения, при помощи таких триггеров можно, например, «высыпать» не закрепленные детали, если они неправильно ориентированы в поле тяжести или ускорены иным способом. Триггеры пятого типа представляют собою таймеры, связанные с частями агрегатов. Триггеры шестого типа – комбинированные, представляющие собою несколько триггеров 1-5 типов, объединенных логическим условием.

5. VConnection – бинарное соединение (или разъединение). Служит для описания элементарной сборочно-разборочной операции. VConnection содержит: триггер; приоритет соединения, посредством которого интерпретатор ТРС определяет следует его активировать в данный момент или нет; ссылку на данные для анимации этого соединения; оценку действия обучаемого в форме правильно или неправильно; actions – последовательность действий таких как, например, отделение гаечного ключа от агрегата после проигрывания анимации показавшей затягивания винта. Бинарное соединение, в общем случае, отличается от сборочного соединения. Потому что сборочное соединение может состоять из нескольких бинарных соединений. Например, сборочное соединение

«установить винт Б в деталь А» может быть разложено на следующую последовательность: закрепить деталь А в тисках, снять пылезащитный колпачек, нанести смазку, установить винт Б, присоединить к головке винта Б ключ С, затянуть винт с необходимым усилием, отсоединить ключ С, освободить деталь А из тисков... Таким образом основной задачей интерпретатора языка TPC является обработка сущностей VConnection.

6. Anim – содержит требования к проигрыванию анимации включая: время анимации, набор ОТ для анимации, способ анимации, например, продольное движение с вращением и т.п.

7. Content – часть вспомогательного материала, такая как, подсказка, справочное руководство, предупреждение в том числе в аудиовизуальной форме, меню и т.п.

Информация о финансировании

Исследование проведено в рамках проекта Комитета Науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан AP19680080 «Разработка тренажерного комплекса с системой инженерной поддержки технической эксплуатации военной и специальной авиационной транспортной техники»

Выводы

Последовательность действий программиста тренажера с использованием технологии TPC может быть следующей. На входе он получает сценарий и совокупность 3D объектов. На первом этапе ему следует рассмотреть порядок разборки или сборки и разложить весь процесс до элементарных бинарных соединений (VConnection), а также сделать выбор относительно типов используемых триггеров, создав, таким образом, описание упражнения на языке TPC. На втором этапе – расставить ОТ на сцене и внутри 3D объектов. На третьем этапе откомпилировать 3D объекты в среде UE, произвести отладку. При необходимости доработать тренажер, повторив действия на этапах 1-3. На рисунке 3 представлена структура, разработанного тренажера.

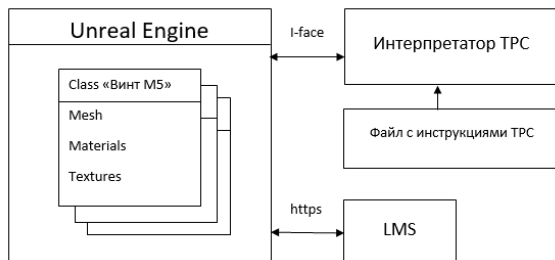


Рисунок 3. Структура тренажера разборки и сборки. На рисунке: Unreal Engine – движок фирмы Epic Games; LMS (Learning Management System)– система управления обучением (moodle)1; I-face – интерфейс ТРС/UE; https протокол к удаленному серверу, регистрирующему результаты обучения

Авторы верят в то, что технологии 3D VR в задачах разборки и сборки дойдут до массового потребителя в ближайшие годы, а для некоторых типов агрегатов 3D VR модели станут промышленным стандартом. Но это произойдет после снижения их стоимости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Barricelli, B. R., Casiraghi, E., Fogli, D.** A survey on digital twin: Definitions, characteristics, applications, and design implications. IEEE Access, 2019, 7, art. no. 2953499. – <https://10.1109/ACCESS.2019.2953499>

2 **Fuller, A., Fan, Z., Day, C., Barlow, C.** Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. IEEE Access, 2020, 8, art. no. 9103025. – <https://10.1109/ACCESS.2020.2998358>

3 **Singh, M., Srivastava, R., Fuenmayor, E., Kuts, V., Qiao, Y., Murray, N., Devine, D.** Applications of Digital Twin across Industries: A Review. Applied Sciences (Switzerland), 2022, 12 (11), art. no. 5727. <https://10.3390/app12115727>

4 **Chen, Y.** Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers. Engineering, 2017, 3 (5), P. 588-595. <https://10.1016/j.eng.2017.04.009>

5 **Min, Q., Lu, Y., Liu, Z., Su, C., Wang, B.** Machine Learning based Digital Twin Framework for Production Optimization in Petrochemical Industry. International Journal of Information Management, 2019, 49, P. 502-519. <https://10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.020>

6 **Zheng, Y., Yang, S., Cheng, H.** An application framework of digital twin and its case study. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2019, 10 (3), P. 1141–1153. <https://10.1007/s12652-018-0911-3>

7 **Chen, Z., Zhang, H.** Research on visualization of environmental landscape design based on digital entertainment platform and immersive VR experience, 2025, 52, 100820. <https://10.1016/j.entcom.2024.100820>

8 **Lindquist, M., Lange, E., Kang, J.** From 3D landscape visualization to environmental simulation: The contribution of sound to the perception of virtual environments. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 148, P. 216-231. <https://10.1016/j.landurbplan.2015.12.017>

9 **Portman, M.E., Natapov, A., Fisher-Gewirtzman, D.** To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2015, 54. P. 376–384. – <https://10.1016/j.compenvurbsys.2015.05.001>

10 **Shan, P., Sun, W.** Research on landscape design system based on 3D virtual reality and image processing technology. *Ecological Informatics*, 2021, 63, 101287. – <https://10.1016/j.ecoinf.2021.101287>

Поступило в редакцию 29.07.24

Поступило с исправлениями 15.08.24

Принято в печать 05.09.24

*К. Т. Кошекoв¹, Ю. Н. Тановицкий², *А. К. Кошекoв³, Я. М. Курбанов⁴,
Р. К. Тогамбаев⁵*

^{1, 2, 3, 4} Азаматтық авиация академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

⁵ Көлік және коммуникация институты, Латвия, Рига қ.

29.07.24 ж. баспаға түсті.

15.08.24 ж. түзетулерімен түсті.

05.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

3D VR КӨМЕГІМЕН ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕРДІ БӨЛШЕКТЕУГЕ ЖӘНЕ ҚҰРАСТЫРУҒА АРНАЛҒАН ОҚУ ТРЕНАЖЕРЛАРЫН БАҒДАРЛАМАЛАУ

Бұл мақалада виртуалды шындық технологияларын пайдалана отырып, үш өлшемді виртуалды ортада тренажерларды оқытуды бағдарламалау процесі ұсынылған. Технологияның қарқынды дамуы және авиациялық көліктің сапасы мен қауіпсіздігіне талаптардың артуы жағдайында авиациялық техникаға техникалық қызмет көрсету мен жөндеудің инновациялық әдістерін қолдану қазіргі заманғы әуе кемелері паркін тиімді басқарудың құрамдас бөлігіне айналуда.

Жасалған тренажерларды кәсіпорындарда студенттерді оқыту және мамандарды қайта даярлау процесінде нақты виртуалды зертханалық стендтер ретінде пайдалануға болады. Мұндай технологияларды пайдалану білім беру ұйымдарындағы зертханалық базаның көлемін кеңейтуге және аға ұрпақтан жас ұрпаққа білім беру процесін жеңілдетуге мүмкіндік береді. Мақалада зерттеу нысаны ретінде Қазақстан Республикасының арнайы қызметтері пайдаланатын Ми-8 тікұшағының клапан бұрандасын бөлшектеу және құрастыру процесі таңдалған.

Мақалада әзірлеуші инженер симулятор сценарийін жасау кезінде кездесетін негізгі мәселелер, осы мәселелерді шешу жолдары, сонымен қатар сипаттама тілі мен негізгі нысандары сипатталған. Зерттеу нәтижесі жоғарыда сипатталған мәселелерді шешуге арналған ұсыныстар тізімі болып табылады. Нәтижелер Қазақстан Республикасының авиациялық жөндеу кәсіпорнында сынақтан өтті.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзыреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

*K. T. Koshekov¹, Yu. N. Tanovitsky², *A. K. Koshekov³, Ya. M. Kurbanov⁴, R. K. Togambaev⁵*

^{1, 2, 3, 4}Civil Aviation Academy, Republic of Kazakhstan, Almaty

⁵Transport and Telecommunication Institute, Latvia, Riga

Received 29.07.24

Received in revised form 15.08.24

Accepted for publication 05.09.24

PROGRAMMING TRAINING SIMULATORS FOR DISASSEMBLING AND ASSEMBLING SOLID BODIES USING 3D VR

This article presents the process of programming training simulators in a three-dimensional virtual environment using virtual reality technologies. In the context of rapid technological development and growing demands for the quality and safety of air transport, the use of innovative methods for servicing and repairing aircraft is becoming an integral part of the effective management of a modern aircraft fleet.

The developed simulators can be used as real-virtual laboratory stands in the process of training students and retraining specialists at enterprises. The use of such technologies allows expanding the volume of the laboratory base in educational institutions and facilitating the process of transferring knowledge from the older generation to the younger. In the article, the process of disassembling and assembling the valve propeller of the Mi-8 helicopter used by special services of the Republic of Kazakhstan is chosen as the object of study.

The article describes the main problems faced by the development engineer when forming a simulator operation scenario, ways to solve these problems, as well as the description language and main entities. The result of the study is a list of recommendations for solving the problems described above. The results were tested at an aircraft repair enterprise of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: three-dimensional environment, virtual reality, training simulator, process automation, training scenarios.

Теруге 10.09.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4277

Сдано в набор 10.09.2024 г. Подписано в печать 30.09.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректоры: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4277

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайгыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайгыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz