

УДК 004.94

doi: 10.15622/rcai.2025.082

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО АНГАРА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Н.М. Боргест (*borgest@yandex.ru*)

С.А. Власов (*vlasov.ssau@mail.ru*)

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва, Самара

Статья посвящена разработке виртуального ангара – интерактивной среды для проектирования и изучения авиационных конструкций с использованием технологий виртуальной (VR) и дополненной реальности (AR), штатных систем автоматизированного проектирования (САПР). Приводится анализ технических, эргономических и образовательных аспектов, а также перспективы применения AR/VR в инженерной практике. Описаны этапы разработки виртуального ангара, включая создание 3D-моделей, алгоритмов конвертации объектами и интеграцию с интеллектуальным помощником проектанта. Проведена апробация решений в образовательном процессе, подтвердившая их эффективность. Предложены рекомендации по масштабированию и внедрению разработанных технологий в авиастроение и образование.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, авиационные конструкции, САПР, робот-проектант, виртуальный ангар.

Введение

В настоящее время активно развиваются технологические инновации в проектировании и образовании с использованием технологии виртуальной (VR), дополненной (AR) и смешанной реальностей (XR). На рис. 1 показан прогноз размера мирового рынка по AR/VR на 2025-2030 годы, составленный на основе оценочных данных, приведенных в работах [Dimiter et al., 2019],

[Radianti et al., 2023], [Pellas et al., 2021], [Cheng & Tsai, 2023], а также многочисленных обзорах^{1,2,3,4,5}.

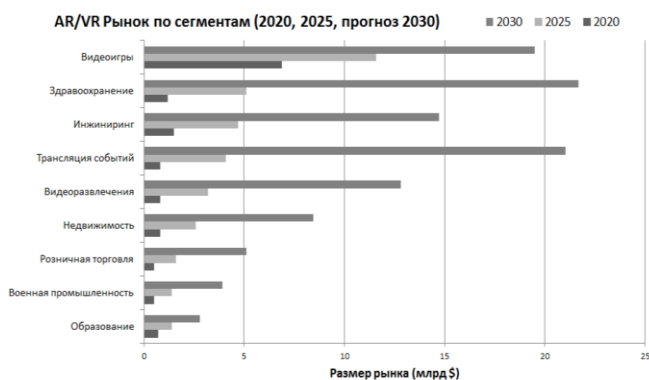


Рис. 1. Прогноз размера мирового рынка AR/VR

Актуальность исследований обусловлена широким распространением мобильных систем в виде смартфонов, планшетов, шлемов AR/VR и потребностью в создании программного обеспечения для синтеза и работы с виртуальными объектами по технологии XR с целью внедрения новых методик и технологий интерактивного обучения [Курасов et al., 2020], а также новых способов моделирования сложных объектов и процессов.

Работа является развитием исследований, проводимых на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского университета, в области проектирования самолетов и подготовки специалистов для авиационной отрасли. В частности, основой для данной работы послужил интеллектуальный помощник проектанта самолета, в котором были заложены принципы описания предметной области в форме тезауруса, баз данных и знаний с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР) [Боргест и др., 2015].

¹ Объём рынка виртуальной реальности вырастет до 51 млрд долларов к 2030 году. 9.11.2021. <https://skillbox.com/media/gamedev/obyem-rynka-virtualnoy-realnosti-vyrastet-do-51-mlrd-dollarov-k-2030-godu/>.

² Прогноз по рынку AR/VR 2025-2030. Май 2025. <https://tenchat.ru/media/3345922-prognoz-po-rynku-arvr-20252030>.

³ Как путешествие рынка виртуальной реальности к оценке в 57 миллиардов долларов к 2030 году изменит обучение. 25.10.2024 г. <https://www.binance.com/ru/square/post/15351397751137>.

⁴ Финансовые перспективы рынка виртуальной реальности. <https://vr-app.ru/blog/finansovye-perspektivy-rynka-virtualnoi-realnosti/>.

⁵ Инвестиции в VR-рынок: тренды, прогнозы, перспективные ниши. 27 июня 2025. <https://dzen.ru/a/aF5RDbjRpFDxvtAe>.

1. Интеллектуальный помощник проектанта

Разработанный интеллектуальный помощник – робот-проектант самолета – интегрирован в создаваемый виртуальный ангар. Робот поддерживает два режима: «инженер» (проектирование) и «студент» (обучение). Основные функции робота связаны с предварительным проектированием самолета на основе технического задания и включают процедуры выбора аэродинамической схемы, расчёта параметров, компоновки и центровки самолёта, разработку 3D модели самолета.

Интерфейс Робота-проектанта состоит из нескольких рабочих экранов (рис. 2): таймлайн проекта (1), интерактивный экран изменения проектных параметров (2), матрицы проекта, как набор данных, описывающий исследуемый проект (3) и окна предварительного просмотра 3D модели самолета (4) [Боргест et al., 2015].

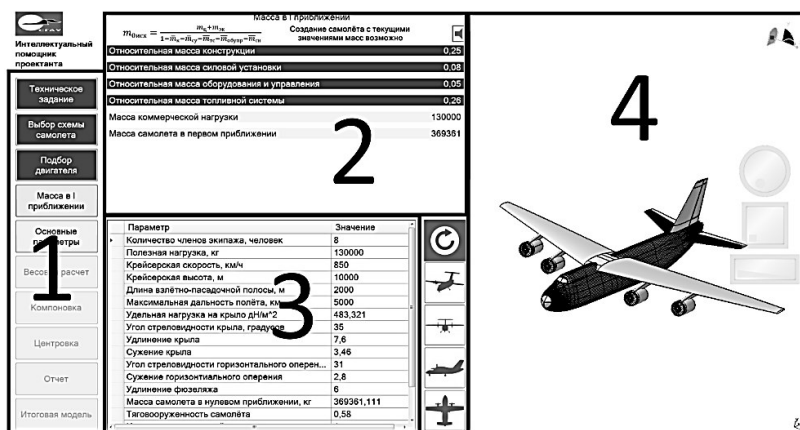


Рис. 2. Интерфейс робота-проектанта

Разработанная параметризованная 3D модель самолета позволяет масштабировать проект и автоматически перестраивать его под выбранные (заданные) или оптимизируемые (в случае применения процедур оптимизации) проектные параметры самолета. Полученная 3D модель проектируемого самолёта в дальнейшем используется в качестве основы для последующего конечно-элементного анализа конструкции самолета, проведения аэродинамических исследований в инженерных системах, а также для проведения физических экспериментов на модели, полученной на 3D принтере.

2. Виртуальный ангар авиационных конструкций

При разработке виртуального ангара, как информационной системы (ИС), учитываются контекст её использования и состав акторов – группы лиц или систем, взаимодействующих с ИС. На рис. 3 показан фрагмент UML диаграммы ИС.

В данной модели пользователь, пройдя предварительный тест на знание конструкции, погружается в искусственно созданную среду и знакомится с инструкцией, изучая способы перемещения и взаимодействия. Затем он открывает дверь ангара и перемещается в ангар. В виртуальном мире нет конкретного сценария и чёткой последовательности действий, пользователь может перемещаться куда угодно и начинать с любой точки ангара. При этом существует виртуальный гид, помогающий пользователю ознакомиться с тем или иным экспонатом. На каждом стенде имеется возможность взаимодействия с экспонатом: взять экспонат, разобрать или собрать его или выполнить измерение объекта. Пользователь может построить свой самолёт в виртуальном пространстве с использованием робота-проектанта.

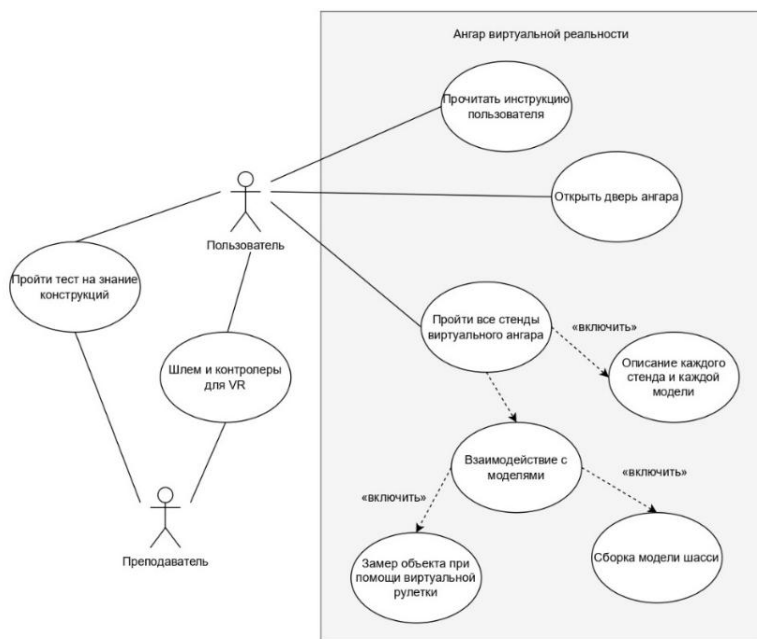


Рис. 3. Фрагмент диаграммы вариантов использования ИС

На рис. 4 в виде диаграммы IDEF0 изображены основные компоненты процесса создания ангара виртуальной реальности.

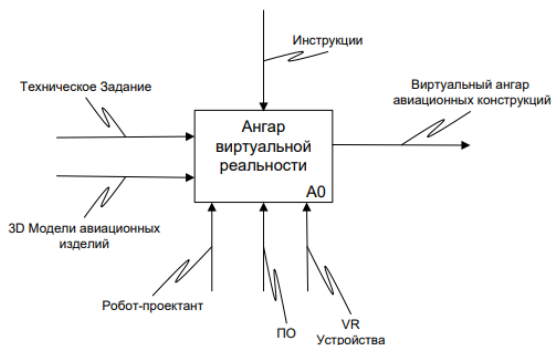


Рис. 4. Диаграмма IDEF0 с позиции разработчика

Для создания виртуального ангара авиационных конструкций использована кроссплатформенная среда разработки Unity 3D, а также Unity Asset Store – платформа от Unity с различными материалами необходимыми для разработки, где доступны инструменты, наборы моделей, шаблоны проектов, анимации, специализированные системы и др. Вид ангара в среде Unity показан на рис. 5.



Рис. 5. Вид ангара в среде Unity

На рис. 6 изображен стенд с интерактивной стойкой шасси самолета Ту-4, информацию о которой можно изучить как визуально, так и прослушать с помощью аудиогuida. Рядом со стойкой расположены её детали

и «призрак» её сборки, который может помочь пользователю при сборке. При взятии деталей над ними возникает надпись с названием, которая позволяет определить, куда и в какой последовательности устанавливать деталь в сборку.

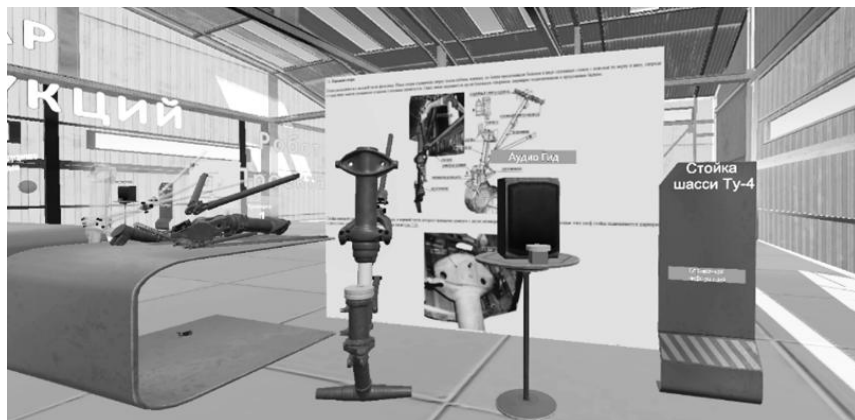


Рис. 6. Стенд "Стойка шасси Ту-4"

Пользователь может перемещаться по всей территории ангара за счёт использования специального компонента Steam VR⁶, TeleportArea⁷, но у каждого стенда в ангаре есть ещё TeleportPoin. Это один из заранее готовых объектов, поставляемых вместе с SteamVR, в нем уже есть графические объекты, и компоненты, которые позволяют переместиться в конкретную точку в пространстве. Объект TeleportArea схож с ним по своим функциям, но даёт возможность перемещаться в любую точку заранее заданной прямоугольной области, границы которой становятся видны при инициализации телепортации [Vlasov et al., 2020].

Для закрепления наименования основных деталей стойки шасси был разработан специальный скрипт, позволяющий производить сборку передней опоры стойки шасси с использованием контроллеров и шлема виртуальной реальности.

⁶ SteamVR – это универсальный инструмент для использования VR с любым оборудованием.

⁷ TeleportArea – это место телепортации, которое переносит пользователя в указанное им место на поверхности.

3. Конвертирование модели для автоматизированного проектирования в виртуальной реальности

Для интеграции 3D-моделей, созданных в САПР, в VR требуется преобразование данных из формата WRL (VRML, Virtual Reality Modeling Language) в OBJ – полигональный формат, используемый в Unity [Zhang, 2023]. Формат WRL, применяемый для представления сложных 3D-сцен, включает геометрию, текстуры, материалы, освещение и иерархию объектов. Однако для VR-приложения требуются упрощенные модели с низкой полигональностью и оптимизированными текстурами для обеспечения высокой производительности (60–90 кадров/с). Формат OBJ, поддерживающий только статическую геометрию и базовые материалы, подходит для этой задачи благодаря своей простоте и совместимости. Поэтому в данной работе для виртуального ангара разработан алгоритм конвертации WRL в OBJ в контексте автоматизированного проектирования [Patel et al., 2022].

Конвертация из WRL в OBJ направлена на преобразование параметризованных или иерархических данных WRL в упрощённый полигональный формат, сохраняя ключевые элементы модели – геометрию и текстуры. Основные задачи:

- минимизация потерь данных при преобразовании;
- оптимизация модели для VR (число полигонов < 100 000);
- обеспечение совместимости с VR-движками и САПР.

WRL-файл представляет собой текстовую или бинарную структуру [Müller, 2024], состоящую из узлов (nodes), таких как Shape, IndexedFaceSet (геометрия), Appearance (материалы и текстуры), Transform (трансформации). В отличие от WRL, OBJ хранит только вершины (v), нормали (vn), текстурные координаты (vt) и грани (f), а материалы описываются в сопутствующем MTL-файле (см., листинг 1). Конвертация включает следующие этапы.

- Парсинг WRL-файла: Извлечение геометрии (IndexedFaceSet), текстурных координат (TextureCoordinate) и материалов (Material, ImageTexture).
- Преобразование геометрии: Конвертация вершин и граней в формат OBJ, удаление ненужных узлов (анимации, освещение).
- Обработка текстур: Привязка текстурных координат и экспорт материалов в MTL.
- Оптимизация: Упрощение полигональной сетки для снижения нагрузки на VR-систему.
- Экспорт: Формирование OBJ и MTL файлов.

Конвертация позволила интегрировать модели из САПР в виртуальный ангар, обеспечив кадровую частоту (производительность) 90 FPS на конфигурации Intel Core i7, NVIDIA RTX 3060. Геометрия и текстуры сохраняются с минимальными потерями.

```

Shape{
  geometry IndexedFaceSet {
    coord Coordinate {
      point[0 0 0, 1 0 0, 1 1 0, ...]
    }
    coordIndex[0 1 2 - 1, ...]
    texCoord TextureCoordinate {
      point[0 0, 1 0, 1 1, ...]
    }
  }
  appearance Appearance {
    material Material { diffuseColor 0.8 0.8 0.8 }
    texture ImageTexture { url "texture.png" }
  }
}

```

Фрагмент управления роботом показан на рис. 7.

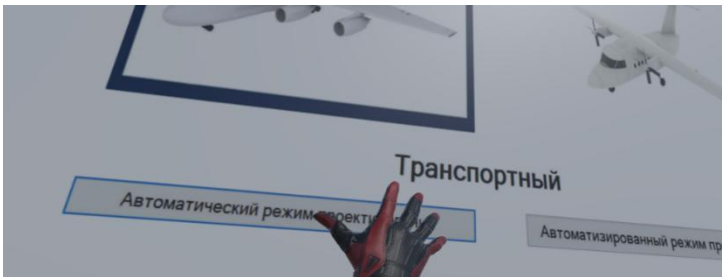


Рис. 7. Выбор режима проектирования проектантом в VR

На рисунке видно, как проектант выбирает опцию «Автоматический режим проектирования» и переходит к процессу проектирования военно-транспортного самолёта. На рис. 7 показана полигональная 3D модель самолёта, которая появляется в виртуальном пространстве за счёт кода конвертирования параметризированной модели. Все эти процессы происходят в фоновом режиме и не мешают нахождению проектанта в виртуальном ангаре.

Заключение

В работе рассмотрены основные направления применения технологии виртуальной реальности в САПР, разработан программный комплекс для проектирования самолета с использованием технологии VR. В виртуальный ангар вошли созданные трёхмерные модели самолётов с использованием технологий реверс-инжиниринга, а также виртуальный помощник

проектанта, позволяющий строить параметризованную 3D модель по заданному техническому заданию. Разработан алгоритм, позволяющий конвертировать параметризованную модель в полигональную, что позволило интегрировать модели САПР в VR среду.

Благодарности. Авторы выражают благодарности студентам Самарского университета им. С.П. Королёва Никите Кондрашину и Сухайли Ширинбегзода за помощь в создании виртуального ангара.

Список литературы

- [Боргест и др., 2015] Боргест Н.М., Власов С.А., Громов А.Г. и др. Робот-проектант: на пути к реальности // Онтология проектирования. – 2015. – Т. 5, № 4(18). – С. 429-449.
- [Курасов и др., 2020] Курасов Д.А., Подвальная Е.Ф. Использование инновационных образовательных технологий виртуальной реальности (VR) в обучении и промышленности // Инновационные наукоемкие технологии. – 2020. – № 4. – С. 190-192.
- [Dimitre et al., 2019] Dimitre V., Plamena Z. Analysis of v-Commerce as the New Online Sales Channel // International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning (IJEEEEE). – 2019. – Vol. 96 No. 2. – P. 131-137. – doi: 10.17706/ijeeeee.2019.9.2.131-137. 1.
- [Radianti et al., 2023] Radianti J., Majchrzak T. A., Fromm J., Wohlgenannt I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda // Computers & Education. – 2023. – Vol. 187. – P. 104528. – doi: 10.1016/j.compedu.2022.104528.
- [Pellas et al., 2021] Pellas N., Mystakidis S., Kazanidis I. Immersive Virtual Reality in K-12 and Higher Education: A systematic review of the last decade scientific literature // Virtual Reality. – 2021. – Vol. 25, No. 3. – P. 835-861. – doi: 10.1007/s10055-020-00489-9.
- [Cheng & Tsai, 2023] Cheng K.H., Tsai C.C. The interaction of child–parent shared reading with an augmented reality (AR) picture book and parents' conceptions of AR learning // British Journal of Educational Technology. – 2023. – Vol. 54, No. 1. – P. 396-414. – doi: 10.1111/bjet.13271.
- [Garcia et al., 2023] Garcia M., Ivanov D. Automated 3D Model Processing for Immersive Virtual Reality: From WRL to OBJ and Beyond // International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. Tokyo, Japan, 15–17 Nov. 2023. Proceedings. Vol. 2. – Tokyo: ACM Press, 2023. – P. 89-98. – doi: 10.1145/3587421.3587432.
- [Patel et al., 2022] Patel R., Singh A., Kumar V. Optimizing VRML to OBJ Conversion for Real-Time Rendering in Virtual Environments // SIGGRAPH Asia 2022 Technical Papers. – 2022. – Vol. 41, No. 6. – P. 123-134. – doi: 10.1145/3550469.3550501.
- [Vlasov et al., 2020] Vlasov S., Borgest N. Application of VR and AR Technologies in Educational Process // Advances in Intelligent Systems Research. – 2020. – Vol. 174. – P. 78-85.
- [Zhang et al., 2023] Zhang L., Kim H. Advances in 3D File Format Conversion for Virtual Reality Applications // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – 2023. – Vol. 29, No. 5. – P. 2567-2578. – doi: 10.1109/TVCG.2022.3156789.