

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-6-465-475>

УДК 004.946

Методические основы применения технологий виртуальной реальности в промышленном дизайне

А. А. Константинова¹⁾, В. И. Ивченко¹⁾, В. В. Бохонка¹⁾, Н. В. Соловьев¹⁾, О. Н. Мойсей¹⁾

¹⁾Республиканский компьютерный центр машиностроительного профиля ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2021
Belarusian National Technical University, 2021

Реферат. Разработаны методические основы применения технологий виртуальной реальности (VR-технологий) на различных этапах проектирования автомобилей и продвижения их на рынке, в частности при выполнении дизайн-проектирования, прототипирования, разработке обучающих и рекламных продуктов. Проанализированы основные направления использования технологий виртуальной реальности в промышленном дизайне в машиностроении. Выполнен обзор возможностей специализированного программного обеспечения Unreal Engine 4 и комплекта аппаратных средств HTC Vive, применяемых для создания и демонстрации виртуальных проектов. Сформированы системные требования к компьютерному программно-аппаратному обеспечению для разработки виртуальных проектов. Обобщен собственный опыт использования технологий виртуальной реальности при проектировании электромотоцикла с кузовом каркасно-панельной конструкции. Описана методика применения средств виртуальной реальности в целях создания виртуальных проектов для демонстрации дизайнерских решений и функционала изделий машиностроения. Рассмотрены вопросы выбора программно-аппаратных средств, их характеристик, а также дано описание этапов создания виртуального проекта. Процесс разработки виртуального проекта разделен на этапы подготовки и преобразования трехмерной компьютерной модели демонстрируемого изделия в его виртуальный цифровой прототип, создания для него виртуальной среды с присвоением среде и объекту материалов и текстур с необходимыми свойствами, задания освещения, параметров навигации и анимированных действий, оптимизации отображения теней и финализации проекта. Представлены основные результаты апробации разработанной методики на примере создания виртуальных проектов для демонстрации электромотоцикла в городской виртуальной среде и виртуальном павильоне.

Ключевые слова: VR-технологии, виртуальная реальность, виртуальный проект, виртуальная среда, промышленный дизайн, устройства виртуальной реальности, виртуальный прототип, визуальное программирование

Для цитирования: Методические основы применения технологий виртуальной реальности в промышленном дизайне / А. А. Константинова [и др.] // *Наука и техника*. 2021. Т. 20, № 6. С. 465–475. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-6-465-475>

Methodological Basis of Virtual Reality Technology Application in Industrial Design

А. А. Konstantinova¹⁾, V. I. Ivchenko¹⁾, V. V. Bakhonka¹⁾, M. V. Salauyeu¹⁾, V. N. Maisel¹⁾

¹⁾The Republican Computer Center of Mechanical Engineering of the State Scientific Institution “The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus” (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper is devoted to the development of methodological foundations for the application of virtual reality technologies (VR-technologies) at various stages of car design and their promotion on the market, in particular, when performing

Адрес для переписки

Ивченко Вадим Иванович
Республиканский компьютерный центр
машиностроительного профиля
ул. Академическая, 12,
220072, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 320-40-61
bats@ncpmm.bas-net.by

Address for correspondence

Ivchenko Vadim I.
The Republican Computer Center
of Mechanical Engineering
12, Akademicheskaya str.,
220072, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 320-40-61
bats@ncpmm.bas-net.by

design, prototyping, development of educational and advertising products. The paper analyzes the main areas of application of virtual reality technologies in industrial design in mechanical engineering. An overview of the parameters of the specialized software Unreal Engine 4 and the HTC Vive hardware set used to create and demonstrate virtual projects is performed. System requirements for computer software and hardware for creating virtual projects have been formed. A generalization of our own experience of using virtual reality technologies in the design of an electric vehicle with a frame-panel structure is carried out. The technique of using virtual reality tools in order to create virtual projects for demonstration of design solutions and functionality of mechanical engineering products is described. The issues of choosing software and hardware, their characteristics are considered, as well as a description of the stages of creating a virtual project is given. The process of developing a virtual project is divided into the stages of preparing and transforming a three-dimensional computer model of the demonstrated product into its virtual digital prototype, creating a virtual environment for it, assigning materials and textures with the necessary properties to the environment and the object, setting lighting, navigation parameters and animated actions, optimizing the display of shadows and finalizing the project. The main results of approbation of the developed methodology are presented on the example of creating virtual projects for demonstrating an electric vehicle: in an urban virtual environment and in a virtual pavilion.

Keywords: VR-technologies, virtual reality, virtual project, virtual environment, industrial design, virtual reality devices, virtual prototype, visual programming

For citation: Konstantinova A. A., Ivchenko V. I., Bakhonka V. V., Salauyeu M. V., Maisei V. N. (2021) Methodological Basis of Virtual Reality Technology Application in Industrial Design. *Science and Technique*. 20 (6), 465–475. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-6-465-475> (in Russian)

Введение

В последние годы технологии виртуальной реальности (VR-технологии) находят все большее применение в машиностроении, в частности в автомобилестроении. Они используются на различных этапах жизненного цикла автомобиля для: оценки принятых или поиска наилучших стилистических и цветографических решений при разработке дизайн-проекта; проведения анализа эргономики и обзорности рабочего места водителя на ранних стадиях проектирования; виртуальной презентации машины потенциальным потребителям с целью продвижения на рынке; обучения персонала, осуществляющего техническое обслуживание и ремонт техники, и т. п. [1–5]. В недавнем прошлом продукция автомобилестроения имела длительный жизненный цикл, характеризовалась небольшим разнообразием моделей, а стадия разработки нового автомобиля занимала до 10 лет. В настоящее время жизненный цикл продукта значительно сократился, ассортимент продукции существенно увеличился, а смена модели происходит в среднем каждые четыре-шесть лет. В будущем можно ожидать сохранения тенденций сокращения жизненного цикла машины и роста разнообразия предлагаемых дизайнерских решений, повышающих уровень персонализации товара. Динамично меняющиеся требования рынка вынуждают изготовителей искать новые, более эффективные способы и процессы разработки и модернизации автомобилей, в первую очередь касающиеся их стиля и внешнего вида. Ожидается, что в том числе

технологии виртуальной реальности будут способствовать решению таких задач [2].

Как показывают исследования, применение виртуальной реальности на различных этапах разработки автомобиля и его компонентов, например в дизайн-проектировании, прототипировании и других, повышает качество работ, сокращает финансовые затраты и время вывода на рынок новых решений [3]. Таким образом, использование VR-технологий становится одним из актуальных трендов в развитии промышленного дизайна.

VR-технологии базируются на применении специализированных программных и аппаратных средств разработки и демонстрации виртуального проекта (VR-проекта). В самом простом варианте данная технология может быть реализована на базе шлема с помещенным в него смартфоном, на котором установлено необходимое программное обеспечение (Google Cardboard, Samsung Gear VR и т. д.) для демонстрации VR-проекта. С целью более полного и качественного погружения в виртуальную среду (VR-среда) используются шлемы виртуальной реальности, работающие в паре с современными консолями или персональными компьютерами. Они оснащены одним или двумя экранами, перед которыми находятся две линзы, обеспечивающие увеличение поля зрения за счет корректировки геометрии изображения; контроллерами движения и лазерными датчиками позиционирования, позволяющими отслеживать положение пользователя в пространстве в реальном времени. В данных

устройствах применяются экраны высокого разрешения, обеспечивающие реалистичную графику. Лидирующие позиции на рынке занимают следующие модели: Oculus Rift, HTC Vive, Lenovo Explorer и Sony PlayStation VR [6]. Среди получивших наибольшее распространение программных средств разработки VR-проектов можно отметить Unreal Engine 4, SteamVR и Unity. Указанное программное обеспечение обладает необходимым набором средств создания и настройки виртуальных сред, а также широким перечнем подключаемых устройств взаимодействия, что позволяет реалистично отображать в среде виртуальной реальности цифровые модели различных объектов, в том числе мобильных машин, включая демонстрацию их отдельных функциональных возможностей [1–6].

Для успешного и эффективного применения VR-технологий на практике нужно иметь четкое описание последовательности и состава действий, выполняемых с применением конкретных технических средств, т. е. необходимо наличие методики создания VR-проекта. Проведенные обзор и анализ имеющихся в широком доступе материалов и публикаций по применению VR-технологий в автомобилестроении [1–5] не выявили работ, содержащих систематизированное описание процесса прикладного применения конкретных методов и средств виртуальной реальности. В связи с этим возникла необходимость разработки методологической базы создания VR-проектов по машиностроительной тематике, учитывающей нарабатанный опыт по применению VR-технологий в области промышленного дизайна.

VR-технологии в процессе цифрового проектирования изделий машиностроения

Одна из главных тенденций развития современного производства – это повсеместное внедрение цифровых технологий. Ключевая особенность такого производства – обмен информацией на всех стадиях процесса, организованный исключительно в цифровом виде. Преимуществом цифрового производства является минимизация материальных издержек и времени выхода на рынок новой, индивидуализированной (персоно-ориентированной) продукции.

Цифровизация привела к существенной трансформации процесса разработки изделия. Теперь проектирование машин и их компонентов выполняется с применением компьютерного моделирования, в результате чего создаются соответствующие цифровые модели. Развитие VR-технологий и наличие таких моделей позволяют на стадии дизайн-проектирования автомобиля осуществлять цифровое прототипирование путем помещения в создаваемую VR-среду разрабатываемых объектов (рис. 1) и проведения там эргономических, стилистических и цветографических исследований.

Трехмерная компьютерная модель автомобиля или его кузовных элементов, созданная с применением традиционных программных средств CAD-моделирования, передается в VR-среду, где с ней проводится ряд манипуляций и преобразований по ее позиционированию, заданию необходимых функциональных и эстетических свойств.



Рис. 1. Цифровая модель электромобиля в VR-среде: а – экстерьер; б – интерьер
Fig. 1. Digital model of electric vehicle in VR-environment: a – exterior; b – interior

Таким образом появляется виртуальный прототип машины, реализованный в масштабе 1:1. С помощью средств виртуальной реальности в эту же VR-среду «помещается» человек, который может: проводить с различных позиций и ракурсов оценку габаритов, пропорций, выразительности и эстетичности внешнего вида и его формы; выполнять анализ обзорности, эргономики, оценивать выбор цветовых решений и материалов изделия и т. п. При этом есть возможность выявления таких недостатков или ошибок проектирования, как: наличие в модели недоработанных либо нестыкующихся поверхностей, диспропорций, визуальное несоответствие облика объекта среде эксплуатации, недочеты в эргономике и обзорности (применительно к автомобилям) и т. п. В ряде случаев эти ошибки можно выявить только после создания физического прототипа. Таким образом, применение VR-технологий позволяет сократить затраты времени и средств на разработку изделия. С учетом изложенного применение VR-технологий целесообразно осуществлять начиная с самых ранних стадий проектирования.

Виртуальное прототипирование как один из способов объемно-пространственной демонстрации дизайн-идеи имеет ряд преимуществ перед физическим макетированием, давая возможность за относительно короткое время создавать и оценивать различные виртуальные прототипы, отличающиеся конструктивными особенностями, комбинациями цветов, материалов, компоновок и т. п. Благодаря применению VR-технологий ведущим автомобильным концернам удается сократить до 50 % количество прототипов, необходимых для разработки новой модели автомобиля, и до 30 % – затраты времени на изготовление прототипов [4]. Также важное преимущество VR-технологий – возможность обеспечения дистанционного доступа к VR-проекту с помощью интернета [7], что позволяет заказчику и исполнителю одновременно в общей VR-среде проводить изучение, оценку и обсуждение решений по разрабатываемому объекту, при этом оба могут находиться в различных точках мира. Основными условиями здесь являются наличие доступа в интернет и оснащенность необходимыми техническими средствами виртуальной реальности. Это дает возможность, помимо отказа от изготовления

физического прототипа изделия или его макета, сэкономить затраты времени и средств на перемещение людей и объектов.

Программно-аппаратные средства реализации VR-технологий

Широкому распространению VR-технологий в автомобилестроении способствовало активное развитие вычислительных, аппаратных и программных средств. В современных программах виртуальной реальности реализован обширный набор инструментов, а также готовых модулей, адаптированных или разработанных специально для постобработки и визуализации автомобильной техники.

Выбор программных средств для разработки и демонстрации VR-проекта обусловлен следующими ключевыми факторами: обеспечением требуемого уровня реалистичности графического представления, удобством использования инструментов и интерфейса программы для пользователя, наличием вариативности методов решения поставленной задачи посредством разнообразия функционала.

В качестве основного программного средства для реализуемых VR-проектов было выбрано программное обеспечение для разработки компьютерных игр (игровой движок) Unreal Engine 4 (UE4), главными преимуществами которого являются: высокий уровень реалистичности визуализации, интуитивно понятный пользовательский интерфейс, большое количество встроенных функций и отдельных редакторов, наличие возможности написания скриптов – как посредством кода, так и с помощью инструментов визуального программирования [8]. В качестве альтернативы UE4 рассматривалась программа Unity, существенные минусы которой в нашем случае – необходимость использования языка программирования C#, а также более низкий уровень реалистичности визуализации.

В процессе создания VR-проекта как вспомогательные могут использоваться программы для подготовки и преобразования 3D-моделей (3ds Max, Siemens NX и т. п.), программы создания растровой и векторной графики (Adobe Photoshop, CorelDRAW и т. п.). Для запуска VR-проекта применена среда SteamVR,

объединяющая в себе программно-аппаратные средства виртуальной реальности.

Поскольку характеристики VR-проекта в значительной степени определяются параметрами и возможностями используемых аппаратных и программных средств, были установлены минимальные и рекомендуемые системные требования к операционной системе, графическому процессору, оперативной памяти и видеокарте персонального компьютера (табл. 1).

Минимальные системные требования составлены для проектов, включающих: модели объектов с простой геометрией (с преимущественно плоскими поверхностями) и низкой полигональностью, с минимальным набором задаваемых параметров материалов, текстур и источников освещения VR-среды.

Рекомендуемые системные требования составлены для проектов, включающих модели объектов со сложной геометрией, большим количеством деталей с высокой полигональностью, скруглениями ребер, широким набором задаваемых параметров материалов (зеркальность, металлизированность, прозрачность и т. п.), текстур и источников освещения (естественных и искусственных), а также наличием эффектов анимации.

Выполнение приведенных рекомендуемых требований способствует оптимизации работы аппаратных средств с максимальной реализацией возможностей применяемых программных продуктов в рамках VR-проектов различной сложности.

Аппаратные средства виртуальной реальности для решения профессиональных задач могут быть представлены комплектом оборудования и программных средств, таким как:

- шлем виртуальной реальности (HTC Vive, Oculus Rift, Lenovo Explorer, Sony PlayStation VR и т. п.);
- базовые станции отслеживания положения пользователя в пространстве и стойки-штативы для них (в зависимости от комплектации);
- джойстики (манипуляторы-контроллеры);
- адаптеры питания;
- коммуникационный модуль для подключения к компьютеру;
- встроенное программное обеспечение.

Характеристики наиболее распространенных в применении шлемов виртуальной реальности представлены в табл. 2.

Таблица 1

Системные требования к компьютерному программно-аппаратному обеспечению для создания VR-проектов
System requirements for computer software and hardware for creating VR-projects

| Наименование | Системное требование | |
|-----------------------|---|--|
| | Минимальное | Рекомендуемое |
| Операционная система | Windows 7/8/8.1/10 (64 Bit) | |
| Процессор | Intel Core i5-4590, или AMD FX 8350, или их аналоги | Intel Core i5-4590, или AMD FX 8350, их аналоги или более новые модели |
| Оперативная память | 4 ГБ ОЗУ | 4 ГБ ОЗУ и более |
| Графический процессор | NVIDIA GeForce GTX 970, или AMD Radeon R9 290, или их аналоги | NVIDIA GeForce GTX 970, или AMD Radeon R9 290, их аналоги или более новые модели |

Таблица 2

Характеристики шлемов виртуальной реальности
Characteristics of virtual reality helmets

| Показатель | Характеристика | | |
|--|--|----------------------------------|---|
| | HTC Vive OPJT100 VR | Oculus Rift S | Lenovo Explorer |
| Датчики | Акселерометр, гироскоп, датчик положения, фронтальная камера | Акселерометр, гироскоп | Акселерометр, гироскоп, датчик положения |
| Разрешение дисплея (для каждого глаза) | 1080×1200 | 1440×1280 | 1440×1440 |
| Связь | Bluetooth, USB 3.0 Type A, mini jack 3,5 мм, HDMI, DisplayPort | USB 3.0 Type A, mini jack 3,5 мм | Bluetooth, USB 3.0 Type A, mini jack 3,5 мм, HDMI |
| Частота обновления | 90 Гц | 80 Гц | 90 Гц |
| Угол обзора | 110° | 115° | 110° |

Методика создания VR-проекта

Рассмотрим сформированные в отделе промышленного дизайна Объединенного института машиностроения НАН Беларуси методические основы применения технологий виртуальной реальности в промышленном дизайне на базе следующих аппаратных и программных средств: комплекса виртуальной реальности HTC Vive OPJT100 VR, программно-аппаратного комплекса в составе рабочей станции (процессор Intel Core i7-7700K, память 32 ГБ ОЗУ, графический процессор NVIDIA RTX 2080, SSD-накопитель 1 ТБ, дисплей, устройства ввода), операционной системы Windows 10 (64 Bit) и программных средств (Unreal Engine 4, Steam VR и др.).

Методика создания VR-проекта включает следующие этапы:

- подготовку и преобразование модели представляемого объекта;
- разработку виртуальной среды для размещения объекта;
- присвоение материалов и текстур составляющим VR-проекта;
- создание и настройку источников освещения;
- создание и настройку параметров навигации;
- разработку и реализацию сценариев анимации;
- оптимизацию отображения теней;
- финализацию проекта.

Общее описание указанных методических рекомендаций приведено ниже на примере создания VR-проектов для демонстрации электромобиля с кузовом каркасно-панельной кон-

струкции (далее – электромобиль) в городской VR-среде и виртуальном павильоне.

Подготовка и преобразование модели представляемого объекта. Для преобразования трехмерной модели электромобиля в виртуальный цифровой прототип изделия были осуществлены ее подготовка и экспорт в программу UE4. Подготовка модели предусматривает выполнение операций по проверке и устранению ошибок, понижению размерности модели и заданию толщин оболочечным телам.

Подготовка и преобразование модели осуществлялись в пакете 3ds Max путем снижения количества полигонов, что позволило оптимизировать VR-проект под более низкие характеристики используемых аппаратных средств без потери качества визуализации. На рис. 2 приведены примеры полигональных сеток трехмерной модели плафона освещения салона электромобиля до и после ее преобразования.

Для выявления и устранения ошибок исходной трехмерной модели объекта в CAD-приложении проводили проверку корректности ориентации и редактирование внешних нормалей к лицевым поверхностям, а также задавали толщины оболочечным телам. Для перевернутых нормалей производилось их реверсирование. Необходимость выполнения данной операции связана с тем, что поверхности с некорректно заданными нормальями и нулевой толщиной в программе UE4 будут отображаться прозрачными с лицевой стороны (рис. 3). Экспорт модели электромобиля в UE4 осуществлялся в масштабе 1:1 в формате .stp (может выполняться в любом формате, поддерживаемом применяемыми программами).



Рис. 2. Полигональная сетка трехмерной модели плафона освещения салона электромобиля: а – до преобразования (260400 полигонов); б – после понижения размерности (5276 полигонов)

Fig. 2. Polygonal mesh of three-dimensional model of ceiling light for interior of electric vehicle: а – before conversion (260400 polygons); б – after dimension reduction (5276 polygons)



Рис. 3. Корректировка нормалей, обращенных от пользователя (а) и на пользователя (b), в трехмерной модели обшивки двери электромобиля

Fig. 3. Adjusting normals facing away from user (a) and towards user (b) in three-dimensional model of electric vehicle door trim

Разработка виртуальной среды для размещения объекта. VR-среда для размещения модели объекта может формироваться следующими способами:

- установкой HDR-изображения (HDR – технология объединения нескольких изображений и создания на их основе среды [9]);
- размещением моделей различных объектов оформления среды (помещения, архитектурные формы и т. д.) в VR-проекте;
- созданием комбинированной среды из моделей объектов оформления среды и HDR-изображений.

В рассматриваемом примере (рис. 1) формирование объектов оформления VR-среды реализовано в пакете UE4 комбинированным способом. Применение данного варианта предусматривало присвоение соответствующих материалов и текстур моделям объектов оформления VR-среды. Особенности этой операции приведены в описании следующего этапа методики.

Присвоение материалов и текстур составляющим VR-проекта. После формирования VR-среды и размещения в ней 3D-модели электромобиля им были присвоены необходимые визуальные свойства материалов и текстур. Для более реалистичного отображения пластического формообразования, создания световых эффектов, а также имитации некоторых природных явлений для указанных материалов и текстур заданы настройки свойств: шероховатости, цветовых каналов, в том числе яркости, контрастности, насыщенности цветов; металлизированности, отражения, прозрачности и др. (рис. 4).

Благодаря широкой вариативности настроек свойств материалов и текстур UE4 позволяет задать необходимые визуальные свойства, обеспечивающие требуемую реалистичность восприятия. Возможно использование свойств

материалов и текстур, полученных из специализированных ресурсов, а также текстур собственной разработки, созданных в графических редакторах [9].



Рис. 4. Настройки свойств материалов и текстур элементов экстерьера электромобиля

Fig. 4. Material property settings and textures of electric vehicle exterior elements

Импортированные в UE4 текстуры используются как обычный рисунок, рельефная карта или карта шероховатости (рис. 5). Их применение в качестве текстуры рисунков, рельефных карт или карт шероховатости позволяет визуально представить элементы VR-проекта в виде как гладких поверхностей, так и рельефных или шероховатых. Импортированные в проект описания материалов дополняют встроенную в UE4 базу материалов.

Создание и настройка источников освещения. Для более точной передачи формы модели и создания реалистичного окружения электромобиля в рассматриваемых VR-проектах были созданы и настроены естественные и искусственные источники освещения. В UE4 имеется возможность задания следующих источников освещения: рассеянного (небесного), направленного, точечного и прожекторного, а также различных атмосферных явлений, таких как туман, облака и т. д., формирующих атмосферный свет.

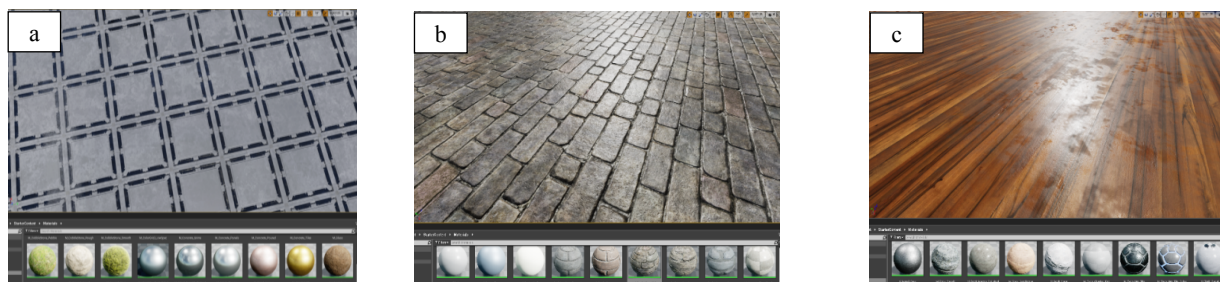


Рис. 5. Примеры текстур в качестве: а – рисунка; б – рельефной карты; с – карты шероховатости

Fig. 5. Examples of textures as: a – picture; b – bump map; c – roughness map

Основным видом освещения в рассматриваемых VR-проектах является солнечное, которое задается небесным источником, освещающим всю сцену (рис. 6). С помощью изменения настроек солнечного освещения можно более детально передать или подчеркнуть форму модели, а также имитировать время суток в VR-сцене [10].

Искусственные источники освещения (различного вида лампы, световые эффекты, а также некоторые виды материалов) в VR-среде могут создаваться направленными, точечными и прожекторными источниками света [11]. Они позволяют моделировать отражения, блики и их расположение на объекте, создавать подсветку и выгодно подчеркивать форму изделия, а также более точно передавать физические и эстетические свойства материалов (рис. 6).

Создание и настройка параметров навигации. Под этими функциями в VR-среде подразумевается создание и описание свойств системы областей, в пределах которых в VR-проекте можно перемещаться с помощью контроллеров [12]. Кроме того, у пользователя имеется возможность физического перемещения в реальном пространстве, которое дублируется в VR-среде.

К основным задаваемым параметрам навигации относится разрешение либо запрет перемещения через назначенную зону VR-среды с помощью контроллеров. Заложенные в настройках навигации UE4 свойства дают возможность рассматривать объект с разных ракурсов и с различного расстояния, а также создавать ограничения в виртуальном перемещении подобно тому, как это происходит в реальном мире. Также при работе в VR-проекте могут отображаться границы реального окружения, которые не желательно пересекать в целях обеспечения безопасности.

При апробации методики в VR-проекте демонстрации электромобиля в виртуальном павильоне программными средствами UE4 была задана область навигации, ограниченная наружным периметром внутри виртуального павильона, а также заблокирована возможность перемещения «сквозь» конструкции электромобиля с использованием аппаратных средств. На рис. 7 представлен пример настройки области навигации VR-проекта демонстрации электромобиля в виртуальном павильоне.



Рис. 6. VR-среда с различными вариантами освещения: а – с источниками солнечного и атмосферного света; б – без источника солнечного света; с – без источников солнечного и атмосферного света

Fig. 6. VR-environment with different lighting options: a – with sunlight and atmospheric light sources; b – without sunlight source; c – without sunlight or atmospheric light sources

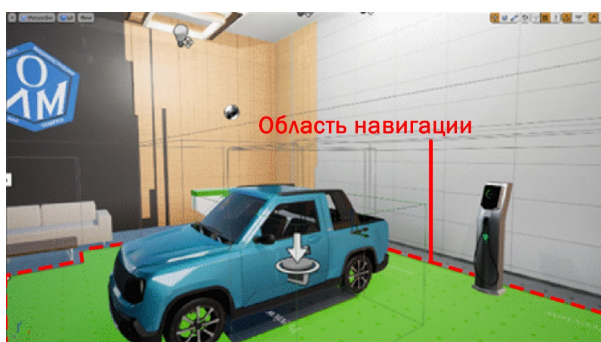


Рис. 7. Настройка области навигации

Fig. 7. Setting up navigation area

Разработка и реализация сценариев анимации. Редактор UE4 позволяет задавать различные варианты анимированных действий с объектами в соответствии с выбранными сценариями. Это дает возможность смоделировать любое необходимое действие (движение, скрывание, смена цвета, фактуры и т. п.) для демонстрации эстетических и стилевых решений, а также функционала и специфических особенностей рассматриваемого объекта [13, 14].

В VR-проекте демонстрации электромобиля в виртуальном павильоне реализована анимация подъема капота с целью ознакомления с размещенными в подкапотном пространстве компонентами (рис. 8). Для задания анимированных действий были написаны специальные скрипты, устанавливающие порядок и условия выполнения необходимых операций, активирующих анимацию открывания капота.

Оптимизация отображения теней. Выполнение данного этапа носит рекомендательный характер и реализуется при разработке VR-проектов с большим количеством моделей, деталей, графики и анимаций, так как каждая смена положения модели относительно пользователя требует нового формирования падающей тени, что увеличивает нагрузку на вычислительные ресурсы, задействованные в проекте. Преобразование динамических теней в статические позволяет улучшить производительность программно-аппаратных средств, исключить или минимизировать возможные задержки и прерывания в отрисовке виртуального проекта во время его просмотра в очках виртуальной реальности [15].



Рис. 8. Настройка анимации открывания капота электромобиля

Fig. 8. Setting up animation of opening electric vehicle hood

Суть этапа заключается в фиксации в пространстве положения теней, возникающих от объектов после задания источников освещения. В результате чего динамические тени преобразуются в статические изображения. Перед этапом финализации VR-проекта все тени были преобразованы в статические изображения путем ограничения подвижности всех источников освещения виртуальной среды в выбранном положении.

Финализация проекта необходима для создания исполнимого файла проекта в целях его запуска и просмотра на компьютерах, в том числе на которых не установлена программа UE4. Исполнимый файл имеет расширение .exe и отличается значительно меньшей размерностью, чем файл в формате программы UE4 [16]. Например, VR-проект UE4 с приведенным на рис. 8 электромобилем занимает 54320 МБ, а исполнимый файл – 3305 МБ.

ВЫВОДЫ

1. По результатам обобщения и систематизации опыта применения программных и аппаратных средств виртуальной реальности, накопленного в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси при выполнении дизайнерских и конструкторских работ в области автомобилестроения, описаны основные возможности и задачи, решаемые в автомобилестроении с помощью VR-технологий, приведен обзор параметров используемого программного и аппаратного обеспечения для работы в VR-среде, разработана и апробирована методика создания VR-проектов – демонст-

рации электромобиля в городской VR-среде и виртуальном павильоне.

2. Описанные в статье современные VR-технологии уже на начальных стадиях проектирования транспортного средства позволяют анализировать в масштабе 1:1 эстетические, стилистические и объемно-пластические решения его экстерьера и интерьера, эргономику, обзорность; оценить качество выполнения сопряжений сложных поверхностей и т. п. В совокупности приведенные возможности вносят существенный вклад в повышение эффективности процесса проектирования путем сокращения времени на анализ множества вариантов и комбинаций решений, в том числе организации дистанционных встреч по их совместной оценке и обсуждению непосредственно в VR-среде, минимизации ошибок и неточностей. Это повышает общую степень проработки изделия и его соответствия требованиям разработчика.

3. Полученные на стадии проектирования виртуальные модели изделия (виртуальные прототипы) в дальнейшем можно использовать в целях его рекламы и продвижения на рынке.

4. Представленные методические основы могут быть применены при проектировании различных технических объектов в области машино- и приборостроения с использованием как упомянутого программного обеспечения, так и других аналогичных средств разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркин, Д. А. Возможности использования систем виртуальной реальности в машиностроении / Д. А. Маркин, Е. А. Новиков // Достижения и перспективы технических наук: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. Уфа: Изд-во НАУЧНЫЙ ЦЕНТР «АЭТЕРНА», 2014. С. 20–22.
2. Netto, A. V. Perspectives of Virtual Reality for the Automotive Industry [Electronic Resource] / A. V. Netto, A. M. Penachio, A. T. Anitelle // Virtual Reality Technology for the Automotive Engineering Area, Conference: SAE Brasil 2002 Congress and Exhibit. Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/296643596_Virtual_Reality_Technology_for_the_Automotive_Engineering_Area. Date of access: 12.03.2021.
3. Lawson, G. The Future of Virtual Reality in the Automotive Industry [Electronic Resource] / G. Lawson, D. Sa-
- lanitri, B. Waterfield // VR Processes in the Automotive Industry, 17th International Conference, HCI International 2015, Los Angeles, CA. Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/282076636_VR_Processes_in_the_Automotive_Industry/. Date of access: 12.03.2021.
4. The Use Cases and Benefits of VR in the Automotive Industry [Electronic Resource]. Mode of access: <https://www.improovr.com/blog/the-use-cases-and-benefits-of-vr-in-the-automotive-industry/>. Date of access: 12.03.2021.
5. Колесников, В. А. Использование технологий виртуальной реальности для подготовки специалистов в области автомобильного транспорта / В. А. Колесников, С. В. Сыроваткин, Е. Б. Колесникова // Проблемы та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали IV Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф., 14–15 квітня 2016 р. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2016. С. 18–22.
6. Виды очков виртуальной реальности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vr-j.ru/stati-i-obzory/idy-ochkov-virtualnoj-realnosti/>. Дата доступа: 16.03.2021.
7. Unreal Engine VR Mode [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.unrealengine.com/en-US/BuildingWorlds/VRMode/index.html>. Дата доступа: 15.03.2021.
8. Макеффри, М. Unreal Engine VR для разработчиков / М. Макеффри. М.: Эксмо, 2019. 256 с.
9. Материалы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://uengine.ru/site-content/docs/materials-shaders/materials>. Дата доступа: 15.03.2021.
10. Lighting the Environment [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.unrealengine.com/en-US/BuildingWorlds/LightingAndShadows/index.html>. Дата доступа: 15.03.2021.
11. Santello, S. RPG Development in Unreal Engine v4.7. / S. Santello, A. R. Stagner. Birmingham, Publishing House “Packt Publishing”, 2016. 358 p.
12. Тьюриал по Unreal Engine. Ч. 6. Анимация [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/344840/>. Дата доступа: 15.03.2021.
13. Shannon, T. Unreal Engine 4 for Design Visualization: Developing Stunning Interactive Visualizations, Animations, and Renderings / T. Shannon. Boston: Addison-Wesley, 2018. 362 p.
14. Sanders, A. An Introduction to Unreal Engine 4 / A. Sanders. Boca Raton: A. K. Peters/CRC Press, 2016. 270 p.
15. Sewell, B. Blueprints Visual Scripting for Unreal Engine: Build Professional 3D-Games with Unreal Engine 4’s Visual Scripting System / B. Sewell. Birmingham: Packt Publishing, 2015. 190 p.
16. Mack, K. Unreal Engine 4 Virtual Reality Projects: Build Immersive, Real-World VR Applications Using UE4, C++, and Unreal Blueprints / K. Mack, R. Ruud. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 634 p.

Поступила 14.05.2021

Подписана в печать 11.08.2021

Опубликована онлайн 30.11.2021

REFERENCES

1. Markin D. A., Novikov E. A. (2014) Possibilities of Using Virtual Reality Systems in Mechanical Engineering. *Dostizheniya i Perspektivy Tekhnicheskikh Nauk: Sb. Statei Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf.* [Achievements and Prospects of Technical Sciences / Collection of Papers of the International Scientific and Practical Conference]. Ufa, Publishing House of Scientific Center "AETERNA", 20–22 (in Russian).
2. Netto A. V., Penachio A. M., Anitelle A. T. (2002) Perspectives of Virtual Reality for the Automotive Industry. *Virtual Reality Technology for the Automotive Engineering Area, Conference: SAE Brasil 2002 Congress and Exhibit*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/296643596_Virtual_Reality_Technology_for_the_Automotive_Engineering_Area. (Accessed 12 March 2021).
3. Lawson G., Salanitri D., Waterfield B. (2015) The Future of Virtual Reality in the Automotive Industry. *VR Processes in the Automotive Industry, 17th International Conference, HCI International 2015, Los Angeles, CA*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/282076636_VR_Processes_in_the_Automotive_Industry/. (Accessed 12 March 2021).
4. *The Use Cases and Benefits of VR in the Automotive Industry*. Available at: <https://www.improovr.com/blog/the-use-cases-and-benefits-of-vr-in-the-automotive-industry/>. (Accessed 12 March 2021).
5. Kolesnikov V. A., Syrovatkin S. V., Kolesnikova E. B. (2016) Using Virtual Reality Technologies for Training Specialists in the Field of Automotive Transport. *Problemi ta Perspektivi Rozvitku Avtomobil'nogo Transportu: Materiali IV Mizhnar. Nauk.-Tekhn. Internet-Konf., 14–15 Kvitnya 2016 r.* [Problems and Prospects for Development of Road Transport: Proceedings of the 4th International Scientific and Technical Internet-Conference, April 14–15, 2016]. Vinnytsia, Vinnytsia National Technical University, 18–22.
6. *Types of Virtual Reality Glasses*. Available at: <https://vr-j.ru/stati-i-obzory/vidy-ochkov-virtualnoj-realnosti/>. (Accessed 16 March 2021) (in Russian).
7. *Unreal Engine VR Mode*. Available at: <https://docs.unrealengine.com/en-US/BuildingWorlds/VRMode/index.html>. (Accessed 15 March 2021).
8. Makeffrey M. (2019) *Unreal Engine VR for Developers*. Moscow, Eksmo Publ. 256 (in Russian).
9. *Materials*. Available at: <https://uengine.ru/site-content/docs/materials-shaders/material>. (Accessed 15 March 2021) (in Russian).
10. *Lighting the Environment*. Available at: <https://docs.unrealengine.com/en-US/BuildingWorlds/LightingAndShadows/index.html>. (Accessed 15 March 2021).
11. Santello S., Stagner A. R. (2016) *RPG Development in Unreal Engine v4.7*. Birmingham, Publishing House "Packt Publishing", 2016. 358 (in Russian).
12. Unreal Engine Tutorial. Part 6: Animation. Available at: <https://habr.com/ru/post/344840/>. (Accessed 15 March 2021) (in Russian).
13. Shannon T. (2018) *Unreal Engine 4 for Design Visualization: Developing Stunning Interactive Visualizations, Animations, and Renderings*. Addison-Wesley. 362.
14. Sanders A. (2016) *An Introduction to Unreal Engine 4*. CRC Press. 270. <https://doi.org/10.1201/9781315382555>.
15. Sewell B. (2015) *Blueprints Visual Scripting for Unreal Engine: Build professional 3D Games with Unreal Engine 4's Visual Scripting System*. Packt Publishing. 190.
16. Mack K., Ruud R. (2019) *Unreal Engine 4 Virtual Reality Projects: Build Immersive, Real-World VR Applications Using UE4, C++, and Unreal Blueprints*. Packt Publishing. 634.

Received: 14.05.2021

Accepted: 11.08.2021

Published online: 30.11.2021