

УДК 721.021.23

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-440-449>

ВІМ И VR: РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Т.А. Козленко, С.В. Придвижкин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Основываясь на тенденциях, можно проследить нарастающий интерес к технологии VR в строительстве. Эта относительно новая технология быстро заменяет традиционные способы визуализации, предоставляя пользователям расширенные возможности работы с цифровыми технологиями. Целью работы является анализ применения технологии виртуальной реальности в строительстве, на основе анализа определить, каким образом можно улучшить интеграцию и найти новые идеи для применения технологий.

Материалы и методы. В результате анализа предыдущих исследований было выявлено отсутствие методов осуществления передачи данных из системы VR в программное обеспечение BIM. В связи с выявленной проблемой целью данной научной работы является улучшение интеграции технологий VR и BIM путем осуществления автоматической передачи данных из программы виртуальной реальности в исходную информационную модель.

Результаты. В ходе работы был создан проект на базе информационной модели, выполненной в программном комплексе Autodesk Revit и импортированной в игровой движок Unreal Engine 4 для создания интерактивной виртуальной среды. Рассмотрен новый подход к созданию и презентации эскиза проекта с помощью технологии виртуальной реальности – метод интуитивного проектирования в виртуальной среде.

Обсуждение и заключение. Программный модуль находится на этапе ранней разработки, тем не менее имеет перспективы для развития в полноценное приложение, доступное для любых пользователей. В работе приведены основные направления для продолжения разработки приложения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: информационное моделирование, виртуальная реальность, BIM, VR.

Поступила 25.06.21, принята к публикации 31.08.21.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Козленко, Т.А. BIM и VR: разработка программного модуля для интеграции информационного моделирования зданий и виртуальной реальности / Т.А. Козленко, С.В. Придвижкин. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-440-449> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 4(80). – С. 440-449.

© Козленко Т.А., Придвижкин С.В., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-440-449>

BIM AND VR: DEVELOPMENT OF A SOFTWARE MODULE FOR THE INTEGRATION OF BUILDING INFORMATION MODELLING AND VIRTUAL REALITY

Tatiana A. Kozlenko, Stanislav V. Pridvishkin

*First President of Russia B.N. Yeltsin Ural Federal University,
Ekaterinburg, Russia*

ABSTRACT

Introduction. Based on the trends, the growing interest in VR technology in construction can be traced. This relatively new technology is rapidly replacing traditional visualization methods, providing users with an enhanced digital experience. The aim of the work is to analyze the application of virtual reality technology in construction, based on the analysis, determine how to improve integration and find new ideas for the application of technologies.

Methods and materials. As a result of the analysis of previous studies, it was revealed that there are no methods for transferring data from the VR system to the BIM software. In connection with the identified problem, the goal of this scientific work is to improve the integration of VR and BIM technologies by automatically transferring data from a virtual reality program to the original information model.

Results. In the course of the work, a project was created based on a BIM model made in the Autodesk Revit software package and imported into the Unreal Engine 4 game engine to create an interactive virtual environment. A new approach to the creation and presentation of a project sketch using virtual reality technology is considered - a method of intuitive design in a virtual environment.

Discussion and conclusion. The software module is at the stage of early development; nevertheless, it has prospects for development into a full-fledged application available to any user. The paper provides the main directions for the continuation of the application development.

KEYWORDS: information modelling, BIM, virtual reality, VR.

Submitted 25.06.21, revised 31.08.21.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Kozlenko T.A., Pridvishkin S.V. Bim and vr: development of a software module for the integration of building information modelling and virtual reality. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (4): 440-449. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-440-449>.

© Kozlenko T.A., Pridvishkin S.V., 2021



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Строительство – это процесс, который использует новейшие знания и технологии времени. Однако идти в ногу с достижениями современности непросто для ветеранов отрасли. Строительная индустрия является наиболее консервативной и инерционной в отношении цифровизации. Изменения в традиционных и устоявшихся методах строительного процесса зачастую приводят к многочисленным трудностям [1]. В наше время до сих пор широко применяется метод проектирования зданий, который возник ещё в 16 в. Это проектирование с помощью плоских проекций: фасадов, разрезов, планов, видов и пр. Чтобы правильно понять замысел архитектора и проектировщика, необходимо умение мысленно строить трехмерный объём по плоским чертежам. Такое умение вырабатывается у специалистов с годами учебы и практики [2].

Для демонстрации идеи будущего здания заказчику без специального образования требуется трехмерная визуализация проекта. Одним из способов воспроизвести объём будущего здания является макетирование. Уменьшенные копии проектируемых зданий производят большое впечатление на публику, макеты понятны и эффектны. Однако первичное утверждение проекта на основании макета не всегда приводит к успешной приемке выполненного строительного объекта. Человек может проанализировать пространство и понять замысел архитектора лишь при непосредственном нахождении в пространстве в реальном масштабе и реальном времени [3].

Новые технологии открывают новые возможности. Не так давно стало широко распространяться информационное моделирование зданий и сооружений Building Information Modeling (BIM) [4]. BIM является одной из важнейших технологий в строительной индустрии, которая улучшает качество проектирования и проектов в целом [5].

Намного позже в информационное моделирование стала интегрироваться технология виртуальной реальности Virtual Reality (VR). В 1999 г. Фред Брукс определил VR как «полное погружение в интерактивный виртуальный мир» [6]. Это подразумевает, что пользователь имеет контроль над точкой обзора, которая является основой любой VR-системы. Виртуальная реальность берет свое начало в индустрии развлечений, однако получила значительное развитие в проектировании, машиностроении и образовании [7]. Основываясь на тенденци-

ях, можно проследить нарастающий интерес к технологии VR и в строительстве [8, 9]. Эта относительно новая технология быстро заменяет традиционные способы визуализации, предоставляя пользователям расширенные возможности работы с цифровыми технологиями [10].

VR делает устаревшей практику макетирования. Вместо того чтобы тратить силы, время и деньги на создание множества отдельных, часто одноразовых макетов, заинтересованные стороны могут посетить сеанс виртуальной реальности, чтобы легко рассмотреть проект в реальном масштабе и перемещаться по сложным частям моделируемого здания [11].

Виртуальная экскурсия выполняется на основе информационной модели, которая используется на всех этапах строительства. При наличии интерактивных систем пользователи могут наблюдать в VR, как изменения повлияют на среду проекта. Видение будущего еще до того, как оно произойдет, может предотвратить коллизии, задержки в графике строительных работ и сократить расходы, что позволит проектировщикам и архитекторам сосредоточиться на проекте, а не на макетах с кратковременной полезностью [12].

Цель научной работы – объединить метод BIM и технологию визуализации VR путём передачи данных между системами.

В соответствии с заданной целью поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать существующие способы интеграции технологий BIM и VR.
2. Разработать программный модуль для передачи данных между системами.
3. Рассмотреть практическое применение интеграции BIM и VR.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

По результатам анализа существующих способов интеграции технологий был рассмотрен ряд исследовательских работ. В научной работе Фридера Кирна анализируются возможности применения VR в BIM, а также редактирование моделей IFC в VR [13]. В этой статье автор описывает способ импорта информационной модели в формате IFC в игровой движок Unity с помощью библиотеки xBIM, разработанной на C #, передачу изменений из Unity обратно в файл IFC. В этом способе возникает сложность при импорте файла в игровой движок, но нет зависимости от конкретного программного обеспечения для BIM-проектирования.

В 2017 г. опубликована исследовательская работа, описывающая систему, которая использует интерактивную и иммерсивную среду виртуальной реальности для имитации дневного и искусственного освещения в зданиях [14]. Кроме того, система дает возможность пользователям взаимодействовать с объектами дизайна, изменять их и сравнивать несколько вариантов проектирования, а также выгружает данные по качеству освещения и потребления энергии в реальном времени. Для реализации процесса использован Autodesk Revit в качестве программного обеспечения BIM. Программное обеспечение BIM экспортирует свойства модели в FBX-файле. Затем файл загружается в программное обеспечение Autodesk 3ds Max в качестве подготовки к игровому движку Unreal Engine. После завершения необходимых приготовлений измененный файл FBX импортируется в Unreal Engine. Проблема в этом сценарии заключается в том, что обмен информацией происходит только во время экспорта информационной модели в игровой движок и нет эффективного способа отправить информацию обратно в программу BIM.

Другое интересное исследование было сделано Томасом Хилфертом и Маркусом Кенигом в 2016 г. [15]. В отличие от других подходов они использовали в качестве источника данных не программное обеспечение для BIM-проектирования, а сервер BIM OpenSource. Связав сервер с игровым движком Unreal Engine через программный интерфейс приложения, пользователи могут загружать свои файлы IFC на сервер, а затем преобразовывать их в VR. Благодаря такому подходу приложение VR не зависит от программного обеспечения BIM-разработчика. Редактирование модели в VR невозможно, но файлы IFC могут обновляться на сервере и затем повторно импортироваться в игровой движок.

В статье А.В. Чистяков описывает программный модуль виртуального прототипирования архитектурной среды [16]. Программа для интерактивного композиционного моделирования позволяет проектировать и исследовать объемно-пространственные архитектурные композиции в реальном времени при помощи системы виртуальной реальности. В программе есть возможность выбора и редактирования расположения трехмерных элементов и источников освещения. Это позволяет проводить изучение основных видов и закономерностей гармонизации трехмерной архитектурной объемно-пространственной композиции.

Преыдушие исследования показали многие методы интеграции виртуальной реальности с BIM для разных целей, например дизайна внутреннего освещения [17], проектирования с учетом доступа в здание для маломобильных групп населения [18]. Однако всех их объединяет отсутствие методов для полной интеграции этих систем. В частности, нет метода осуществления передачи данных из системы VR в программное обеспечение BIM.

В связи с выявленной проблемой предыдущих исследований целью данной научной работы является улучшение интеграции технологий VR и BIM путем осуществления автоматической передачи данных из программы виртуальной реальности в исходную информационную модель.

В качестве программного обеспечения для информационного моделирования в строительстве будет использоваться Autodesk Revit – программный комплекс для автоматизированного проектирования, реализующий принцип информационного моделирования зданий. Предназначен для архитекторов, конструкторов и инженеров-проектировщиков.

Revit является одной из самых распространенных программ в строительной отрасли, в связи с этим имеет множество дополнительных плагинов для совместной работы со вспомогательными программными средами, в том числе с программами для создания виртуальной среды.

Кроме того, программа предоставляется бесплатно для студентов на весь период обучения, что стало одним из критериев выбора ПО для научной работы.

Для создания и отображения виртуальной реальности необходимо специальное программное обеспечение. В целом разработка приложений виртуальной реальности во многом схожа с разработкой видеоигр, поскольку они представляют собой интерактивную среду [19]. Подходящим программным обеспечением для создания 3D-миров в VR являются так называемые игровые движки (game engine). Игровые движки – это комплекс прикладных программ, которые составляют основу для разработки игр, обеспечивают графическую визуализацию, звуковое сопровождение, перемещение внутриигровых персонажей, соблюдение физических эффектов и законов и многое другое.

В зависимости от технических требований будущей игры существуют разные игровые движки: Unity, Unreal Engine, CryEngine, Amazon Lumberyard и др. У каждого игрового

движка есть свои сильные и слабые стороны в отношении языка программирования, физики, функциональной совместимости [20].

Для создания программного модуля будет исписываться один из самых популярных Unreal Engine 4 (UE). Его разработка началась в 1998 г., и с тех пор он постоянно модернизируется, дополняется и совершенствуется. Движок является кроссплатформенным, проекты, созданные с его помощью, могут быть импортированы на все актуальные игровые платформы. Также UE имеет большое сообщество разработчиков с множеством уроков и магазин ассетов, ускоряющих разработку проекта.

UE имеет встроенную систему визуального программирования Blueprints, которая существенно понижает порог входа в процесс разработки. Основой написания кода для работы в движке является C++, который отлично реализуется с помощью Blueprints.

Для тестирования программного модуля будет использовано оборудование для виртуальной реальности Oculus Quest 2. Данная модель является автономной, для работы в программе Unreal Engine необходимо беспроводное подключение к компьютеру. Гарнитура с шестью степенями свободы отслеживает движения головы и тела и в точности воспроизводит их в VR. Внешние датчики не требуются.

Чтобы обеспечить качественный опыт виртуальной реальности, компьютер, к которому подключается VR-гарнитура, должен отвечать минимальным техническим требованиям, установленным производителем гарнитуры. В зависимости от гарнитуры VR-требования к компьютеру могут отличаться.

Основные требования относятся к центральному процессору (CPU) и видеокarte. Для оборудования Oculus Quest 2 необходим центральный процессор Intel i5-4590 / AMD Ryzen 5 1500X, видеокarta NVIDIA GeForce GTX 970 / AMD Radeon 400 Series, также другие аппаратные компоненты ПК, такие как оперативная память (для Oculus Quest 2 не менее 8 Гбайт), оперативная система (Windows 10) и тип хранилища (SSD).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе работы был создан проект на базе информационной модели, выполненной в программном комплексе Autodesk Revit и импортированной в игровой движок Unreal Engine 4 для создания интерактивной виртуальной среды.

В Revit исходная информационная модель создается и конвертируется в формат для за-

грузки в игровой движок UE. В UE на основе импортируемой информационной модели создается VR-проект, позволяющий пользователю в виртуальной реальности изменять положение объектов в модели. После завершения сеанса виртуальной реальности запускается плагин, который считывает изменение координат в модели и формирует файл с данными. В Duplicato запускается скрипт, который считывает файл с данными и применяет изменение положения к объектам в исходной информационной модели. На рисунке 1 приведена общая схема процесса.

Основные этапы процесса:

1. *Создание информационной модели.* Исходная информационная модель представляет собой комнату с предварительно размещенной мебелью. Модель разрабатывается в программном комплексе Autodesk Revit в формате .rvt. После завершения построения модели её необходимо экспортировать в игровой движок UE4 для формирования виртуальной среды. Программа UE4 не поддерживает формат .rvt, поэтому модель из Revit необходимо экспортировать в формат .udatasmith.

2. *Экспорт модели.* Для этой задачи существует специальный плагин Datasmith, который устанавливается в Revit и дает возможность экспортировать модель. С помощью этого инструмента формируется новый файл, Datasmith File, отдельный от информационной модели. Формат содержит не только 3D-геометрию, но и параметры объектов, представляющие интерес на дальнейших этапах процесса передачи данных.

Время формирования файла зависит от размера и степени проработки информационной модели. Для тестирования программного модуля использовалась модель комнаты с небольшим количеством мебели. Общий размер файла .rvt составлял 27 Мбайт, экспорт в формат .udatasmith занял около 4 сек. Размер сформированного файла .udatasmith вместе с библиотекой текстур составлял 13,4 Мбайт.

Во время работы с более масштабными моделями время экспорта будет увеличиваться, однако перед экспортом есть возможность выбора элементов, которые необходимо выгрузить для дальнейшей работы. Настройка производится в программе Revit путем скрытия на 3D-виде элементов, которые не должны быть экспортированы. Таким образом, в файл udatasmith будет выгружено только то, что представляет интерес и отображается на 3D-виде, а не полностью вся модель.

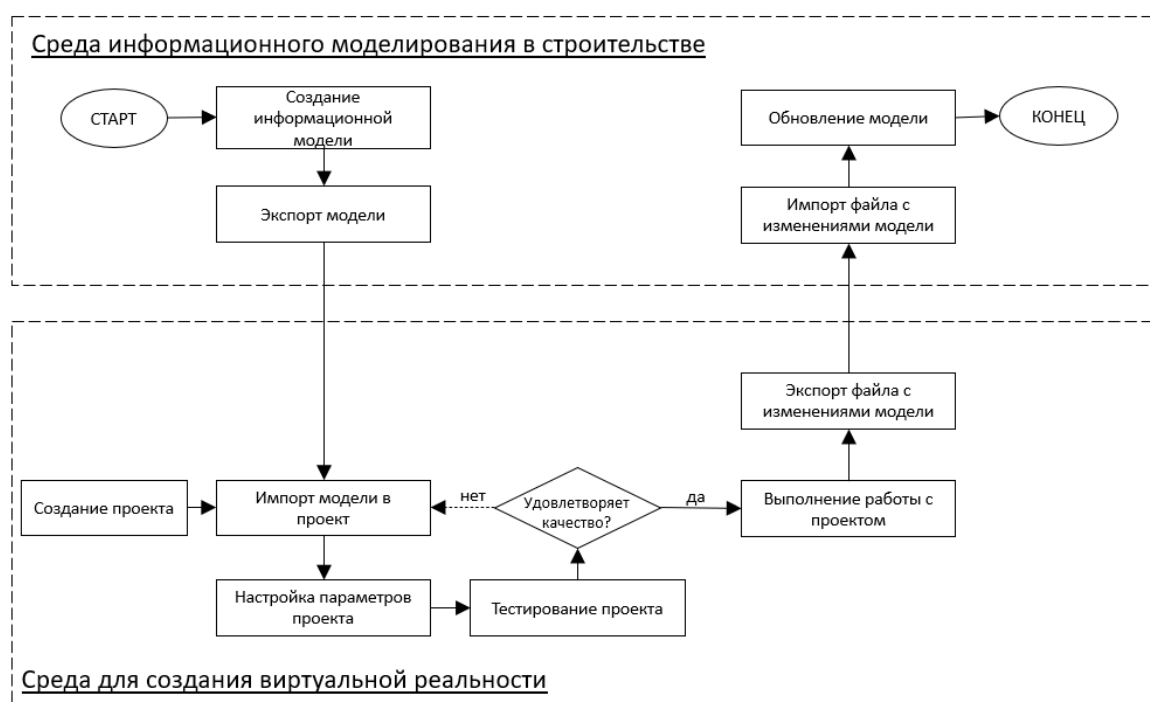


Рисунок 1 – Общая схема процесса передачи данных

Figure 1 – General diagram of the data transfer process

3. *Создание проекта для виртуальной реальности.* Проект создается в программе Unreal Engine 4 на основе стандартного шаблона.

4. *Импорт модели в проект.* Импорт модели формата .udatasmith в пустой проект осуществляется автоматически с помощью плагина Datasmith, установленного в игровом движке. Импорт файла размером 13,4 Мбайт занял около 10 сек.

5. *Настройка параметров проекта.* Подготовка проекта для работы виртуальной реальности заключается в настройке параметров источников света и материалов объектов, создании инструментов для перемещения пользователя в модели и возможности перемещения объектов. Для этого составляются программные модули в среде для визуального программирования Blueprint.

6. *Тестирование проекта.* Перед началом работ в модели необходимо протестировать сделанные ранее настройки параметров проекта.

7. *Выполнение работы с проектом.* Работа с проектом выполняется в программе Unreal Engine в специальном режиме сеанса виртуальной реальности. Пользователь с помощью гарнитуры VR передвигается по модели в реальном масштабе и перемещает объекты в модели, создавая в результате собственный проект.

8. *Экспорт файла с изменениями модели.* Для сохранения данных об изменении местоположения объектов модели используется плагин, разработанный в среде Blueprint (рисунок 2). При завершении сеанса виртуальной реальности в программе Unreal Engine плагин автоматически создает на компьютере файл с данными в формате текстового документа .txt. Файл содержит объекты JSON, представленные как пары: ключ / значение. Ключ – это ID (идентификатор) перемещенного объекта модели, присвоенный в Revit. Значение – это список, предоставляющий собой значения координат. Создание файла занимает доли секунды.

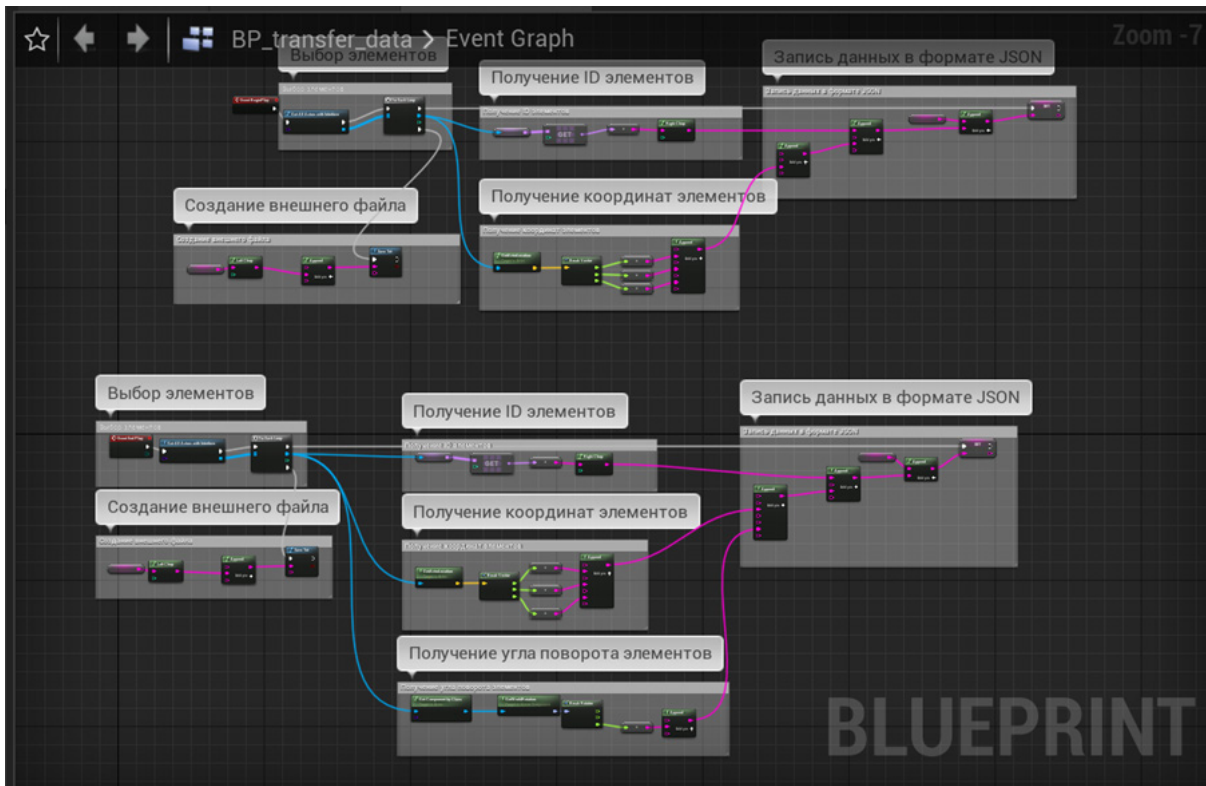


Рисунок 2 – Плагин в среде BluePrint

Figure 2 – Blueprint plugin

9. *Импорт файла с изменениями модели.* Импорт данных в исходную информационную модель осуществляется с помощью программного модуля в среде Dynamo (рисунок

3). Скрипт загружает файл с новыми координатами объектов, сравнивает с исходными координатами и вычисляет разницу.

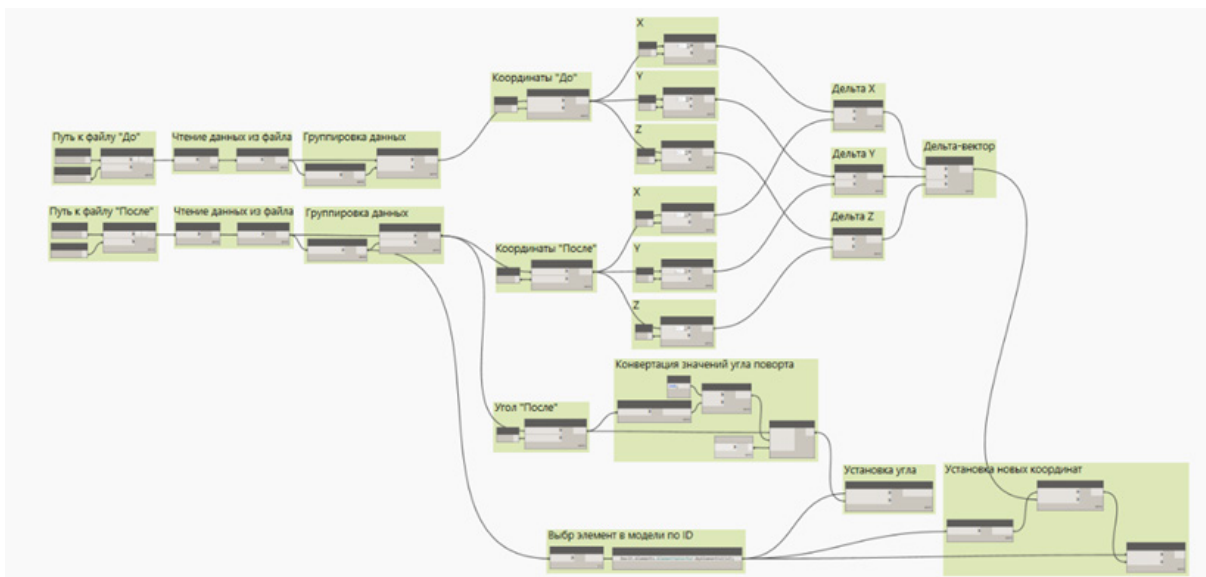


Рисунок 3 – Скрипт в среде Dynamo

Figure 3 – Dynamo script

10. *Обновление модели.* Обновление информационной модели выполняется автоматически с помощью скрипта в среде Дупато. Объекты модели перемещаются на вычисленную разницу координат. В тестовой модели размером 27 Мбайт время на обновление координат объектов составило менее 1 сек.

Описанный программный модуль находится на ранней стадии разработки. Однако, судя по исследованию, можно сделать вывод, что его использование для реализации интуитивного проектирования возможно. Программный модуль позволяет погружаться в виртуальный мир, чтобы эффективнее создавать эскиз будущего проекта. Кроме того, реализована автоматическая передача данных из игрового движка в программу для информационного моделирования.

Использование игрового движка, такого как Unreal Engine, предоставляет большое количество возможностей для доработки и улучшения программного модуля.

В качестве перспективы развития научной работы намечены следующие идеи:

1. Создать приложение на основе программного модуля для работы с моделью без запуска игрового движка.

2. Реализовать простой и понятный пользовательский интерфейс.

4. Изучить, как виртуальная реальность может быть интегрирована с другим программным обеспечением BIM.

Одним из аспектов применения технологии виртуальной реальности в строительстве является возможность интуитивного проектирования.

Эффект присутствия внутри виртуального пространства будущего здания облегчает задачу по созданию эскиза интерьера. В виртуальной реальности можно не только осматривать модель, но и оперировать с ее объектами. Это дает возможность расставить мебель и оборудование, находясь в модели помещения в реальном масштабе и исходя из удобства пользования будущим пространством. Более того, с задачей создания предварительного эскиза помещения в виртуальном пространстве может справиться любой пользователь без специальной подготовки основываясь только на своих ощущениях. В этом заключается идея интуитивного проектирования с помощью виртуальной реальности.

Результатом интуитивного проектирования является эскиз будущего проекта, созданный при непосредственном участии заказчика, что снижает вероятность неприятия окончательного результата [5].

Созданный эскиз передается специалистам для его доработки до проектной и рабочей документации в программах для информационного моделирования.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам анализа теоретической основы и существующего практического применения интеграции VR и BIM было определено, что технологии хорошо дополняют друг друга. Виртуальная реальность может применяться для различных целей в строительной отрасли, но существуют проблемы в передаче данных между системами, что не позволяет в полной мере интегрировать VR в метод BIM.

В ходе работы сформулирована идея нового применения VR в строительстве – интуитивное проектирование в виртуальной среде. Эффект реального масштаба в виртуальном пространстве проектируемого объекта значительно облегчает задачу создания эскиза интерьера жилого помещения. Интуитивное проектирование может освоить любой пользователь без специальной подготовки основываясь только на своих ощущениях и расставляя объекты интерьера в виртуальной среде по своему удобству.

Таким образом, VR в строительстве можно использовать не только для визуализации объектов, но и как дополнительный инструмент для проектирования.

С целью сохранения принципа информационного моделирования об актуальности и автоматизации внесения изменений был разработан программный модуль для автоматической передачи данных из программы Unreal Engine 4 в исходную информационную модель в программе Autodesk Revit. Так реализована полноценная интеграция технологии виртуальной реальности в метод информационного моделирования.

Программный модуль находится на этапе ранней разработки, тем не менее имеет перспективы для развития в полноценное приложение, доступное для любых пользователей. В работе приведены основные направления для продолжения разработки приложения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисова Л.А., Абидов М.Х. Проблемы цифровизации строительной отрасли // УЭПС. 2019. №3. С. 53–58.

2. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информацию моделирования зданий [Текст] / Талапов В.В. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.: ил.

3. Серебренникова Т.А., Раевский А.А. Феномен информационного пространства в архитектуре в эпоху процессов глобализации // Вестник ТГАСУ. 2017. №1 (60).

4. Eastman C., Teicholz P. Sacks R., Lee G. BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, 2018. 506 p.

5. Марк Фармер. Модель организации труда в строительной отрасли Великобритании: обзор Фармера [Текст] / Марк Фармер. – Construction Leadership Council, CLC, 2016. – 76 с.

6. Brooks F.P. What's Real About Virtual Reality? University of North Carolina at Chapel Hill. 1999, pp. 16-27.

7. Figueres-Munoz A., Merschbrock C. Overcoming challenges in BIM and gaming integration: The case of a hospital project. WIT Transactions on The Built Environment. 2015, pp. 329-340.

8. Цифровизация строительной отрасли // Strategy Partners. – 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ict-online.ru/news/n168088/>.

9. Дегай Е. Исследование: Применение технологий дополненной и виртуальной реальности [AR|VR] на промышленных предприятиях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://4industry.ru/ar-vr-research> (дата обращения: 13.12.19).

10. Сапрыкина Н.А., Сапрыкин И.А. «Безбумажная» архитектура в контексте виртуальной реальности // Architecture and Modern Information Technologies. – 2012. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://marhi.ru/AMIT/2012/special_12/saprykina/abstract.php (дата обращения: 05.05.2021).

11. Вигер И.Н. Роль и значение технологий VR в BIM-подходе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.remmag.ru/journal/?journal=68> (дата обращения: 06.12.19).

12. Юхвид А.В. Компьютерные виртуальные технологии в современной науке // Научно-исследовательские исследования. 2014. С. 155–177.

13. Kirn F. Building Information Modeling and Virtual Reality: Editing of IFC Elements in Virtual Reality. [Online]. URL: https://publications.cms.bgu.tum.de/theses/2018_Kirn_Braun.pdf (reference date: 01.05.2021)

14. Natephra, W., Motamedi, A., Fukuda, T., Yabuki, N. Integrating building information modeling and virtual reality development engines for building indoor lighting design. Visualization in Engineering. 2017, no 5(19), pp. 84-91.

15. Hilfert, T., König, M. Low-cost virtual reality environment for engineering and construction. Visualization in Engineering. 2016.

16. Чистяков А.В. Программный модуль виртуального прототипирования архитектурной среды // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. №3(48). С. 225–235.

17. Wisén A. Integrating IFC Models and Virtual Reality for Indoor Lighting Design. [Online]. URL: <http://kth.divaportal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1335535&dswid=8621> (reference date: 03.04.2021).

18. Wu W. Design for aging with BIM and game engine integration design for aging with building information modeling and game. [Online] URL: https://www.researchgate.net/publication/283126859_Design_for_aging_with_bim_and_game_engine_integration (reference date: 03.04.2021).

19. Bille R., Smith S., Maund K., Brewer G. Extending building information models into game engines. Association for Computing Machinery. 2014, pp. 1-8.

20. Усков М.А. Обзор преимуществ и недостатков игровых движков. Обоснование выбора инструментов и технологий разработки клиентской части игровых приложений // Глобус: технические науки. 2020. №5 (36). С. 6–10.

REFERENCES

1. Borisova L. A., Abidov M. H. *Problemy cifrovizacii stroitel'noj otrasli* [Problems of digitalization of the construction industry]. *UJePS: upravlenie, jekonomika, politika, sociologija*. 2019, 3: 53-58. doi:10.24411/2412-2025-2019-00041

2. Talapov V.V. *Osnovy BIM: vvedenie v informacii modelirovaniya zdaniy* [BIM Fundamentals: An Introduction to Building Modeling Information] 2011. DMK Press. 392 p.

3. Serebrennikova T.A., Raevskij A.A. *Fenomen informacionnogo prostranstva v arhitekture v jepohu processov globalizacii* [The phenomenon of information space in architecture in the era of globalization processes] *Vestnik TGASU*. 2017, 1 (60): 71-81.

4. Eastman C., Teicholz P. Sacks R., Lee G. BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, 2018. 506 p.

5. Farmer M. *Model' organizacii truda v stroitel'noj otrasli Velikobritanii: obzor Farmera* [The UK Construction Workforce: A Farmer Review] Construction Leadership Council. 2016. 76 p.

6. Brooks F.P. What's Real About Virtual Reality? University of North Carolina at Chapel Hill. 1999, 16-27.

7. Figueres-Munoz A., Merschbrock C. Overcoming challenges in BIM and gaming integration: The case of a hospital project. WIT Transactions on The Built Environment. 2015: 329-340.

8. Strategy Partners. *Cifrovizacija stroitel'noj otrasli* [Digitalization of the construction industry] [Online]. URL: <https://ict-online.ru/news/n168088/> (reference date: 06.12.19)

9. Degaj E. *Primenenie tehnologij dopolnenoj i virtual'noj real'nosti na promyshlennyh predpriyatijah* [Application of augmented and virtual reality technologies in industrial enterprises] [Online]. URL: <http://4industry.ru/ar-vr-research> (reference date: 13.12.19).

10. Saprykina N., Saprykin I. *"Paperless" architecture in the context of virtual reality*. [Online]. URL: https://marhi.ru/AMIT/2012/special_12/saprykina/abstract.php (reference date: 05.05.2021)

11. Viger I.N. *Rol' i znachenie tehnologij VR v BIM-podhode* [The role and significance of VR Technologies in the BIM Approach] [Online]. URL: <http://www.remmag.ru/journal/?journal=68> (reference date: 06.12.19).

12. Yukhvid A.V. *Komp'yuternye virtual'nye tehnologii v sovremennoj nauke* [Computer virtual technologies in modern science] *Naukovedcheskie issledovaniya*. 2014, 155-177.

13. Kirn F. Building Information Modeling and Virtual Reality: Editing of IFC Elements in Virtual Reality. [Online]. URL: https://publications.cms.bgu.tum.de/theses/2018_Kirn_Braun.pdf (reference date: 01.05.2021)

14. Natephra, W., Motamedi, A., Fukuda, T., Yabuki, N. Integrating building information modeling and virtual reality development engines for building indoor lighting design. *Visualization in Engineering*. 2017, 5(19): 84-91.

15. Hilfert, T., König, M. Low-cost virtual reality environment for engineering and construction. *Visualization in Engineering*. 2016.

16. Chistjakov A. V. Programmnyj modul' virtual'nogo prototipirovaniya arhitekturnoj sredy [Software module for virtual prototyping of the architectural environment] *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019. 3(48): 225-235.

17. Wisén A. Integrating IFC Models and Virtual Reality for Indoor Lighting Design. [Online]. URL: <http://kth.divaportal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1335535&dsid=8621> (reference date: 03.04.2021).

18. Wu W. Design for aging with BIM and game engine integration design for aging with building information modeling and game. [Online] URL: https://www.researchgate.net/publication/283126859_Design_for_aging_with_bim_and_game_engine_integration (reference date: 03.04.2021).

19. Bille R., Smith S., Maund K., Brewer G. Extending building information models into game engines. *Association for Computing Machinery*. 2014, pp. 1-8.

20. Uskov M. A. *Obzor preimushhestv i nedostatkov igrovyh dvizhkov. obosnovanie vybora instrumentov i tehnologij razrabotki klientskoj chasti igrovyh prilozhenij* [An overview of the advantages and disadvantages of game engines. substantiation of the choice of tools and technologies for the development of the client side of game applications] *Globus: tehnicheckie nauki*. 2020, 5 (36): 6-10.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Козленко Т.А. Автор статьи.

Придвизжин С.В. Формулировка направления исследования, постановка цели и задачи исследований.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Tatiana A. Kozlenko. The author of the article.

Stanislav V. Pridvzhkin. Formulation of the direction of research, setting the goals and objectives of research.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Козленко Татьяна Андреевна – магистрант ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», ORCID 0000-0002-0089-0942 (620002, Уральский федеральный округ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Мира, 19) , e-mail: tatiana_kozlenko@mail.ru

Придвизжин Станислав Викторович – канд. физ.-мат. наук, д-р экон. наук, проф., заведующий кафедрой ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина» ORCID 0000-0003-4350-7779 (620002, Уральский федеральный округ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Мира, 19) , e-mail: dep_bim_urfu@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tatiana A. Kozlenko, Undergraduate student, First President of Russia B. N. Yeltsin Ural Federal University ORCID 0000-0002-0089-0942, +79126291060, e-mail: tatiana_kozlenko@mail.ru

Stanislav V. Pridvzhkin, Cand. of Sci., Dr. of Sci., Professor, Head of the Department, First President of Russia B. N. Yeltsin Ural Federal University, ORCID 0000-0003-4350-7779, e-mail: dep_bim_urfu@mail.ru