

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ

УДК 721:004.9

А.В. Чистяков

*Южно-Уральский государственный университет
(научный исследовательский университет), Челябинск, Россия*

Аннотация

Рассмотрена актуальная проблема архитектурного проектирования, связанная с прототипированием и её решением путём привлечения технологии виртуальной реальности. Раскрыты преимущества архитектурного прототипирования, влияние фактора анализа и оценки объекта на начальной стадии проектирования. Выявлено отсутствие современных отечественных аналогов программных средств виртуального прототипирования архитектурной среды. Отмечены функциональные особенности систем виртуального прототипирования, разработанных на основе иммерсивных систем виртуальной реальности. Предложена теоретическая модель формирования систем виртуального прототипирования. Впервые разработан и внедрен отечественный программный модуль виртуального прототипирования архитектурной среды.¹

Ключевые слова: архитектурное проектирование, информационные технологии, виртуальное прототипирование, трехмерное моделирование, архитектурный образ

SOFTWARE MODULE FOR VIRTUAL PROTOTYPING OF THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT

A. Chistyakov

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

Abstract

The actual problem of architectural design related to prototyping and its solution by involving virtual reality technology is considered. The advantages of architectural prototyping, the influence of the factor of analysis and evaluation of the object at the initial stage of design are disclosed. The absence of modern domestic analogues of architectural environment virtual prototyping software has been revealed. Functional features of virtual prototyping systems developed on the basis of immersive virtual reality systems are noted. A theoretical model of the formation of virtual prototyping systems is proposed. For the first time, a domestic software module for virtual prototyping of the architectural environment was developed and implemented.²

Keywords: architectural design, information technologies, virtual prototyping, three-dimensional modeling, architectural appearance

¹ **Для цитирования:** Чистяков А.В. Программный модуль виртуального прототипирования архитектурной среды // Architecture and Modern Information Technologies. – 2019. – №3(48). – С. 225-235 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://marhi.ru/AMIT/2019/3kvart19/PDF/18_chistjakov.pdf

² **For citation:** Chistyakov A. Software Module for Virtual Prototyping of the Architectural Environment. Architecture and Modern Information Technologies, 2019, no. 3(48), pp. 225-235. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2019/3kvart19/PDF/18_chistjakov.pdf

Согласно «Стратегии инновационного развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года» по федеральному закону от 28.06.2014г. № 172 - ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации», по направлениям сферы деятельности в научно-техническом совершенствовании архитектурно-строительного комплекса выделены следующие задачи: создание благоприятного и безопасного пространства жизнедеятельности на базе повышения эффективности научно-технического стремления и инновационной деятельности в области градостроительства, архитектуры, и жилищно-коммунального обеспечения; создание комплекса информационно-технологического обеспечения и технологических решений, обеспечивающих рабочий процесс и предиктивное развитие архитектурно-строительной деятельности; создание и повышение эффективности методов архитектурного и градостроительного проектирования элементов жизнедеятельности.

Целью научного исследования является разработка цифровых средств виртуального прототипирования архитектурной среды на основе анализа применения современных информационных технологий и методов компьютерного трехмерного моделирования, используемых в проектировании архитектурного пространства.

Архитектор осуществляет контроль за процессом проектирования на всех его стадиях [1] от архитектурной идеи до ее реализации, включая предпроектный анализ, архитектурную концепцию, эскизный проект-прототип, проект с рабочей документацией и авторский надзор. Классическая стадийность проектирования сопровождается применением инновационных методов и технологий проектирования [11]. В настоящее время активное развитие технологий информационного моделирования зданий и систем виртуальной реальности предоставляет возможность совместить между собой стадии эскизного (поиск архитектурного образа) и рабочего проектирования (комплект рабочей документации) в виртуальном пространстве [2] за счёт создания трехмерного цифрового прототипа, позволяющего осуществлять взаимосвязанный анализ, редактирование и наглядную демонстрацию объекта на любом этапе жизненного цикла архитектурного произведения [13].

Виртуальный прототип проектируемого архитектурного объекта (трехмерная модель) позволяет оценить его объемно-пространственные и художественные характеристики и создается, в первую очередь, для исследования модели предлагаемого архитектурного решения до стадий разработки рабочей документации, для сведения к минимуму возможных неточностей и ошибок. Этап прототипирования предполагает анализ и возможное изменение элементов системы, переосмысление структуры проектируемого объекта и выбор оптимального конечного варианта архитектурного облика, учитывая экспертную оценку архитекторов, а также оценочные факторы заказчика. При этом важно отметить, что некомпетентное мнение заказчика не должно коренным образом влиять на процесс воплощения архитектурной идеи, а должно учитываться лишь для принятия компромиссного решения. Однако в реальной практике данная проблема актуальна и может быть связана, с одной стороны, с некомпетентностью архитектора, спецификой общения с заказчиком, недостаточным опытом представления и защиты архитектурного замысла, а с другой стороны – с социальным положением и экономическим влиянием заказчика и другими социально-экономическими или психоэмоциональными факторами.

Проблема непринятия заказчиком окончательного продукта или искажения архитектурного облика, задуманного на этапе прототипирования, в процессе его реализации существует достаточно давно. В процессе проектирования под влиянием заказчика или за счет внедрения сторонних архитектурных концепций возникали ошибки на стадии реализации проекта, а сроки строительства увеличивались. Одним из таких примеров является проект архитектурного ансамбля императорской усадьбы в Царицыно архитектора Василия Баженова. На этапе разработки проекта, предложенные архитектором планировочные решения и натурный макет, изначально были одобрены Екатериной II, но все дальнейшие аспекты проектирования обсуждались посредством переписки. За десять лет строительства императрица не посещала строящийся дворец и

только после непосредственного осмотра спроектированных пространств, приняла решение о перестройке дворца, а дальнейшая разработка проекта была поручена архитектору Матвею Казакову, что впоследствии привело к изменению архитектурного облика всего дворцового комплекса.

Еще одним показательным примером является история становления Исаакиевского собора. От первоначального варианта церкви, утвержденного Петром I в 1710 году, объект подвергся множеству перестроек под руководством различных архитекторов того времени. Из-за неудачных проектных реализаций и последующей осадки грунта храму требовались значительные изменения и полная перестройка. В 1816 году проект был передан молодому архитектору Огюсту Монферрану, который в течение девяти лет занимался защитой различных вариантов проектных решений, учитывая критику известных архитекторов, инженеров, скульпторов и художников. Лишь в 1825 году, после реорганизации комиссии по строительству, новое проектное решение Огюста Монферрана было окончательно утверждено. Строительство собора полностью завершилось только в 1864 году. Вероятно, если бы в это время были развиты информационные технологии, проблем при проектировании можно было избежать и завершить проект в кратчайшие сроки.

На основе приведенных примеров можно сделать следующие выводы. Во-первых, первоначальное утверждение проекта по эскизам, чертежам и натурным макетам не всегда является итоговым решением. Архитектурный облик раскрывается главным образом лишь тогда, когда человек анализирует пространство, непосредственно находясь в нем в реальном масштабе и в реальном времени. Во-вторых, при недостаточном предпроектном анализе по каким-либо причинам архитектурный облик может подвергаться изменениям. Проектному решению могут потребоваться значительные правки, либо полная переработка концепции. В-третьих, идея автора-архитектора постепенно теряет первоначальный образ и может полностью трансформироваться под влиянием как компетентных, так и некомпетентных мнений. При недостаточной степени представления и защиты проектного решения, а также отсутствии авторского надзора, архитектурный облик полностью утрачивает свой исходный замысел и индивидуальность.

С развитием современных информационных технологий и их внедрением в архитектурно-строительную отрасль, постепенно становится возможным сведение к минимуму осложнений, возникающих на этапе реализации проектных решений благодаря возможности вести некоторые рабочие этапы не последовательно, а параллельно. Это сокращает сроки проектирования, а также повышает эффективность реализуемых проектных решений за счет использования систем виртуального прототипирования для интерактивной демонстрации [3] архитектурной трехмерной модели в реальном масштабе и в реальном времени [5].

В ходе исследования современных иммерсивных систем виртуального прототипирования архитектурной среды нами выявлено, что реализованные отечественные аналоги таких систем отсутствуют [10, 14]. В результате изучения единого реестра российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных³ выявлено, что в существующих отечественных разработках, имеющих отношение к архитектурному проектированию, не реализованы функциональные возможности использования систем иммерсивной виртуальной реальности, однако используются особенности многоэкранных проекционных систем. Например, ведущий российский системный интегратор в области виртуальной реальности и профессиональных технологий 3D-визуализации ООО «VE Group»⁴ занимается дистрибуцией зарубежного программного обеспечения, а

³ Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://reestr.minsvyaz.ru/reestr/>

⁴ Официальный сайт ООО «VE Group», раздел программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ve-group.ru/vr3d-oborudovanie/programmnoe-obespechenie/>

разработанный ими самими инструмент трехмерного виртуального прототипирования «VRConcept»⁵ предназначен только для создания трехмерной графики в реальном времени, с возможностью вывода изображения на многоэкранных проекционных системах различных конфигураций.

В целом, существующие аналоги иммерсивных систем прототипирования не имеют отношения к системе архитектурного образования и не предусматривают этап обучения с возможностью оценивания полученных знаний, что является необходимым для развития и дальнейшего эффективного внедрения систем виртуального прототипирования не только в проектной и исследовательской деятельности, но и в процессе архитектурного образования [12, 15]. В то же время в этом есть необходимость для обеспечения качества проектирования архитектурной среды [9] и предиктивного развития архитектурно-строительной отрасли [6].

В результате сравнительного анализа существующих программных систем виртуального прототипирования архитектурной среды, разработанных на основе иммерсивных систем виртуальной реальности, выделены значимые функциональные особенности, необходимые для реализации новой системы (табл. 1).

Таблица 1. Функциональные особенности систем виртуального прототипирования

Наименование программного обеспечения	Функции																	
	Добавление / удаление 3д-моделей	Библиотека моделей	Изменение материалов	Отображение размеров объектов	Создание меток и подписей	Масштабирование 3д-модели	Настройка параметров освещения	Создание снимков экрана	Создание видео демонстраций	Отображение слоёв	Сетевое взаимодействие	Встроенный редактор объектов	Загрузка панорам и видео 360	Работа с системами HMD	Визуализация ошибок 3д-модели	Поддержка данных ГИС	Синхронизация с CAD/CAM или BIM	Режим обучения и тестирования
ARCHISPACE	✓		✓	✓	✓	✓	✓							✓				
ARQVR	✓		✓				✓	✓	✓			✓		✓				
ENSCAPE	✓		✓				✓		✓			✓	✓	✓			✓	
EYECADVR	✓		✓				✓	✓	✓			✓	✓	✓				
FUSOR	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
INSITEVR					✓	✓					✓			✓				
IRIS PROSPECT				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓				
LUX WALKER	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
PANDORA ARCHITECT	✓							✓	✓					✓				
TRUVISION VR				✓			✓		✓					✓				
VCAD	✓										✓	✓	✓	✓			✓	

⁵ Свидетельство программы для ЭВМ «VR Concept» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2015616907&TypeFile=html

В основу новой системы виртуального прототипирования архитектурной среды положена теоретическая модель, которая содержит основные логические понятия и структурные элементы, теоретически прогнозируемые системообразующие связи [7]. Теоретическая модель не может охватить все множество объектов, относящихся к теме исследования, но включает основную часть научно значимых структурных элементов, необходимых в настоящий момент [8].

Во-первых, система виртуального прототипирования (СВП), вне зависимости от области применения, является программно-аппаратным комплексом и состоит из трех основных элементов: программной части (ПЧ), аппаратной части (АЧ) и методологической части (МЧ). Программная часть является совокупностью пользовательского и управляющего программного обеспечения, а также операционной системы, функциональные возможности которых определяют особенности виртуального взаимодействия с объектами исследования. Аппаратная часть представлена комплексом оборудования, в состав которого входят: шлем или очки виртуальной реальности с управляющими контроллерами; система отслеживания движений; рабочая станция (компьютер) и комплект коммуникационного оборудования. Методологическая часть должна содержать руководства и инструкции по эксплуатации программной и аппаратной частей системы виртуального прототипирования, научные публикации и книги по этой теме, а также описание примеров результатов ее применения. Кроме этого, после проектной разработки системы, необходимо предусмотреть в составе МЧ методические материалы по использованию всей системы в учебном и исследовательском процессах.

Во-вторых, на формирование каждой части основного ядра системы виртуального прототипирования архитектурной среды оказывают влияние внешние элементы, такие как пользователи (П), технологии (Т) и трехмерные модели – объекты исследования (О), являющиеся взаимосвязанными друг с другом, обладающие характерными возможностями и ограничениями. Пользователем системы, как и разработчиком, является человек с психологическими (ПСИ), физиологическими (ФИЗ) и интеллектуальными (ИНТ) особенностями. Развитие технологий оказывает влияние на совершенствование аппаратных и программных решений и обусловлено ресурсоемкостью (РЕС), автоматизацией (АВТ) и вычислительной мощностью (ВЫЧ) производственного оборудования. Объектами исследования служат трехмерные модели архитектурной среды, имеющие информационные (ИН), цифровые (ЦИ) и системные (СИ) особенности.

В-третьих, каждый внешний элемент участвует в значимых для формирования системы процессах (учебно-исследовательском (УИ), проектной деятельности (ПД), компьютерном моделировании (КМ)), и при этом сформирован соответствующей средой: социальной (СОЦ), техногенной (ТЕХ), архитектурной (АРХ), находящаяся в постоянном взаимодействии и взаимосвязи друг с другом. Социальная среда представляет собой совокупность материальных, экономических, общественных, политических и духовных условий существования, формирования и деятельности индивидов и общественных групп, которые, в свою очередь, создают и используют производные окружающей техногенной среды. Путем взаимодействия человека и технических средств, с целью наиболее эффективного и оптимального соответствия экономическим и социальным потребностям общества, сформирована техногенная среда, являющаяся важнейшей частью окружающей среды обитания человека, с которой происходит его постоянное взаимодействие. Поэтому необходимо учитывать и проводить анализ аспектов влияния техногенной среды обитания как источника факторов воздействия на входящие в нее объекты и человека, учитывая все взаимосвязи, возникающие между социальной, экологической и экономической составляющими жизни общества, что непосредственно связано с пространством архитектурной среды. При помощи архитектуры формируется материально-организованное пространство, необходимое для организации жизни и обеспечения деятельности согласно потребностям и эстетическим воззрениям людей, а также в соответствии с современными техническими возможностями. Кроме этого, как наука, архитектура направлена на создание и исследование новых методов и средств

проектирования, таких как системы виртуального прототипирования архитектурной среды.

В-четвертых, прогнозируемое использование новой созданной системы виртуального прототипирования архитектурной среды должно быть направлено на дальнейшее развитие значимых процессов: полной автоматизации в проектной деятельности (АП), создание полноценных цифровых двойников (ЦД) элементов архитектурной среды при компьютерном моделировании, доступное электронное образование (ЭО) в учебном и исследовательском процессах.

Таким образом, изобразив перечисленные структурные элементы и связи между ними, разработана теоретическая модель, которая отображает значимые аспекты формирования систем виртуального прототипирования архитектурной среды для данного исследования (рис. 1).

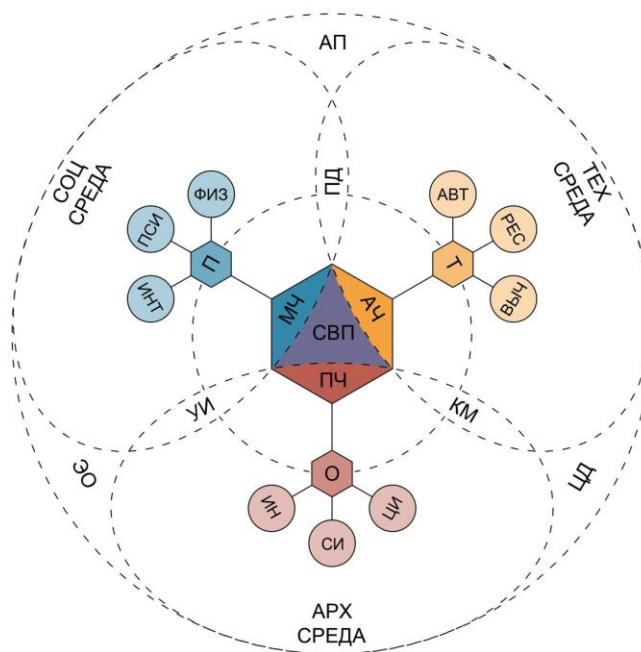


Рис. 1. Теоретическая модель формирования систем виртуального прототипирования архитектурной среды

На основе предложенной теоретической модели автором совместно с компанией ООО «Програмлаб» создан экспериментальный программно-аппаратный комплекс, включающий разработанные впервые отечественные цифровые средства программного модуля виртуального прототипирования архитектурной среды и аппаратную платформу на основе иммерсивной системы виртуальной реальности Mixed Reality. Специализированный программный модуль создан методом объектно-ориентированного программирования в открытой межплатформенной среде разработки интерактивных приложений Unity3D с применением современных методов трехмерного пространственного моделирования, возможностями демонстрации и интерактивного взаимодействия в реальном времени при помощи систем виртуальной реальности. Программный модуль виртуального прототипирования архитектурной среды содержит три различных функциональных блока (рис. 2), соответственно:

- интерактивное объемно-пространственное композиционное моделирование;
- интерактивная визуализация и анализ эргономики архитектурных объектов;
- комплексный градостроительный анализ виртуальной архитектурной среды.

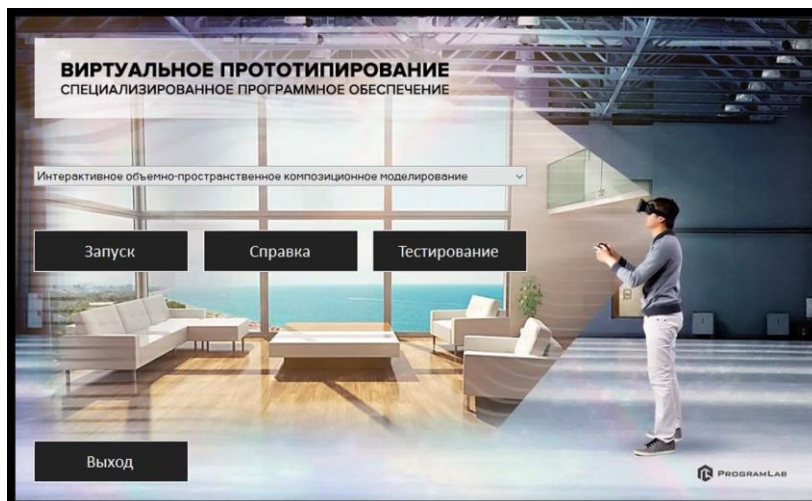


Рис. 2. Панель запуска программного модуля виртуального прототипирования

Программный блок интерактивного объемно-пространственного композиционного моделирования позволяет проводить проектирование и исследование объемно-пространственных архитектурных трехмерных композиций в реальном времени при помощи системы виртуальной реальности с возможностями выбора, редактирования и относительного расположения базовых трехмерных элементов и источников освещения (рис. 3). Это позволяет проводить изучение основных видов (фронтальная, объемная, пространственная) и закономерностей гармонизации (метр-ритм, равновесие, статика-динамика, симметрия-асимметрия, масштабность, пропорциональность, нюанс-контраст) трехмерной архитектурной объемно-пространственной композиции.

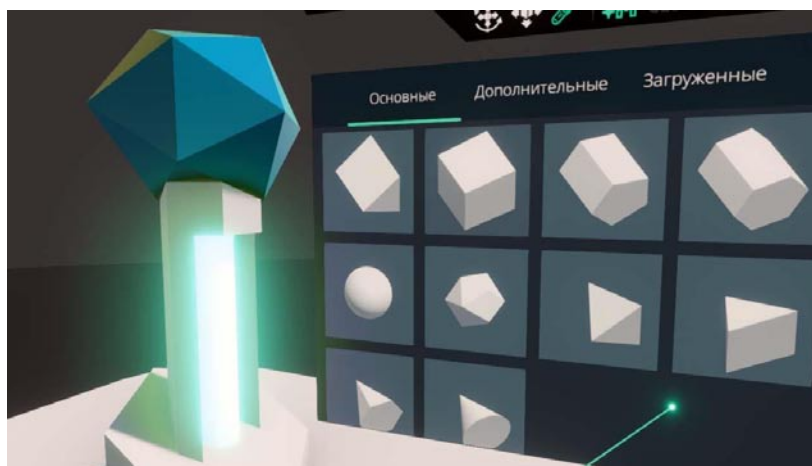


Рис. 3. Вид программного блока интерактивного объемно-пространственного композиционного моделирования

Программный блок интерактивной визуализации и анализа эргономики архитектурных объектов позволяет проводить исследование и визуализацию трехмерных моделей архитектурных объектов в реальном времени при помощи системы виртуальной реальности (рис. 4). В программном обеспечении реализована загрузка исследуемых трехмерных моделей, динамическое изменение визуальных характеристик их элементов и параметров окружающего пространства с возможностями создания виртуальных подписей и меток, измерения пространственных габаритов и редактирования положения.

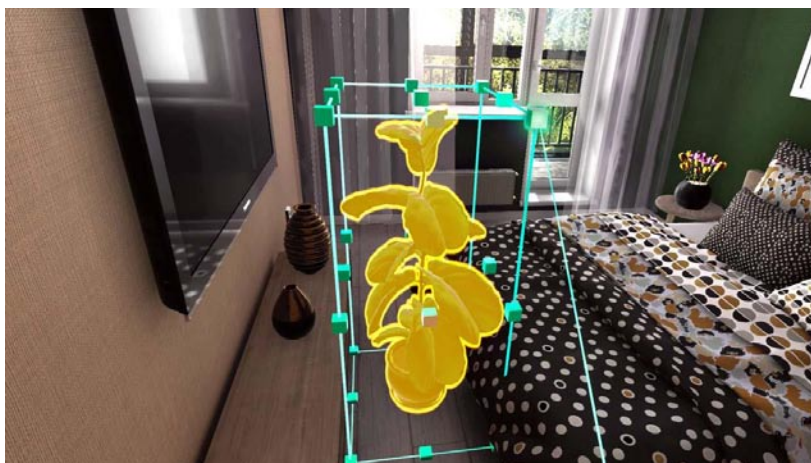


Рис. 4. Вид программного блока интерактивной визуализации и анализа эргономики архитектурных объектов

Программный блок комплексного градостроительного анализа виртуальной архитектурной среды позволяет проводить исследование базовых трехмерных моделей городского пространства в реальном времени при помощи системы виртуальной реальности (рис. 5). В программном обеспечении реализовано изучение особенностей градостроительного анализа с возможностями загрузки и дальнейшего выявления характеристик модели путем формирования трехмерных схем (природного каркаса, высотных доминант, планировочных ограничений, функционального зонирования, инсоляции, озеленения, пешеходно-транспортной системы).

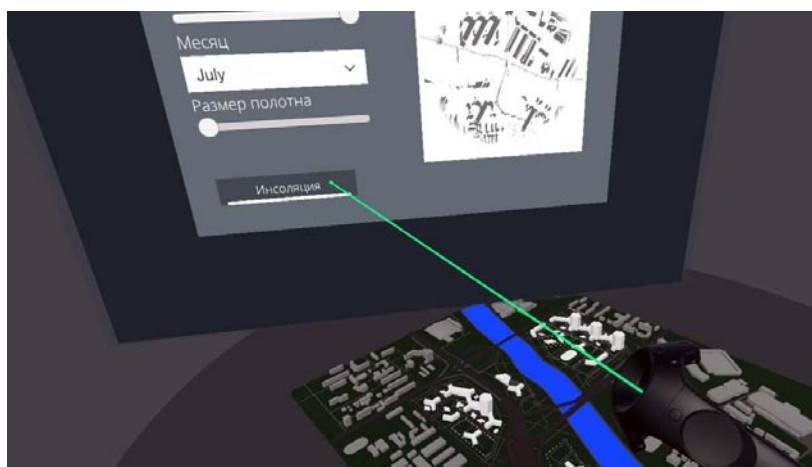


Рис. 5. Вид программного блока комплексного градостроительного анализа виртуальной архитектурной среды

В результате проведенной научно-исследовательской работы составлен перечень возможных рисков внедрения и существующих недостатков систем виртуального прототипирования архитектурной среды, представлены рекомендации для повышения общей эффективности внедрения систем виртуального прототипирования архитектурной среды и дальнейшей разработки методических материалов виртуального прототипирования [4].

Реализована возможность распространения и использования разработанной комплексной системы в образовательных учреждениях по направлениям архитектурного проектирования. Материалы научно-исследовательской работы внедрены в компании ООО «ПрограмЛаб», занимающейся производством и поставкой инновационного

учебного оборудования по различным направлениям подготовки, в том числе архитектурно-строительным направлениям, а также использованы автором при разработке трехмерной модели Экопоселения Челябинской области – приоритетного комплексного проекта кафедры архитектуры Южно-уральского государственного университета (НИУ).

Литература

1. Большаков А.Г. Теория архитектурного пространства и архитектурное образование // Журнал Архитектура и строительство России. – 2019. – №1. – С. 80-93.
2. Емельянова О.И. Виртуальная архитектура – новая модель цифрового формообразования / О.И. Емельянова, Т.В. Гавриленко // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2014. – №106. – С. 32-35.
3. Журкин А.А. Использование технологий визуализации и полисенсорного представления обучающего материала в интеллектуальных обучающих системах // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2013. – №3. – С. 6-28.
4. Иванова А.В. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – №3. – С. 88-107.
5. Иванова А.С. Приемы формирования виртуальной реальности в работах Виктора Вазарели по дизайну городской среды / А.С. Иванова, Д. Финк // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2018. – №4. – С. 218-133.
6. Иовлев В.И. Квазивиртуальное пространство в архитектуре // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2015. – №1. – С. 42-45.
7. Калашникова Л.В. Виртуализация реальности и процесс познания. Роль ментальных моделей в познавательной активности субъекта // Актуальные проблемы филологии и педагогической лингвистики. – 2017. – №1. – С. 15-21.
8. Огуречникова Д.С. Формы фиксации проектного мышления в обучении архитектурно-дизайнерской деятельности // Научная Идея. – 2017. – №1. – С. 96-102.
9. Сапрыкина Н.А. «Безбумажная» архитектура в контексте виртуальной реальности / Н.А. Сапрыкина, И.А. Сапрыкин // Architecture and Modern Information Technologies. – 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://marhi.ru/AMIT/2012/special_12/saprykina/abstract.php
10. Серебренникова Т.А. Системные алгоритмы архитектурного творчества: эволюционный феномен информационного пространства в архитектуре / Т.А. Серебрякова, А.А. Раевский // Сетевой научно-теоретический журнал «Архитектон: известия вузов». – 2015. – №52. – С. 51-66.
11. Чистяков А.В. Особенности компьютерного архитектурного проектирования с использованием систем виртуальной реальности // Научный поиск. Материалы десятой научной конференции аспирантов и докторантов. Министерство образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет. – 2018. – С. 20-27.

12. Яблочников С.Л. Применение компьютерных симуляторов и виртуальных лабораторий в реализации образовательных процессов вузов / С.Л. Яблочников, И.О. Яблочникова, М.С. Яблочникова // Сборник трудов. Современные технологии в науке и образовании. – 2018. – №9. – С. 56–61.
13. Akram R. Exploring the role of building information modeling in construction safety through science mapping / R. Akram, M.J. Thaheem, A.R. Nasir, T.H. Ali, S. Khan // Safety Science. – 2019. – Vol. 120. – pp. 456-470.
14. Jerald J. The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality // New York: Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool, 2015. – S. 638.
15. Yun Zhou. Promoting Knowledge Construction: A Model for Using Virtual Reality Interaction to Enhance Learning / Yun Zhou, Shangpeng Ji, Tao Xu, Zi Wang // Procedia Computer Science. – Vol. 130. – 2018. – S. 239-246.

References

1. Bolshakov A.G. *Teoriya arhitekturnogo prostranstva i arhitekturnoe obrazovanie* [Zhurnal Arhitektura i stroitel'stvo Rossii]. 2019, no. 1, pp. 80-93.
2. Emelyanova O.I. *Virtual'naya arhitektura – novaya model' cifrovogo formoobrazovaniya*. [Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury]. 2014, no. 106, pp. 32-35.
3. ZHurkin A.A. *Ispol'zovanie tekhnologij vizualizacii i polisensornogo predstavleniya obuchayushchego materiala v intellektual'nyh obuchayushchih sistemah* [Uchenye zapiski. Elektronnyj nauchnyj zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta]. 2013, no. 3, pp. 6-28.
4. Ivanova A.V. *Tekhnologii virtual'noj i dopolnennoj real'nosti: vozmozhnosti i prepyatstviya primeneniya* [Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment]. 2018, no. 3, pp. 88-107.
5. Ivanova A.S., Fink D. *Priemy formirovaniya virtual'noj real'nosti v rabotah Viktora Vazareli po dizajnu gorodskoj sredy* [Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost']. 2018, no. 4, pp. 218-133.
6. Iovlev V.I. *Kvazivirtual'noe prostranstvo v arhitekture* [Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN]. 2015, no. 1, pp. 42-45.
7. Kalashnikova L. V. *Virtualizaciya real'nosti i process poznaniya. Rol' mental'nyh modelej v poznavatel'noj aktivnosti sub"ekta* [Aktual'nye problemy filologii i pedagogicheskoy lingvistiki]. 2017, no. 1, pp. 15-21.
8. Ogurechnikova D.S. *Formy fiksacii proektnogo myshleniya v obuchenii arhitekturno-dizajnerskoj deyatel'nosti* [Nauchnaya Ideya]. 2017, no. 1, pp. 96-102.
9. Saprykina N.A., Saprykin I.A., "Paperless" Architecture in the Context of Virtual Reality. Architecture and Modern Information Technologies, 2012. Available at: https://marhi.ru/eng/AMIT/2012/special_12/saprykina/abstract.php
10. Serebrennikova T.A. *Sistemnye algoritmy arhitekturnogo tvorchestva: evolyucionnyj fenomen informacionnogo prostranstva v arhitekture* [Setevoy nauchno-teoreticheskij zhurnal «Arhitekton: izvestiya vuzov»]. 2015, no. 52, pp. 51-66.

11. Chistyakov A.V. *Osobennosti komp'yuternogo arhitekturnogo proektirovaniya s ispol'zovaniem sistem virtual'noj real'nosti* [Nauchnyj poisk. Materialy desyatoy nauchnoj konferencii aspirantov i doktorantov. Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii, YUzhno-Ural'skij gosudarstvennyj universitet]. Chelyabinsk, 2018, pp. 20-27.
12. Yablochnikov S.L., Yablochnikova I.O., Yablochnikova M.S. *Primenenie komp'yuternyh simulyatorov i virtual'nyh laboratorij v realizacii obrazovatel'nyh processov vuzov* [Sbornik trudov. Sovremennye tekhnologii v nauke i obrazovanii]. 2018, no. 9, pp. 56-61.
13. Akram R., Thaheem M.J., Nasir A.R., Ali T.H., Khan S. Exploring the role of building information modeling in construction safety through science mapping. Elsevier: Safety Science. Pakistan, 2019, vol. 120, pp. 456-470.
14. Jerald J. *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool. New York, 2015, 638 p.
15. Yun Zhou, Shangpeng Ji, Tao Xu, Zi Wang, Promoting Knowledge Construction: A Model for Using Virtual Reality Interaction to Enhance Learning. *Procedia Computer Science*. China, 2018, vol. 130, pp. 239-246.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Чистяков Андрей Викторович

Аспирант, кафедра «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет (научный исследовательский университет), Челябинск, Россия
e-mail: perfidem@list.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Chistyakov Andrey

Postgraduate Student, Chair «Architecture», South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia
e-mail: perfidem@list.ru