

Владимирский государственный университет

**ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ
ОБУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

Учебное пособие

Владимир 2026

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Учебное пособие

Электронное издание



Владимир 2026

ISBN 978-5-9984-2231-7

© ВлГУ, 2026

УДК 624.01:004.94

ББК 38.5+32.97

Авторы: Д. А. Чибрикин, К. М. Терентьев, Д. О. Мясников,
М. В. Тужилова, С. И. Абрахин

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
зав. кафедрой городского строительства и хозяйства
Донского государственного технического университета

С. Г. Шеина

Кандидат технических наук, доцент
зав. кафедрой автомобильных дорог
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

Г. В. Проваторова

Издается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Инновационные методы обучения с использованием виртуальной реальности [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Д. А. Чибрикин [и др.] ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2026. – 96 с. – ISBN 978-5-9984-2231-7. – Электрон. дан. (7,39 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Посвящено применению технологий виртуальной, дополненной и смешанной реальности в образовательном процессе, особое внимание уделено архитектурно-строительному проектированию. Рассмотрены теоретические основы иммерсивных технологий, их психолого-педагогические особенности, а также практические аспекты использования программных комплексов для визуализации и анализа архитектурных моделей.

Предназначено для студентов вузов направления подготовки 08.03.01, 08.04.01 «Строительство» всех форм обучения.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 4. Ил. 68. Библиогр.: 14 назв.

ISBN 978-5-9984-2231-7

© ВлГУ, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБУЧЕНИИ	6
1.1. Введение в технологии виртуальной реальности	6
1.1.1. Определение виртуальной, дополненной и смешанной реальности, их различия и области применения	6
1.1.2. История развития VR-технологий.....	9
1.1.3. Обзор оборудования для виртуальной реальности	12
1.1.3.1. Шлемы и очки.....	12
1.1.3.2. Контроллеры.....	14
1.1.3.3. Трекеры и датчики пространственного отслеживания	14
1.1.3.4. Виртуальные комнаты	15
1.1.3.5. Оптические AR-системы	15
1.2. Психолого-педагогические аспекты VR в обучении	16
1.2.1. Воздействие VR на когнитивные процессы и процессы усвоения информации	16
1.2.2. Психолого-педагогические преимущества иммерсивного подхода в обучении	18
1.2.3. Ограничения и потенциальные риски применения VR в обучении	19
1.3. Интеграция VR-технологий в архитектурно-строительном образовании	23
1.3.1. Особенности применения технологий виртуальной реальности при проектировании зданий и сооружений	23
1.3.2. Особенности внедрения VR в процесс изучения архитектурно-строительных дисциплин	26
1.3.3. Особенности внедрения VR в процесс изучения архитектурно-строительных дисциплин	27
<i>Вопросы для самопроверки</i>	29

Глава 2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ VR В ПРОЕКТИРОВАНИИ	30
2.1. Основы работы в VR-программах.....	30
2.2. Интерфейс и базовые функции.....	43
2.3. Техники оптимизации моделей для VR.....	45
2.4. Реальное применение VR в строительстве.....	52
<i>Вопросы для самопроверки</i>	64
Глава 3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ VR В ПРОЕКТИРОВАНИИ НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ RENGA И BLENDER	66
3.1. Подготовка инструментов и установка	66
3.2. Создание и экспорт 3D-модели из Renga	71
3.3. Импорт модели из Renga в Blender	73
3.4. Включение аддона в Blender и настройки VR	75
3.5. Проведение VR-сессии и приемка проектной модели в Blender	79
<i>Вопросы для самопроверки</i>	86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	87
СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК	88
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	89
ПРИЛОЖЕНИЕ	90

ВВЕДЕНИЕ

Современная система высшего образования находится на этапе глубокой цифровой трансформации, в которой ключевую роль играют технологии визуализации и моделирования. Виртуальная реальность и дополненная реальность становятся не просто вспомогательными средствами обучения, а полноценной образовательной средой, где студент может проектировать и анализировать создаваемое пространство еще до того, как оно появится в реальности.

В условиях стремительного развития инженерно-строительной отрасли и перехода к технологиям BIM-моделирования, цифровых двойников и умного строительства владение инструментами иммерсивных технологий становится неотъемлемой частью профессиональной подготовки будущих инженеров и архитекторов. Виртуальная реальность позволяет объединить точность инженерных расчетов с визуальной выразительностью архитектуры, формирует у обучающихся системное понимание связей между конструктивными, функциональными и эстетическими аспектами проектирования.

Использование технологий виртуальной реальности в учебном процессе открывает новые возможности для практико-ориентированного обучения. Студент не просто изучает проект – он может «пройтись» по помещению, оценить пропорции, свет, масштаб, удобство размещения элементов. Такой подход развивает пространственное мышление, инженерную интуицию и навыки критического анализа решений – качества, без которых невозможно стать современным проектировщиком.

Учебное пособие ориентировано на формирование компетенций в области цифрового проектирования и внедрения инновационных технологий обучения с использованием VR-инструментов. В издании представлены теоретические основы работы с виртуальной и дополненной реальностью, методические подходы к созданию и проверке архитектурно-строительных моделей, а также рекомендации по организации учебных VR-сценариев. Особое внимание уделено применению программных комплексов, позволяющих интегрировать технологии иммерсивного моделирования в образовательный процесс.

Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБУЧЕНИИ

1.1. Введение в технологии виртуальной реальности

1.1.1. Определение виртуальной, дополненной и смешанной реальности, их различия и области применения

Виртуальная реальность (VR) (рис. 1.1), дополненная реальность (AR) и смешанная реальность (MR) – технологии, изменяющие восприятие окружающего мира за счет стимуляции органов чувств и создания иллюзии альтернативной реальности. Воздействуя на зрение, слух и другие органы чувств, они формируют ощущение естественного присутствия в виртуальной среде. Поскольку основная часть информации (80 – 90 %) воспринимается через зрение, ключевая задача указанных технологий – формирование реалистичного изображения на сетчатке глаза, обеспечивающего правдоподобное визуальное восприятие [1].



Рис. 1.1. Пример использования VR

Виртуальная реальность полностью погружает пользователя в искусственно созданную среду, не связанную с физическим окружением. Этот виртуальный мир охватывает человека со всех сторон, поз-

воля свободно менять направление взгляда, поворачивать голову и перемещаться. Одной из основных проблем VR остается рассогласование между зрительным восприятием и сигналами от других органов чувств – например, при столкновении с реальной стеной, отсутствующей в виртуальном пространстве, или при иллюзии падения с виртуальной лестницы на ровной поверхности. Виртуальная реальность предполагает минимальное взаимодействие с физическим миром и ориентирована преимущественно на пассивное восприятие. Среди распространенных примеров использования VR – видео в формате 360°, создающее эффект присутствия внутри сцены, и компьютерные игры, в которых игрок действует в ограниченном виртуальном пространстве.

Смешанная реальность объединяет виртуальные и реальные объекты, создавая единое пространство, в котором цифровые элементы дополняют реальную среду. Это дает пользователю возможность свободно перемещаться, сохраняя ориентацию в пространстве и избегая столкновений с физическими объектами, такими как стены или лестницы. Смешанная реальность применяется, например, в виртуальном прототипировании – для расстановки мебели в интерьере, анализа архитектурных решений или проектирования ландшафтного дизайна, где создание физических макетов может быть затратным. Смешанная реальность обеспечивает более естественное взаимодействие между реальным и виртуальным, сохраняя ограничения физического мира (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Пример использования MR

Технология дополненной реальности расширяет восприятие реального мира путем интеграции цифровых визуальных элементов в окружающую среду. Такие системы могут функционировать автономно – например, в виде индикаторов на лобовом стекле автомобилей, самолетов и вертолетов, отображающих навигационные данные, либо использоваться как элементы интерфейса в VR и MR. Впервые AR появились в нагнетных дисплеях и проекционных системах для пилотов, предоставляющих информацию о полете без необходимости отвлекаться от обстановки. Современные AR-устройства, включая очки с датчиками (например, для считывания штрих-кодов), позволяют в реальном времени выводить сведения об объектах, например, о товарах на полках магазинов (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Пример использования AR

Главные различия между этими технологиями определяются степенью взаимодействия с реальностью: VR полностью заменяет реальную среду, MR интегрирует в нее виртуальные элементы, а AR лишь дополняет ее информацией. Каждая из этих технологий имеет собственные области применения: VR подходит для полного погружения в искусственные миры, MR – для проектирования и моделирования в реальном контексте, а AR – для оперативного получения информации и расширения восприятия окружающей среды.

1.1.2. История развития VR-технологий

История развития VR-технологий охватывает несколько ключевых этапов, связанных с совершенствованием аппаратного обеспечения, программных комплексов и методов создания виртуальных миров. Основу современных VR-систем составили принципы *стереоскопии*, разработка которых началась еще в XIX веке [2].

Одним из первых значимых достижений стало создание **стереоскопов** – устройств, позволявших наблюдать объемные изображения за счет показа двух слегка отличающихся картинок для левого и правого глаз (рис. 1.4). Такие приборы, использующие пары слайдов или фотографий одного объекта, снятых с разных точек, стали базой для формирования стереоизображений в современных VR-системах. В XX веке технологии шагнули вперед с появлением первых нашлемных дисплеев, применявшихся в авиации. Они выводили полетную информацию непосредственно в поле зрения пилота, позволяя последнему не отвлекаться на приборные панели.

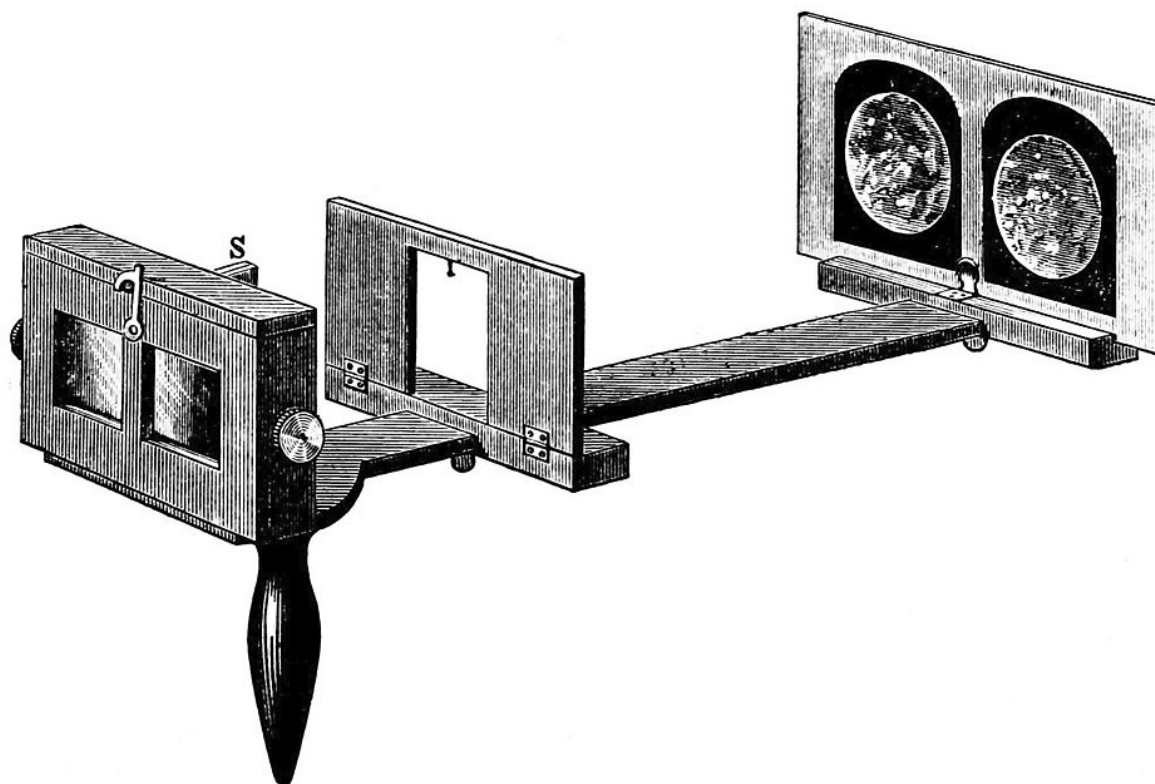


Рис. 1.4. Стереоскоп с возможностью регулировки обратной перспективы

Следующий важный этап связан с появлением носимых VR-устройств в конце XX – начале XXI века. Развитие микродисплеев сделало возможным создание VR-очков и VR-шлемов, пришедших на смену статическим слайдам стереоскопов (рис. 1.5). Эти устройства используют оптические системы (например, линзы), проецирующие изображение на определенное расстояние, обеспечивая комфортную аккомодацию глаза. Рост вычислительных мощностей позволил создавать более детализированные виртуальные миры, а интеграция датчиков движения (акселерометров и гироскопов) привела к возможности отслеживания положения головы и тела пользователя. Программное обеспечение, предсказывающее движения и устраняющее визуальные артефакты при поворотах и перемещениях, обеспечило повышение реалистичности и комфорта восприятия.

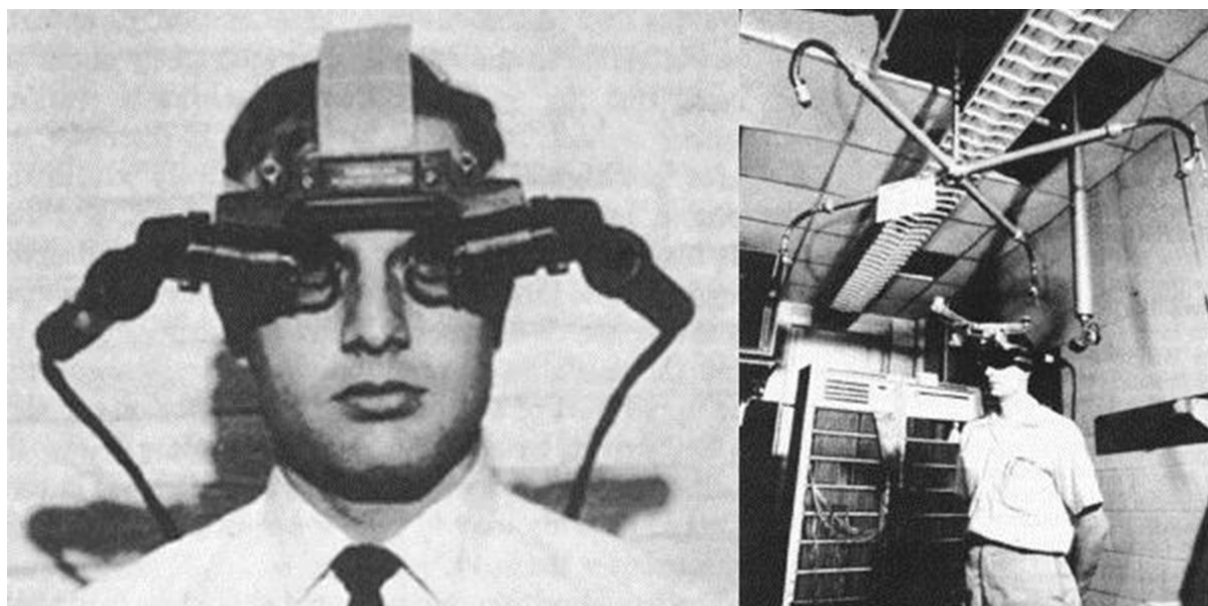


Рис. 1.5. Первые созданные VR-очки

Параллельно развивались AR-технологии и MR-технологии. AR-системы, такие как индикаторы на лобовых стеклах автомобилей, самолетов и вертолетов, начали применяться в коммерческой сфере уже в середине XX века. Эти решения позволяли отображать навигационные данные, не отвлекая пользователя от внешней среды. С появлением компактных устройств (AR-очков и т. п.) технологии стали доступнее и интегрировались с датчиками, позволяющими анализировать окружающее пространство (например, для распознавания штрих-кодов или объектов).

Смешанная реальность как отдельное направление получила развитие позже – с внедрением световодных и волноводных технологий. Они позволили точно совмещать виртуальные и реальные объекты, устраняя геометрические и оптические искажения. Существенным достижением стало создание систем, способных учитывать геометрию помещения и освещение, что обеспечивало более естественное восприятие виртуальных объектов в реальной среде.

Большое значение получило развитие *виртуальных комнат* – специализированных пространств со стереоэкранами, создающих эффект коллективного погружения (рис. 1.6). Эти системы, появившиеся в конце XX века, использовали мощные вычислительные компьютеры для генерации фотореалистичных изображений, однако из-за высокой стоимости и значительных требований к инфраструктуре их использование было ограничено.

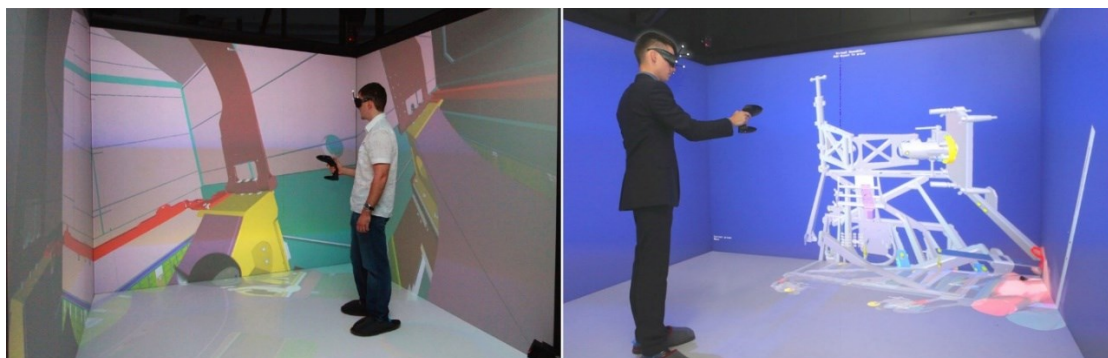


Рис. 1.6. Пример виртуальных комнат

Современный этап развития VR характеризуется совершенствованием оптики: например, переходом от архитектуры *bird bath* к волноводным системам, обеспечивающим более широкое поле зрения и улучшенную зону наблюдения (*eye box*). Также в настоящее время внедряются алгоритмы, определяющие геометрию сцены и параметры освещения в реальном времени, что позволяет устранить такие ошибки, как отсутствие отражений в зеркалах или искажение теней, и тем самым повышает реалистичность MR-среды.

Таким образом, ключевые этапы развития VR включают эволюцию от простейших стереоскопов к высокотехнологичным носимым устройствам, интеграцию сенсоров и интеллектуального ПО, а также формирование самостоятельных направлений AR и MR, расширяющих возможности взаимодействия с окружающим миром.

1.1.3. Обзор оборудования для виртуальной реальности

Оборудование для VR-, AR-, MR-технологий включает устройства, обеспечивающие погружение в виртуальную среду, взаимодействие с ней. Основные категории оборудования рассмотрены ниже.

1.1.3.1. Шлемы и очки

VR-шлемы и VR-очки формируют стереоскопическое изображение с помощью микродисплеев, передающих отдельные изображения для левого и правого глаз. Оптическая система, включающая линзы или линзы, проецирует изображение на определенное расстояние, обеспечивая аккомодацию глаза на виртуальные объекты. В основе принципа действия VR-шлемов и VR-очков лежит стереоскопия: два изображения, снятые с разных ракурсов, воспринимаются как единая объемная картинка. В современных устройствах статические изображения заменены микродисплеями высокого разрешения (рис. 1.7).



Рис. 1.7. VR-очки

Для создания эффекта «бесконечного расстояния» микродисплей размещается в фокусе оптической системы; при его смещении виртуальные объекты визуально приближаются. VR-устройства оснащаются датчиками отслеживания положения и ориентации головы, а также ПО,

предсказывающим движения пользователя и минимизирующим визуальные искажения при поворотах и перемещениях.

В отличие от VR-очков, AR-очки позволяют видеть окружающий мир через полупрозрачные элементы, накладывая на него цифровые объекты. Основные оптические параметры AR-устройств включают разрешение микродисплея, угловое разрешение оптики, поле зрения и размер eye box – зоны, в пределах которой глаз может перемещаться без искажений изображения. Как правило, AR-системы имеют меньшее поле зрения и меньший размер eye box по сравнению с VR-системами, что связано со сложностями совмещения виртуального и реального контента. Примером AR-устройств служат нашлемные индикаторы и очки, такие как Google Glass, использующие архитектуру bird bath, при которой изображение с микродисплея направляется в глаз через светопроводящую пластину и полупрозрачное зеркало. Однако подобная система отличается ограниченным качеством изображения и недостаточным уровнем комфорта при использовании (рис. 1.8).



Рис. 1.8. AR-очки

MR-устройства, такие как очки смешанной реальности, обеспечивают совмещение виртуальных объектов с реальным пространством. Они объединяют принципы VR и AR, требуя применения сложных алгоритмов геометрической и оптической синхронизации для естественного наложения цифрового контента.

1.1.3.2. Контроллеры

Контроллеры используются для взаимодействия с виртуальной средой: выбора объектов, управления действиями, перемещений. Они снабжены многоосевыми датчиками движения (акселерометрами и гироскопами), обеспечивающими точное отслеживание положения и ориентации рук пользователя. Контроллеры находят широкое применение в VR и MR, особенно в проектировании, обучающих симуляциях и игровых приложениях (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Контроллеры для взаимодействия с VR

1.1.3.3. Трекеры и датчики пространственного отслеживания

Для работы VR-, AR- и MR-систем необходимы устройства, определяющие положение головы, тела и взгляда пользователя в пространстве. Датчики движения, встроенные в шлемы и очки, отслеживают повороты и перемещения. Дополнительные датчики отслеживания лучей позволяют определить направление взгляда, что необходимо для правильной вергенции (сведения глаз на точку наблюдения) и аккомодации (фокусировки). Это повышает реалистичность восприятия глубины и объема. Программные алгоритмы прогнозируют следующее положение головы, сглаживая визуальные искажения при резких движениях.

В MR-системах датчики также анализируют геометрию физического пространства: выявляют стены, объекты, источники света, чтобы корректно размещать и освещать виртуальные элементы в соответствии с реальной обстановкой (рис. 1.10).

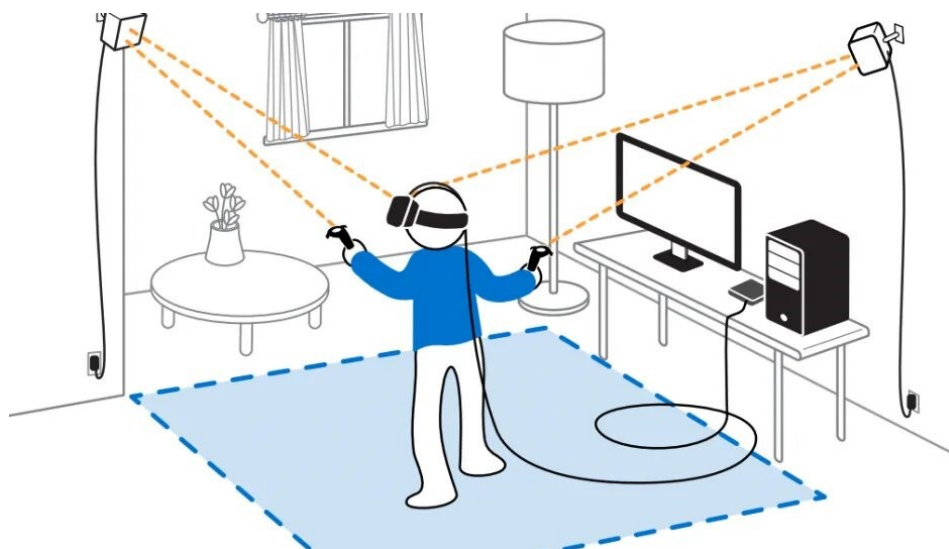


Рис. 1.10. Схема использования трекеров и датчиков пространственного отслеживания

1.1.3.4. Виртуальные комнаты

Виртуальные комнаты – это специальные помещения, оборудованные стереоскопическими экранами, формирующими замкнутое виртуальное пространство. Пользователь или группа пользователей находятся в центре такого пространства, что обеспечивает эффект полного погружения без необходимости использования носимых устройств. Преимущества подобных систем заключаются в отсутствии очков или шлемов, широком поле зрения и возможности использования мощных вычислительных ресурсов для построения реалистичных изображений. Однако их распространение ограничено высокой стоимостью, значительными требованиями к инфраструктуре и низкой мобильностью.

1.1.3.5. Оптические AR-системы

AR-устройства применяют различные архитектурные решения для совмещения реального и виртуального изображений.

В архитектуре типа *bird bath* изображение с микродисплея передается через светопроводящую пластину и полупрозрачное зеркало. Эта схема, применяемая, например, в устройстве Google Glass, отличается ограниченным полем зрения, малым *eye box* и искажением изображения окружающего мира, что снижает комфорт восприятия и ограничивает ее практическое применение.

Нашлемные индикаторы, применяемые в авиации, используют спектрально-селективные зеркала, проецирующие информацию на внешнее стекло шлема или отдельные элементы визора. Они обеспечивают широкое поле зрения и хороший eye box, но обладают высокой стоимостью и сложной конструкцией.

Световодные и волноводные системы применяют голографические или призматические элементы для ввода и вывода изображения. Свет от микродисплея распространяется по светопроводящей пластине и направляется в глаз с помощью дифракционных решеток или микро-рефлекторов. Такие системы обеспечивают улучшенное поле зрения, повышенный eye box и минимальные искажения окружающей среды. Голографические решетки позволяют точно проецировать изображение в центральную зону поля зрения, а система распределенных отражателей способствует повышению четкости и общего визуального качества.

MR-системы требуют сложной программной обработки, обеспечивающей синхронизацию геометрических и оптических характеристик между виртуальной и реальной средой. Камеры, лидары и иные сенсоры определяют геометрию пространства, выявляют поверхности и объекты, позволяя правильно позиционировать виртуальные элементы (например, исключать их отображение «сквозь стены»). Программное обеспечение также анализирует освещение: реальные источники света должны влиять на освещенность виртуальных объектов, а виртуальные источники – корректно взаимодействовать с физическим окружением. Такие эффекты, как отсутствие отражений в зеркалах или некорректные тени, снижают достоверность восприятия, поэтому современные MR-алгоритмы стремятся учитывать все параметры сцены в реальном времени, обеспечивая максимальную реалистичность.

1.2. Психолого-педагогические аспекты VR в обучении

1.2.1. Воздействие VR на когнитивные процессы и процессы усвоения информации

Иммерсивные VR-технологии оказывают значительное влияние на когнитивные процессы и усвоение информации. VR-программы способствуют развитию процедурных и операциональных аспектов

мышления, стимулируют формирование познавательной мотивации и развитие креативности. Эффект присутствия и высокая интерактивность виртуальной среды усиливают интерес к учебному процессу, снижая уровень ситуативной тревожности и положительно влияя на функциональное состояние обучающихся. В частности, отмечается повышение активности, психофизиологического тонуса и появление субъективного чувства эйфории при одновременном снижении проявлений астении [3].

Эти изменения, как правило, интерпретируются как положительные и способствующие продуктивной учебной деятельности. Однако чрезмерное возбуждение и состояние эйфории могут нарушать целенаправленную активность обучающегося и провоцировать контрпродуктивное поведение. Это требует педагогического контроля и психологической регуляции образовательной среды на этапе проектирования VR-сценариев.

VR-технологии обеспечивают наглядную визуализацию сложного учебного материала, что способствует более эффективному его восприятию и запоминанию. В соответствии с концепцией «пирамиды обучения» Р. Карникау и Ф. Макелроу наивысший уровень усвоения материала достигается при практическом применении знаний. Виртуальная среда создает условия для фокусировки внимания и вовлечения обучающихся в познавательную деятельность за счет яркой визуализации, интерактивных элементов и симуляции практических действий. Это особенно эффективно для обучающихся, ориентированных на цифровую среду и визуально-динамическую подачу информации.

Субъективно образовательный процесс в VR воспринимается как более доступный и комфортный, что способствует росту учебной мотивации и повышению сосредоточенности. При этом исследования фиксируют положительную корреляцию между уровнем сформированности пространственных способностей обучающегося и скоростью его адаптации к виртуальной среде.

Результаты ряда экспериментов показывают, что эффективность усвоения учебного материала при использовании VR может быть сопоставима с традиционными методами работы с текстом. Однако технологии виртуальной реальности существенно влияют на мотивационные и эмоциональные аспекты учебной деятельности, тем самым опо-

средованно повышая когнитивную продуктивность за счет эффекта погружения. Для оценки степени погруженности и влияния VR на эмоциональное состояние обучающихся используют психофизиологические методы, включая регистрацию электрической активности кожи. При этом стоит отметить, что физиологические маркеры эмоционального вовлечения проявляются не у всех испытуемых.

Когнитивные компоненты VR-программ, в частности их информативность, связаны со способностью дополнять учебный материал визуальным контентом, что делает процесс обучения более насыщенным по сравнению с традиционными методами. При этом исследования показывают, что пребывание в виртуальной среде не влияет на личностные черты обучающихся. Однако динамика ситуативных показателей, в частности снижение тревожности и рост мотивации, способствует формированию более комфортной образовательной среды и повышает привлекательность учебной деятельности в целом.

1.2.2. Психолого-педагогические преимущества иммерсивного подхода в обучении

Иммерсивные технологии, такие как VR, AR и MR, обладают значительным психолого-педагогическим потенциалом в образовательном процессе. Их уникальность заключается в создании эффектов погружения, присутствия и интерактивности, что отличает их от традиционных образовательных инструментов [4]. Эти свойства обеспечивают безопасную среду для отработки профессиональных навыков, особенно в медицинском образовании, где VR позволяет моделировать значимые ситуации без риска для пациентов. Виртуальная среда создает управляемый и безопасный опыт, максимально приближенный к реальным условиям, способствуя развитию профессиональных компетенций и уверенности. Например, медицинские специалисты могут отрабатывать манипуляции без угрозы для пациентов, а студенты – осваивать сложные сценарии в контролируемых условиях. В медицинском образовании VR активно применяется в симуляционном обучении, способствуя развитию навыков межличностного общения, синтеза информации и адаптации к меняющимся условиям, а также снижению тревожности при первых самостоятельных манипуляциях.

Настройка виртуальной среды под индивидуальные потребности пользователя реализует персонализированный подход, усиливая чувство самоэффективности через многократное переживание успеха, что соответствует принципам когнитивно-поведенческой психотерапии. Такой подход формирует опыт личных достижений и повышает уверенность в решении профессиональных задач. Эффект присутствия и элементы геймификации повышают вовлеченность и интерес обучающихся, снижая уровень стресса и создавая благоприятный эмоциональный фон. Виртуальная реальность помогает переключать внимание, разрывая привычные поведенческие шаблоны, что особенно эффективно для профилактики зависимостей и управления стрессом. Виртуальная реальность обеспечивает немедленную обратную связь, что повышает качество обучения и позволяет объективно оценивать уровень мастерства с помощью ИТ-алгоритмов, снижая нагрузку на преподавателей за счет передачи части функций виртуальному тренажеру. Эти преимущества делают VR перспективным инструментом для повышения эффективности обучения, предоставляя неограниченное число повторений манипуляций для отработки навыков и объективную оценку результатов.

VR-технологии учитывают психологические особенности современных обучающихся, ориентированных на динамичную визуализацию и лаконичную подачу информации, реализуя принцип «сдвига мотива на цель». Это позволяет связать положительные эмоции, возникающие при взаимодействии с интерактивной средой, с самим учебным процессом и его результатами.

1.2.3. Ограничения и потенциальные риски применения VR в обучении

Применение VR-технологий в образовательной сфере сопряжено с рядом ограничений и рисков, обусловленных методологическими, физиологическими, психологическими и регуляторными аспектами. Их понимание и учет необходимы для безопасной и эффективной интеграции VR в учебный процесс [5].

Среди методологических ограничений следует отметить отсутствие универсальных критериев оценки компетенций, формируемых в VR-среде, а также нехватку разработанных методик по созданию и оценке эффективности образовательных сценариев. Это затрудняет

объективную диагностику уровня усвоения знаний, умений и навыков, особенно в тех случаях, когда требуется оценка способности к синтезу информации, адаптивности и межличностному взаимодействию. Кроме того, недостаточно исследована роль VR в формировании профессиональных компетенций за пределами отработки практических навыков, что особенно заметно в медицинском образовании, где основное внимание сосредоточено на результативности практической подготовки, а влияние на другие аспекты остается в тени. Также отсутствуют типовые сценарии и подходы к системной оценке уровней освоения образовательных программ, что препятствует масштабируемому внедрению VR в учебные планы.

Физиологические риски включают феномен *киберзаболевания* – состояния, сопровождающегося зрительным напряжением, размытостью изображения, головной болью, головокружением, тошнотой и потерей пространственной ориентации. Подобные симптомы наблюдаются у значительной части пользователей и связаны как с техническими характеристиками VR-систем, так и с индивидуальными половозрастными особенностями. Наиболее уязвимыми считаются дети до 12 лет, женщины и лица старше 30 лет. Дополнительные факторы риска включают высокие ожидания пользователя и наличие многозадачности во время VR-сессий. Также наблюдаются снижение частоты морганий и симптоматика пересыхания глаз – эффекты, аналогичные тем, что возникают при длительной работе за компьютером.

Диагностика киберзаболевания остается проблематичной. На сегодняшний день не существует стандартизированных методов, позволяющих точно оценить вероятность его возникновения. Используемые самоотчетные методики, такие как «Опросник симуляторных расстройств», дают лишь приблизительные результаты и требуют дополнительной валидации. Недостаточная информативность психофизиологических показателей затрудняет формирование системы профилактических мер.

Среди психологических рисков выделяется возможность формирования зависимого поведения, возникающего на фоне многократных краткосрочных погружений в виртуальную среду. Это обусловлено сильным эффектом присутствия, который по своим характеристикам близок к реакциям, наблюдаемым при зависимости от цифровых

устройств. Еще одна проблема – снижение способности к абстрактному и символическому мышлению, возникающее вследствие чрезмерной визуализации учебного материала. В подобных условиях абстрактное мышление может частично вытесняться конкретно-чувственным восприятием.

Пребывание в VR также способно вызывать тревожные состояния, особенно у пользователей, испытывающих дискомфорт от утраты контроля над физической реальностью. Это может снижать мотивацию и качество усвоения материала. У части обучающихся ситуативная тревожность усиливается именно по причине осознания невозможности напрямую воздействовать на реальную обстановку во время погружения в виртуальное пространство.

Дополнительные сложности связаны с нормативно-правовыми аспектами. На сегодняшний день отсутствуют официальные регламенты, устанавливающие допустимое время пребывания в VR, что ограничивает использование технологий экспериментальными форматами. Действующие нормы, такие как СанПиН, касаются только использования стандартных электронных устройств и не охватывают специфику VR-среды. Кроме того, методы оценки безопасности VR-программ еще недостаточно стандартизированы, что затрудняет контроль и профилактику возможных негативных последствий.

Для минимизации рисков применения VR в образовательном процессе необходимо соблюдать организационные и методические принципы. Рекомендуется проводить VR-сессии с интервалами в 3 – 5 дней, ограничивать поле зрения и предотвращать перегрузку сенсорной системы. Важно обеспечить смену фокуса внимания и вовлечь обучающихся в активную деятельность, соответствующую учебным целям. Персонализированная подготовка студентов и использование диагностических инструментов, таких как опросник симуляторных расстройств или шкала оценки риска киберзаболевания, позволяют выявлять и снижать потенциальные негативные эффекты. Особое значение имеет дальнейшая разработка методологических и нормативных основ, включая исследование долгосрочных последствий воздействия VR, чтобы гарантировать безопасное и эффективное использование последней в образовательной практике (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение рисков и ограничений использования VR в образовательной среде

Категория риска	Содержание	Последствия / проблемы
Методологические	Отсутствие единых стандартов оценки и методик разработки сценариев	Затруднены объективная оценка результатов обучения и формирование компетенций
	Недостаточное осмысление роли VR в формировании компетенций	Упор только на практические навыки, игнорируются когнитивные и коммуникативные аспекты
	Отсутствие типовых сценариев оценки освоения программ	Системное внедрение VR затруднено, нет возможности сравнивать результаты обучения
Физиологические	Киберзаболевание: утомление, тошнота, дезориентация	Дискомфорт, снижение работоспособности, отказ от использования VR
	Пересыхание глаз, снижение частоты моргания	Физиологическое напряжение, схожее с последствиями работы за монитором
	Отсутствие объективных методов диагностики	Невозможно точно оценить индивидуальный риск, самоотчеты недостаточны
Психологические	Развитие зависимости от VR-заходов (эффект присутствия)	Потенциальная аддикция, снижение контроля над поведением
	Снижение способности к абстрактному мышлению	Ограничение когнитивного развития, деформация способов переработки информации
	Тревожность из-за потери контроля над реальностью	Снижение мотивации и эффективности обучения
Регуляторные	Отсутствие временных норм использования VR	Нет рекомендаций по допустимой продолжительности VR-сессий, ограничено внедрение в массовое обучение
	Недостаточная стандартизация оценки безопасности программ	Отсутствуют шкалы и протоколы по диагностике негативных эффектов

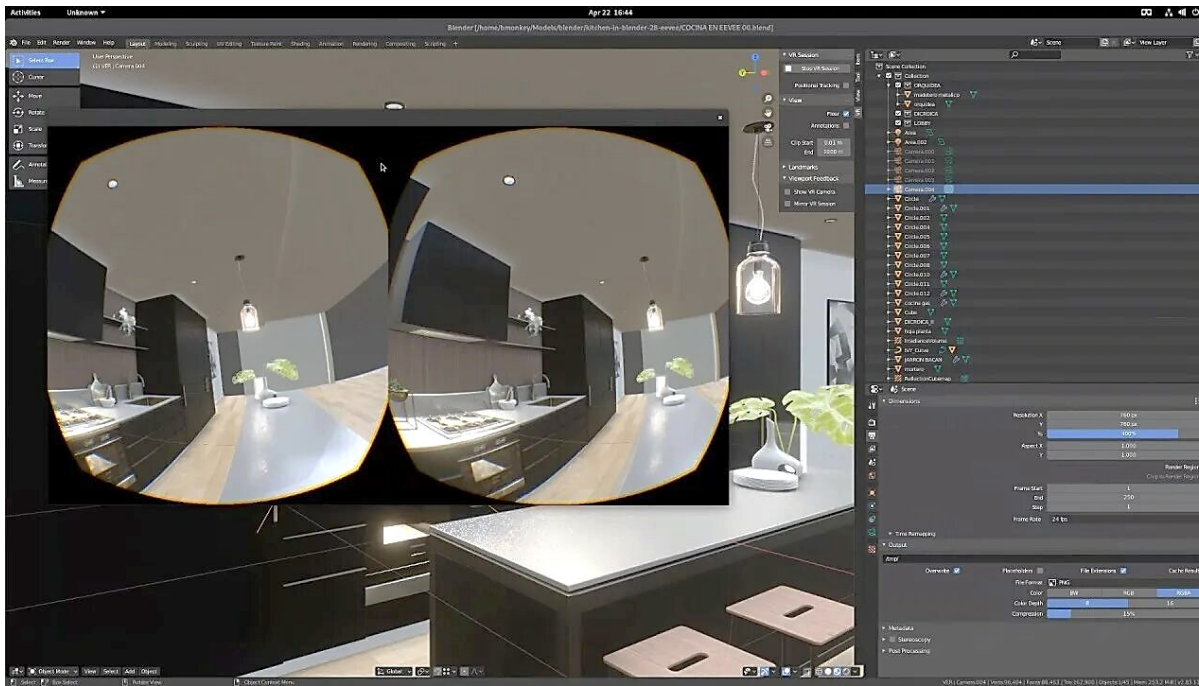
1.3. Интеграция VR-технологий в архитектурно-строительном образовании

1.3.1. Особенности применения технологий виртуальной реальности при проектировании зданий и сооружений

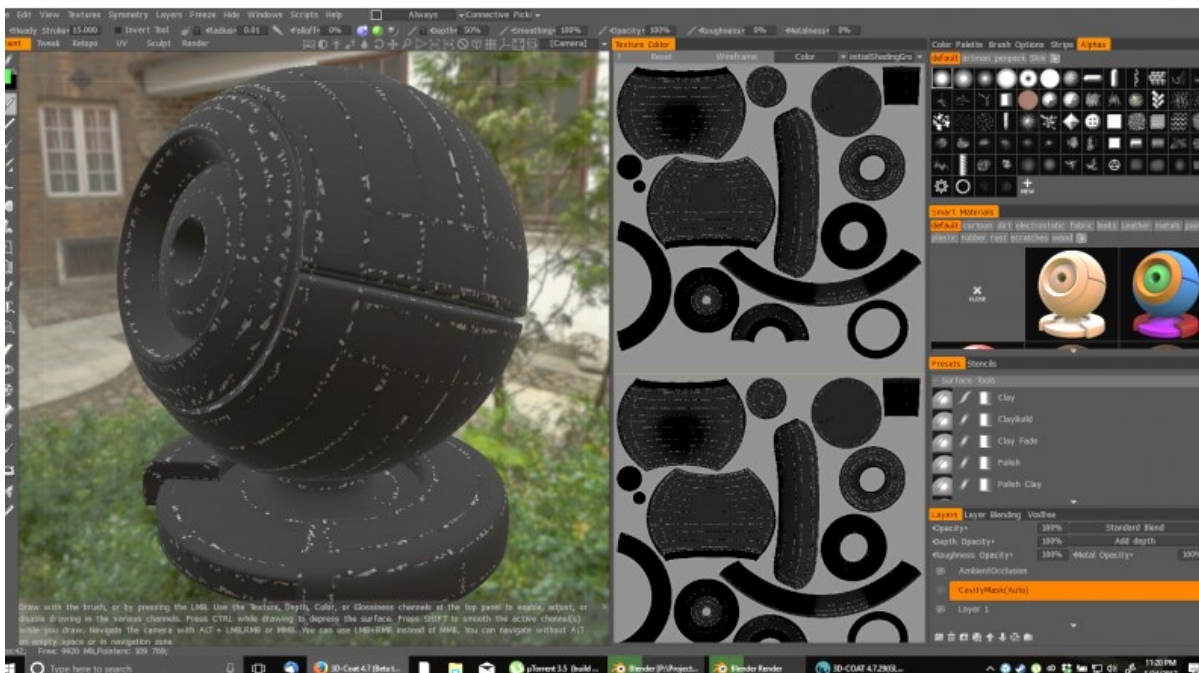
В современном обществе VR-технологии играют все более значимую роль в образовательном процессе, в том числе в сфере архитектурно-строительного образования. Использование VR позволяет формировать иммерсивные среды, обеспечивающие эффект полного погружения и создающие правдоподобную атмосферу.

VR-технологии способствуют более глубокому и целостному восприятию архитектурных объектов, позволяя будущим проектировщикам анализировать конструктивные, композиционные и стилистические особенности последних в трехмерном пространстве [4]. Виртуальная реальность предоставляет студентам возможность свободно экспериментировать с формами, текстурами и пространственными композициями, используя профессиональные программные инструменты, такие как Blender (рис. 1.11, *а*), 3D-Coat (рис. 1.11, *б*), Autodesk Revit (рис. 1.12, *а*) и Renga (рис. 1.12, *б*). Работа в таких цифровых средах развивает пространственное мышление, стимулирует творческую активность и обеспечивает высокую визуальную точность при реализации архитектурно-строительных идей. При этом, в отличие от традиционного макетирования с использованием бумаги, картона или полистирола, у виртуальной среды ограничены возможности обеспечения тактильного контакта с материалами. Однако VR-технологии частично компенсируют этот недостаток за счет мультимодального восприятия, объединяющего зрительные, слуховые и в ряде случаев тактильные ощущения, что приближает виртуальное взаимодействие к взаимодействию с реальным объектом.

Дополнительное преимущество VR – ее интеграция с другими цифровыми инструментами, прежде всего с технологиями информационного моделирования зданий (BIM). Совмещение VR и BIM открывает возможность комплексного анализа архитектурных и строительных объектов как с функциональной, так и с эстетической точки зрения в единой цифровой среде, что способствует формированию системного мышления у студентов и углубленному освоению проектных дисциплин.



а)



б)

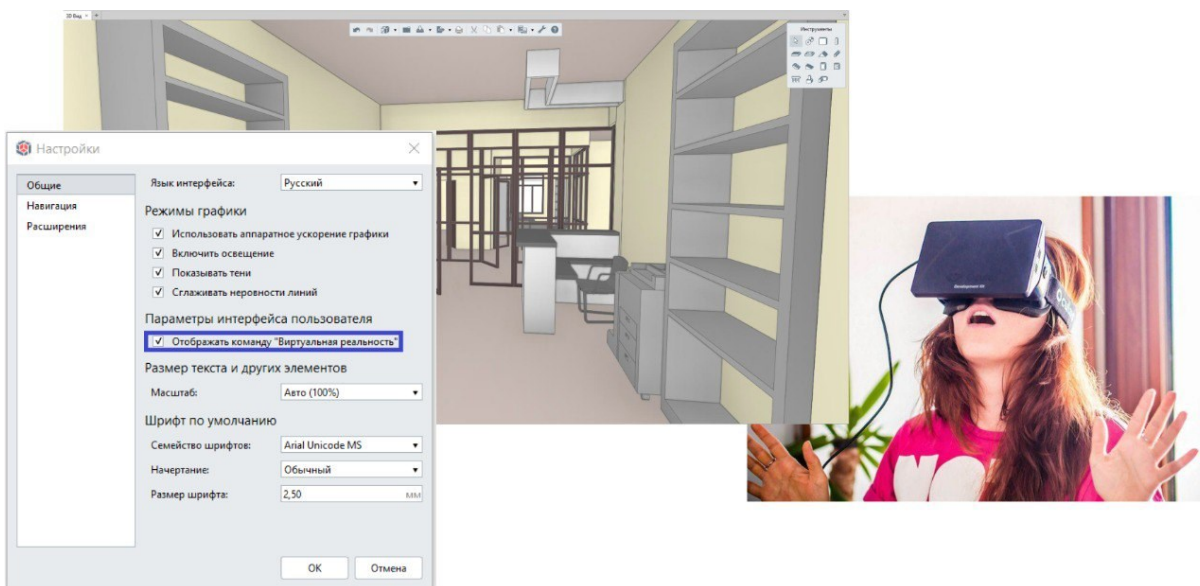
Рис. 1.11. Пример использования виртуальной реальности в программных комплексах: а – Blender; б – 3D-Coat

Особую ценность представляет возможность экспериментального проектирования в реальном времени: студенты могут оперативно вносить изменения в масштаб, пропорции или материалы архитектур-

ных объектов, тем самым получая мгновенную обратную связь относительно визуального восприятия и функциональных свойств конструкции.



а)



б)

Рис. 1.12. Пример использования виртуальной реальности в программных комплексах: а – Autodesk Revit; б – Renga

Такой подход позволяет избежать ряда ошибок на ранних этапах проектирования, что актуально при работе с архитектурно-строительными формами высокой степени сложности, плохо поддающимися двумерному изображению или моделированию.

Таким образом, виртуальная реальность в архитектурно-строительном обучении выступает одновременно как информационная и психологическая технология, способствующая формированию восприятия архитектурного пространства в динамике, развивающая навыки критического анализа и обеспечивающая высокий уровень вовлеченности обучающихся в проектный процесс.

1.3.2. Особенности внедрения VR в процесс изучения архитектурно-строительных дисциплин

Для изучения эффективности применения VR-технологий в архитектурно-строительном образовании был проведен психолого-педагогический эксперимент с участием 76 студентов четвертого курса направления «Архитектура» Российского университета дружбы народов. Задание для всех участников – проектирование двухэтажного загородного дома коттеджного типа с прилегающей территорией [6].

Участники были разделены на две группы. Первая работала с использованием традиционных методов проектирования в среде Revit. Вторая использовала VR-технологии. Внутри VR-группы студенты были дополнительно распределены по ролям: «исполнители» разрабатывали архитектурные проекты, а «эксперты» оценивали их в виртуальном пространстве. На следующем этапе участники менялись ролями, что способствовало комплексному освоению как проектной, так и аналитической деятельности. «Исполнители», применяя VR-шлемы, могли рассматривать создаваемые модели с разных ракурсов, перемещаться в панорамном пространстве и оценивать архитектурные объекты в масштабируемом виде. «Эксперты», в свою очередь, проверяли проекты на наличие ошибок, анализировали соответствие масштабов, пропорций и композиционных решений. Такой подход обеспечивал целостное восприятие объекта и повышал точность оценки проектных решений. Эксперимент подтвердил, что применение VR значительно сокращает время анализа архитектурных объектов и ускоряет проектиро-

вание и визуализацию. Более 70 % участников высоко оценили эффективность технологии, а 85 % выразили желание внедрить VR и элементы геймификации в образовательный процесс.

В рамках исследования были дополнительно внедрены игровые механики – интерактивные задания, направленные на повышение вовлеченности студентов и развитие креативного мышления. Одним из таких заданий стало моделирование внутреннего пространства дома с учетом эргономики и освещения. Студенты могли в реальном времени изменять расположение мебели, тестировать различные световые сценарии и анализировать, как освещение влияет на восприятие интерьера.

Другим значимым упражнением стала симуляция строительного процесса: студенты перемещались по виртуальной строительной площадке, поэтапно изучая технологию возведения здания и выявляя возможные конструктивные недочеты. Это задание направлено на развитие практического мышления и формирование умений предвидеть потенциальные ошибки еще на стадии проектирования.

Отдельное внимание в ходе эксперимента уделялось командной работе. Постоянное взаимодействие между группами «исполнителей» и «экспертов», обмен обратной связью и совместный анализ решений способствовали развитию коммуникативных и аналитических навыков.

Таким образом, эксперимент продемонстрировал высокую образовательную ценность VR-технологий с игровыми элементами в подготовке инженеров-проектировщиков. Виртуальная среда не только позволяет визуализировать и оценивать проектные решения в динамике, но и стимулирует учебную мотивацию, развивает критическое мышление, творческий потенциал и навыки совместной деятельности.

1.3.3. Особенности внедрения VR в процесс изучения архитектурно-строительных дисциплин

VR-технологии способствуют развитию пространственного мышления у студентов-архитекторов за счет динамического восприятия архитектурного пространства. В отличие от статичных трехмерных моделей, создаваемых в традиционных программах (например, Revit), VR-среда предоставляет пользователю возможность свободного перемещения: студенты могут «обходить» здание, «заходить» в помещения, взаимодействовать с объектами, анализировать их масштаб и рас-

положение в реальном времени. VR-технологии создают эффект присутствия, который способствует более глубокому пониманию пропорций, композиционных связей и функционального зонирования архитектурных объектов. Включение элементов геймификации в психолого-педагогический эксперимент повышает мотивацию студентов, делая образовательный процесс более увлекательным. Участники, использующие VR-инструменты, показывают более высокие результаты в проектировании и анализе архитектурных моделей по сравнению с группой, применяющей традиционные методы визуализации.

VR-технологии развивают способность к многоперспективному анализу архитектурно-строительных объектов. В ходе описанного в п. 1.3.2 эксперимента студенты не только создавали собственные проекты, но и проводили экспертную оценку работ других участников, выявляя ошибки в масштабе, композиции и пропорциях. Такая практика способствовала развитию критического мышления, необходимого для профессиональной деятельности инженера-проектировщика.

Дополнительное преимущество VR – возможность моделирования различных сценариев использования архитектурного пространства. Студенты могли изменять расположение стен, окон, конструктивных элементов и компонентов ландшафта, оценивая влияние этих изменений на функциональность. Это способствовало развитию навыков системного проектирования и обоснованного принятия архитектурно-строительных решений.

Интеграция игровых механик, таких как выполнение заданий на время или соревнования по созданию оптимальных проектных решений, дополнительно стимулировала студентов к активному исследованию пространства и взаимодействию с цифровыми моделями. Однако исследователи подчеркивают необходимость учета риска когнитивной перегрузки при интенсивном использовании VR-технологий. Это требует дальнейшего анализа и разработки педагогических стратегий, обеспечивающих оптимальный баланс между интенсивностью воздействия и когнитивными возможностями студентов.

Таким образом, VR-технологии в сочетании с элементами игры способствуют не только формированию проектных навыков, но и развитию критического мышления, пространственного воображения и

способности к профессиональному анализу, что делает их перспективным инструментом в подготовке инженеров-проектировщиков нового поколения.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое VR, AR и MR?
2. Какие органы чувств вовлечены в создание ощущения присутствия в виртуальной среде?
3. Чем VR отличается от AR и MR по степени взаимодействия с реальной средой?
4. Какую роль сыграли стереоскопы в развитии VR?
5. Как изменились носимые VR-устройства с конца XX века до наших дней?
6. В чем заключается отличие VR-устройств от AR- и MR-систем?
7. Что такое виртуальные комнаты и для чего они используются?
8. Как формируется стереоскопическое изображение в VR-шлемах и VR-очках?
9. Что такое eye box и почему он важен для AR-устройств?
10. В чем заключаются основные различия оптических систем VR- и AR-очков?
11. Какие задачи выполняют трекеры и датчики пространственного отслеживания в VR, AR и MR?
12. Почему в MR-устройствах важно учитывать освещение и геометрию физического пространства?
13. Какие когнитивные функции стимулируют VR-программы?
14. Что такое эффект присутствия и как он влияет на учебную мотивацию?
15. Какие положительные психофизиологические изменения наблюдаются при работе в VR?

Глава 2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ VR В ПРОЕКТИРОВАНИИ

2.1. Основы работы в VR-программах

Виртуальные среды для проектирования представляют собой специализированное ПО, которое интегрирует традиционные инструменты архитектурного моделирования (CAD и BIM) с иммерсивными возможностями VR. Освоение основ работы в таких программах позволяет архитекторам и студентам переходить от двухмерных чертежей к полноценному взаимодействию с трехмерными моделями в реальном времени (рис. 2.1). В этом подразделе мы рассмотрим ключевые программы, их интерфейсы, базовые функции и рекомендации по выбору в зависимости от задач. Особое внимание уделяется открытым и доступным инструментам, таким как Blender, а также решениям российских разработчиков, способствующим импортозамещению в образовательных и профессиональных процессах.



Рис. 2.1. Изучение BIM-модели здания в Renga с активированным VR-режимом

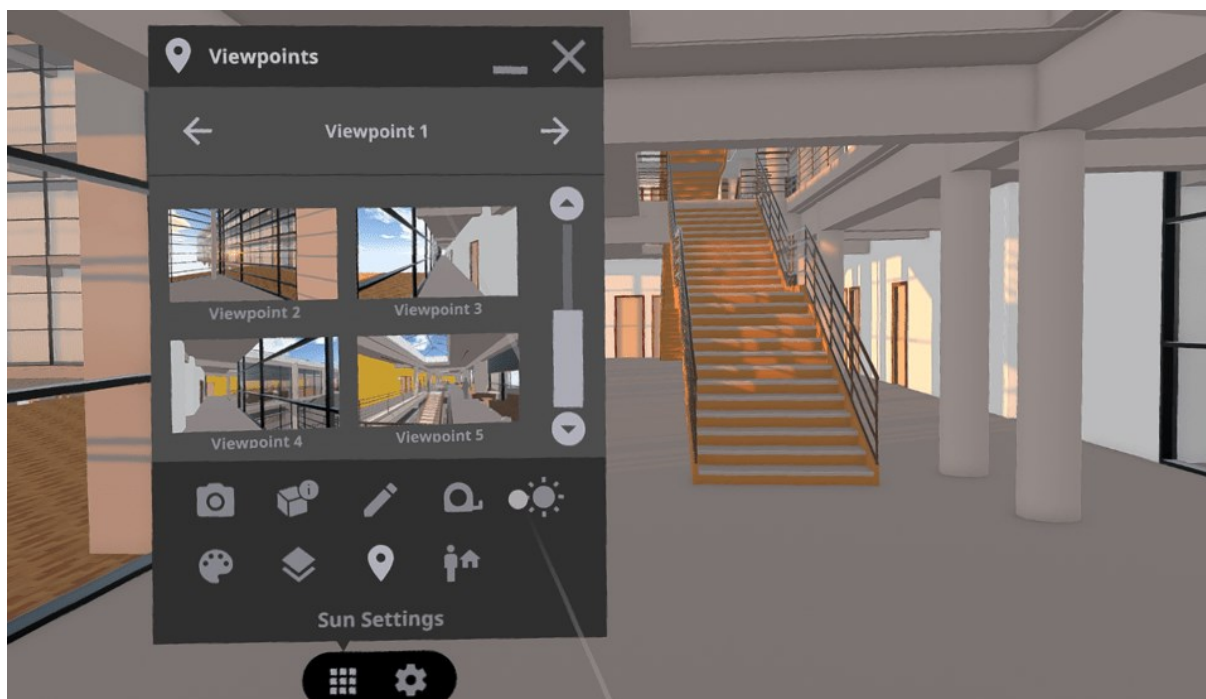
Современные VR-программы для архитектуры и строительства ориентированы на разные этапы проектирования: от создания моделей до их иммерсивного просмотра и коллаборации. Перечислим наиболее популярные инструменты, где есть возможность использования VR, включая отечественные разработки.

1. **Revit VR**, интегрированный с Autodesk Revit, представляет собой специализированный плагин, разработанный для экспорта сложных BIM-моделей в виртуальную реальность без промежуточных конвертаций. Система ориентирована на детализированный анализ конструктивных элементов, таких как стены, колонны и перекрытия, а также инженерных систем, включая вентиляцию, электрику и водоснабжение. Плагин поддерживает пространственные связи, позволяя оценивать взаимосвязь элементов в реальном времени. Многопользовательский режим обеспечивает одновременное взаимодействие до десяти участников в одной VR-сессии, что способствует командной работе студентов над проектами, например при анализе эвакуационных путей. Рендеринг отличается высокой точностью, учитывает свойства реальных материалов (отражения, текстуры) и параметры освещения (естественное, искусственное), что создает реалистичное восприятие пространства.

Системные требования: операционная система Windows 10 или выше, графический процессор NVIDIA GTX 1060 или более мощный, а также минимум 16 Гб оперативной памяти. Совместимость обеспечивается с VR-шлемами Oculus Rift и HTC Vive, что делает инструмент универсальным для большинства лабораторных установок.

В образовательной практике студенты используют Revit VR для виртуального обхода модели многоэтажного здания, проверяя эргономику лестниц, ширину проходов и соответствие нормам безопасности. Такой подход ускоряет выявление ошибок на 30 – 40 % по сравнению с традиционной 2D-визуализацией, что подтверждено отчетами Autodesk University (2023).

Для российских вузов Revit VR может дополнять Renga Architecture, где модель экспортируется в .fbx для доработки в Blender, обеспечивая гибкость при использовании HTC Vive через SteamVR (рис. 2.2).



*Рис. 2.2. Интерфейс Revit VR: активация VR-просмотра
ТИМ-модели складского комплекса*

2. Renga Architecture, разработанная компанией АСКОН, представляет собой российскую BIM-систему, ориентированную на конструктивное проектирование зданий с полной поддержкой ГОСТов и российских строительных норм. Система позиционируется как приоритетное решение для импортозамещения в отечественных вузах и профессиональных организациях, поскольку обеспечивает соответствие локальным стандартам и доступна по стоимости. Встроенный VR-режим позволяет осуществлять просмотр трехмерных моделей в иммерсивной среде с использованием шлема Oculus Rift. Активация VR-режима происходит через настройки, где включается опция отображения команды «Виртуальная реальность», после чего в левом нижнем углу вкладки «3D-вид» отображается кнопка для перехода в иммерсивный режим. Навигация осуществляется с помощью клавиатуры, мыши или 3D-мыши, что обеспечивает интуитивное взаимодействие с моделью.

Системные требования: операционная система Windows 10 или выше, процессор Intel Core i5, 8 Гб оперативной памяти и графический процессор NVIDIA GTX 1050, что делает ПО доступным для большинства учебных лабораторий. Основная совместимость поддерживается с Oculus Rift, что ограничивает использование других устройств, таких

как HTC Vive. Для преодоления этого ограничения модель экспортируется в формат .fbx или .obj и импортируется в Blender, где визуальный контроль проводится через SteamVR, что обеспечивает гибкость и сохраняет преимущества российского ПО.

В образовательной практике студенты создают в Renga модели жилых комплексов, анализируя в VR влияние ветровых нагрузок на фасады, что соответствует требованиям ФГОС по архитектуре. При необходимости использования HTC Vive модель передается в Blender, где с помощью аддона Archipack дорабатываются параметрические элементы (например, окна или двери), а просмотр осуществляется в SteamVR, что демонстрирует эффективность гибридного рабочего процесса для импортозамещающих решений. Такой подход позволяет проводить иммерсивные тесты, выявляя до 30 % ошибок проектирования быстрее, чем в традиционных 2D-чертежах (данные АСКОН, 2024) (рис. 2.3).

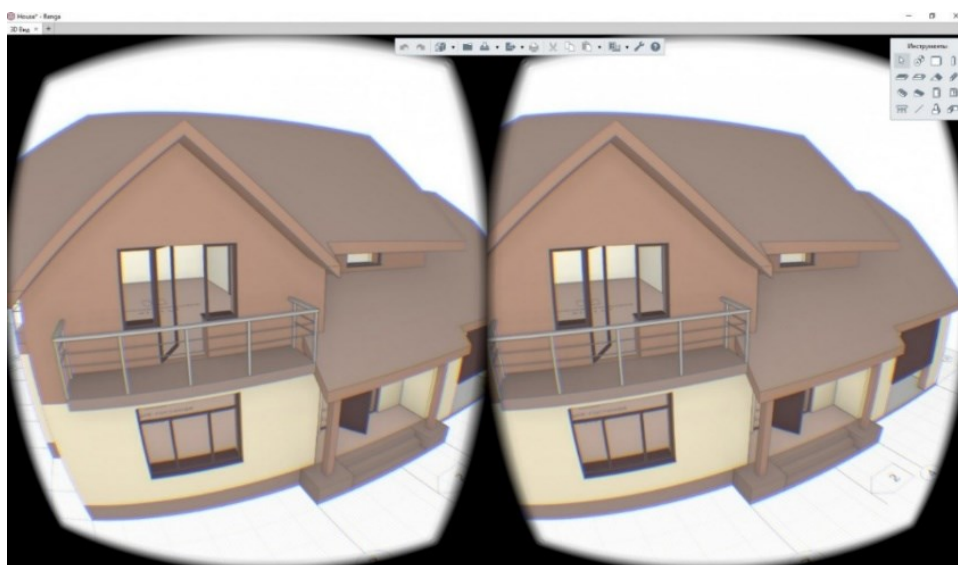


Рис. 2.3. Интерфейс Renga с использованием VR-очков комплекса

3. **Enscape** представляет собой универсальный инструмент рендеринга в реальном времени, разработанный для создания фотореалистичных визуализаций с возможностью прямого экспорта в виртуальную реальность. Программа интегрируется с популярными САД-системами, включая Revit, SketchUp, Rhino, ArchiCAD и Renga Architecture, что обеспечивает бесшовный переход от моделирования к иммерсивному просмотру. Основное внимание уделяется быстрому созданию визуализаций с динамическим освещением, реалистичными

теньями и погодными эффектами, такими как дождь или снег, что позволяет моделировать различные сценарии эксплуатации пространства. В отличие от традиционных методов создания визуализаций, которые требуют несколько часов работы, рендеринг в Enscape выполняется за секунды, что делает инструмент эффективным для образовательных целей. Экспорт в 360-градусные панорамы или видео обеспечивает доступность результатов для аудитории без VR-оборудования, а интуитивно понятный интерфейс упрощает освоение для студентов и начинающих архитекторов.

Системные требования: операционная система Windows или macOS, графический процессор NVIDIA RTX 2060 или более мощный, а также минимум 16 Гб оперативной памяти. Совместимость поддерживается с VR-шлемами Oculus Quest, HTC Vive и Pico, что делает инструмент универсальным для лабораторных установок.

В образовательной практике Enscape применяется на этапе концептуального проектирования: например, симуляция дневного и ночного освещения в интерьере музея позволяет студентам оценить эстетику и функциональность пространства, а удаленный просмотр клиентами повышает вовлеченность на 50 % (исследования Chaos Group, 2024).

Для российских вузов Enscape дополняет Renga Architecture, где модели экспортируются в .fbx для доработки в Blender с аддоном Archipack, обеспечивая гибкость при использовании HTC Vive через SteamVR. Такой подход позволяет интегрировать фотореалистичные визуализации в учебный процесс, что соответствует требованиям ФГОС по архитектуре (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Интерфейс Enscape 4.8 для рендера и просмотра в VR

4. **Twinmotion**, разработанная Epic Games на основе Unreal Engine, представляет собой динамичную платформу, ориентированную на создание симуляций реального мира в виртуальной реальности. Система поддерживает импорт моделей из Revit, SketchUp, 3ds Max и Blender, что обеспечивает гибкость интеграции с различными САД- и BIM-программами. Основное внимание уделяется анимации окружения, включая транспортные потоки, растительность и погодные эффекты (например, смена времен года, дождь или ветер), что позволяет моделировать реалистичные сценарии использования пространства. Платформа характеризуется высокой производительностью даже на компьютерах средней мощности, а бесплатная версия для студентов образовательных учреждений делает ее доступной для российских вузов. Интерфейс построен на принципе drag-and-drop, что упрощает быстрое прототипирование и освоение для начинающих пользователей.

Системные требования: операционная система Windows 10 или выше, графический процессор NVIDIA GTX 1060 и минимум 8 Гб оперативной памяти. Совместимость обеспечивается с VR-шлемами Oculus, HTC Vive и платформой SteamVR, что позволяет использовать инструмент в большинстве лабораторных установок.

В образовательной практике Twinmotion применяется в курсах по ландшафтному дизайну и урбанистике: студенты создают виртуальные парки, моделируя сезонные изменения (например, осеннюю листву или снежный покров) и анализируя доступность пространства для маломобильных групп, что соответствует требованиям ФГОС по архитектуре.

В контексте импортозамещения Twinmotion дополняет Renga Architecture: модели, созданные в Renga, экспортируются в .fbx для доработки в Blender с аддоном Archipack, после чего просматриваются в SteamVR с использованием HTC Vive, обеспечивая гибкость и соответствие локальным стандартам. Такой подход позволяет студентам тестировать эстетику и функциональность проектов в иммерсивной среде, повышая вовлеченность на 40 % (данные Epic Games, 2024) (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Интерфейс Twinmotion для рендера и просмотра в VR

5. **IrisVR (Prospect)** представляет собой специализированную платформу, разработанную для просмотра и коллаборативного редактирования моделей в виртуальной реальности с акцентом на командное взаимодействие. Система поддерживает загрузку крупных файлов, достигающих 1 Гб, без значительного снижения частоты кадров (FPS), что обеспечивает стабильность при работе с детализированными архитектурными проектами. Инструменты для аннотаций и измерений в реальном времени позволяют пользователям добавлять комментарии и проводить анализ непосредственно в VR-среде. Платформа ориентирована на многопользовательский режим, где в одной сессии могут одновременно взаимодействовать до двадцати участников, что способствует совместной работе над проектами. Навигация упрощена благодаря поддержке голосовых команд, устраняющих необходимость использования контроллеров, что делает интерфейс доступным для студентов с минимальным опытом. Интеграция с BIM- и CAD-системами, такими как Revit, ArchiCAD и Renga Architecture, обеспечивает бесшовный импорт моделей.

Системные требования: операционная система Windows 10 или выше, графический процессор NVIDIA RTX 2070 и минимум 16 Гб оперативной памяти. Совместимость поддерживается с большинством VR-шлемов, включая Oculus Rift, Varjo и HTC Vive, что позволяет использовать платформу в различных лабораторных конфигурациях.

В образовательной практике студенты применяют IrisVR для совместного анализа моделей общественных пространств, таких как пло-

щади или кампусы, где группы архитекторов виртуально перемещаются по проекту, отмечая проблемы эргономики, например узкие проходы или недостаточную освещенность. Такой подход ускоряет итерации проектирования на 25 – 30 % и снижает количество конфликтов в команде (данные IrisVR, 2024).

Для российских вузов IrisVR дополняет локальные решения, такие как Renga Architecture: модель экспортируется в .fbx, дорабатывается в Blender с использованием аддона Archipack для параметрических элементов, а затем просматривается через SteamVR на HTC Vive, обеспечивая гибкость и соответствие требованиям импортозамещения (рис. 2.6).

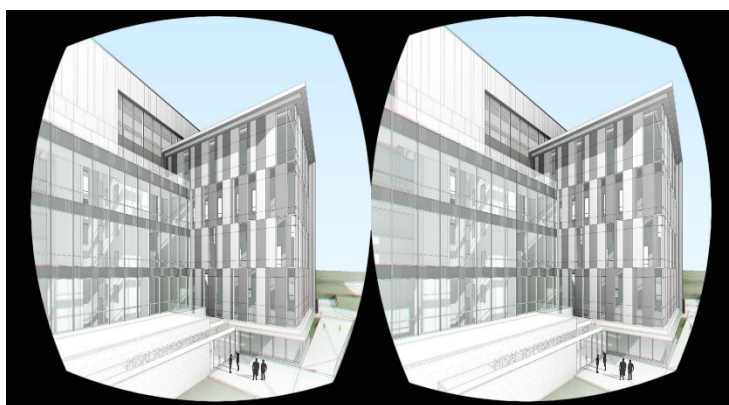


Рис. 2.6. Интерфейс IrisVR при просмотре в VR

6. **Blender** представляет собой бесплатный 3D-редактор с открытым исходным кодом, который обеспечивает мощную поддержку виртуальной реальности через встроенный стандарт OpenXR и дополнительные аддоны, такие как XR Tools или Beat Saber VR. Программа позволяет не только просматривать архитектурные модели в иммерсивной среде, но и редактировать их непосредственно в VR, включая создание объемной модели стен, настройку геометрии и добавление текстур. Экосистема плагинов, включающая специализированный аддон Archipack для архитектурного моделирования (ArchViz), расширяет функциональность, обеспечивая создание параметрических элементов зданий, таких как стены, двери, окна, лестницы и крыши, без необходимости ручного моделирования каждой детали. Archipack, доступный в бесплатной (встроенной в Blender) и платной Pro-версии, ускоряет процесс проектирования, предлагая интуитивный интерфейс, схожий с BIM-инструментами, такими как Revit. Pro-версия включает

расширенную библиотеку PBR-материалов и пресетов, что упрощает создание фотореалистичных визуализаций. Кросс-платформенность (поддержка Windows, Linux, macOS) и активное сообщество, предоставляющее туториалы и ресурсы, делают Blender доступным для студентов и преподавателей.

Системные требования: графический процессор NVIDIA GTX 1050, 8 Гб оперативной памяти и совместимость с VR-шлемами, такими как Oculus Quest и HTC Vive, что позволяет использовать программу в большинстве учебных лабораторий.

В образовательной практике Blender с Archipack применяется для создания и оптимизации моделей исторических зданий, предназначенных для виртуальных туров, где студенты экспериментируют с материалами в реальном времени, тестируя текстуры и освещение. Такой подход особенно ценен для бюджетных вузов, поскольку поддерживает самостоятельное обучение и соответствует требованиям ФГОС по архитектуре.

В контексте импортозамещения Blender дополняет Renga Architecture: модели, созданные в Renga, экспортируются в .fbx или .obj, дорабатываются в Blender с использованием Archipack для параметрических элементов, а затем просматриваются в SteamVR с HTC Vive, обеспечивая гибкость и высокую производительность (FPS > 72 после оптимизации). Это позволяет студентам проводить иммерсивные VR-туры, выявляя до 25 % ошибок проектирования быстрее, чем в традиционных 2D-чертежах (данные Blender Community, 2024) (рис. 2.7).

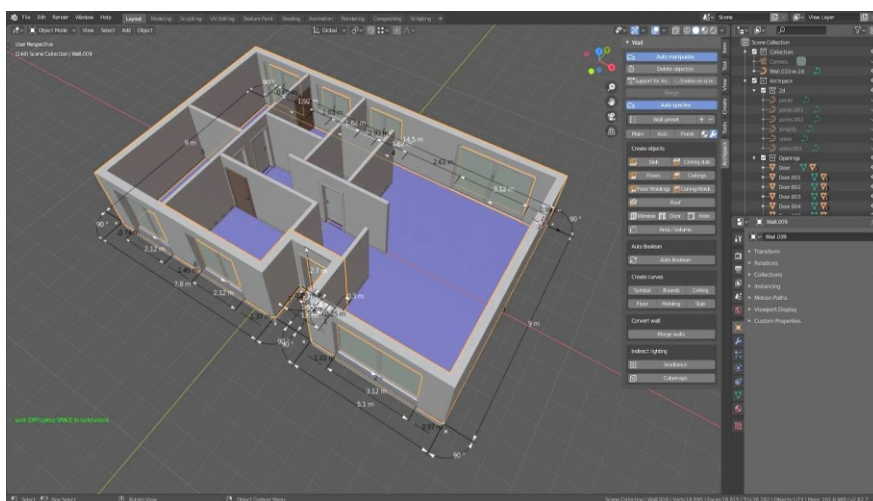


Рис. 2.7. Интерфейс Blender (с VR-аддоном) при использовании аддона Archipack с построением конструктива здания

7. **Varwin** представляет собой российскую платформу с минимальным кодированием, предназначенную для создания интерактивных VR/AR-приложений, в которой основной акцент сделан на образование и промышленные симуляции. Система разработана компанией Varwin как отечественное решение для импортозамещения, обеспечивающее соответствие Федеральному закону № 152-ФЗ по защите персональных данных и интеграцию с локальным оборудованием. Платформа поддерживает импорт 3D-моделей из Blender, Unity, САД-систем и других форматов (.fbx, .obj, .gltf, .dae, .glb), а также позволяет добавлять геймифицированные элементы, такие как квизы, интерактивные симуляции и визуальные эффекты (фейерверки, молнии, утечки газа). Визуальный редактор упрощает создание контента без навыков программирования благодаря использованию готовых шаблонов сцен по тематикам «Интерьер», «Астрономия», «Анатомия», «Мегаполис» и «Средневековье», что делает платформу подходящей для быстрой разработки образовательных проектов. Быстрая разработка достигается за счет блочного программирования и предустановленных объектов (от панорам до видео 360°), а интеграция с российским оборудованием (Pico, DPVR) обеспечивает совместимость с отечественными VR-гарнитурами.

Системные требования: операционная система Windows 10 или выше, графический процессор NVIDIA GTX 1060 и минимум 16 Гб оперативной памяти с возможностью работы в режимах 3D – на ПК, VR – на гарнитурах, AR – на Android-устройствах и XR – на специализированных столах. Совместимость поддерживается с Oculus Rift и другими шлемами, включая PC VR и Standalone VR, что позволяет использовать платформу в школьных и вузовских лабораториях с минимальным оборудованием (2 – 3 гарнитуры на 15 ПК).

В образовательной практике Varwin применяется в архитектурных вузах для создания виртуальных экскурсий по объектам ЮНЕСКО, где студенты взаимодействуют с элементами модели (например, виртуально «снимают» фасад для анализа реконструкции), развивая пространственное мышление и навыки 3D-моделирования. Такие проекты, как VR-туры по историческим объектам или симуляции городской среды, интегрируются в курсы урбанистики и археологии, повышая мотивацию на 50 % (данные Varwin Education, 2024).

В контексте импортозамещения Varwin дополняет Renga Architecture: модели экспортируются в .fbx для импорта в Varwin, где добавляются интерактивные элементы, а просмотр проводится через SteamVR на HTC Vive, обеспечивая гибкость и соответствие ФГОС по архитектуре (рис. 2.8).

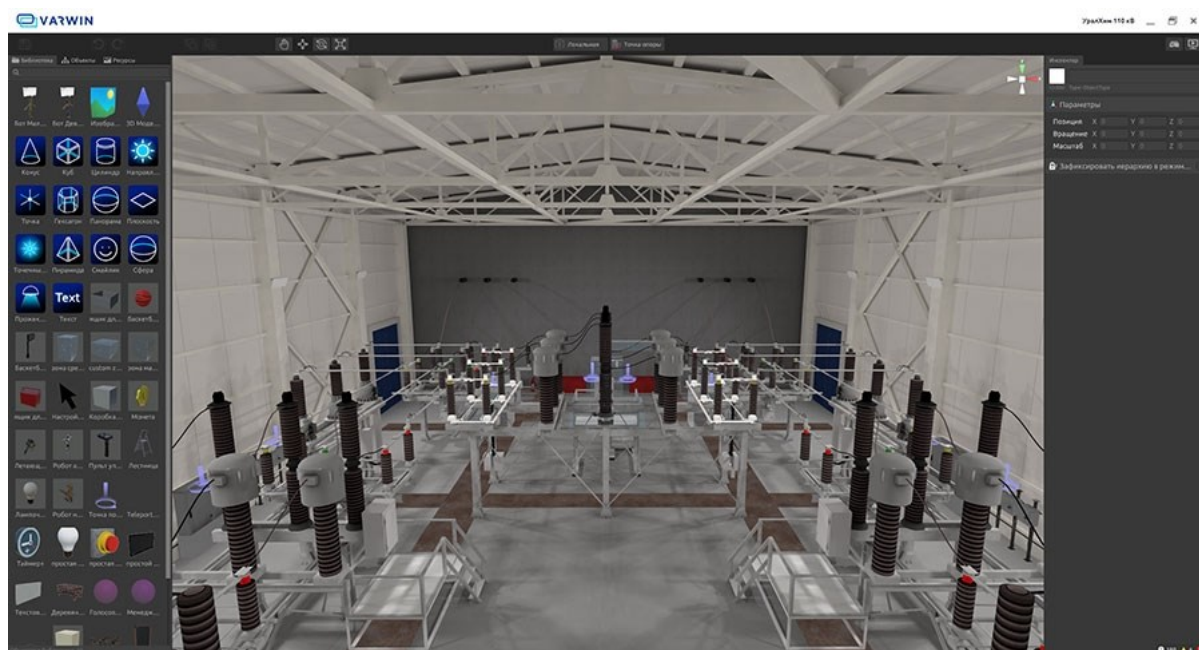


Рис. 2.8. Интерфейс Varwin для рендера и просмотра в VR

8. **ModumLab** представляет собой российскую платформу для создания и распространения VR-контента, где основной акцент сделан на корпоративное обучение, профессиональную подготовку и дизайн-проекты. Разработанная как отечественное решение для импортозамещения, система фокусируется на VR/AR-тренажерах, которые развивают практические навыки в отраслях, включая промышленность, медицину и образование. Платформа поддерживает коллаборативные виртуальные туры и симуляции, позволяя пользователям проводить совместные сессии для анализа пространств и процессов, а также импорт 3D-моделей из SketchUp, Revit и других CAD-систем (в форматах .fbx, .obj), что обеспечивает интеграцию с BIM-моделями. Облачный хостинг обеспечивает удаленный доступ к контенту без необходимости локальной установки, а встроенная аналитика вовлеченности пользователей отслеживает метрики, такие как время сессии и уровень взаимодействия, для оценки эффективности обучения. Низкий порог

входа для преподавателей достигается за счет интуитивного интерфейса с готовыми шаблонами тренажеров, что упрощает создание контента без глубоких технических знаний.

Системные требования: операционная система Windows или macOS, графический процессор Intel UHD Graphics или выше, 8 Гб оперативной памяти, что делает платформу доступной для большинства учебных и корпоративных компьютеров. Совместимость поддерживается с мобильными VR-устройствами (Pico) и ПК-шлемами (Oculus Rift, HTC Vive), включая режимы Standalone VR для автономной работы.

В образовательной практике студенты используют ModumLab для проектирования виртуальных музеев, добавляя интерактивные экспонаты (например, 3D-модели артефактов с симуляцией освещения), что повышает мотивацию через иммерсию, увеличивая вовлеченность на 40 – 50 % (данные Modum Lab, 2024).

В контексте российских вузов ModumLab интегрируется с Renga Architecture: модели экспортируются в .fbx для импорта в платформу, где добавляются тренажеры и аналитика, а просмотр проводится через SteamVR на HTC Vive, обеспечивая соответствие ФГОС по архитектуре и гибкость импортозамещающих решений (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Интерфейс Twinmotion для рендера и просмотра в VR

9. **3ds Max**, разработанный Autodesk, представляет собой профессиональный инструмент для 3D-моделирования, анимации и визуализации, широко применяемый в архитектурном проектировании. Программа поддерживает интеграцию с виртуальной реальностью через плагины, такие как V-Ray Vision, или экспорт в Unity с последующим использованием VR-форматов. Система позволяет создавать высокодетализированные архитектурные сцены с фотореалистичным рендерингом, включающим реалистичные материалы, освещение и анимацию движущихся элементов, таких как двери или лифты. Инструменты для органического моделирования, включая модификаторы и сплайновые кривые, обеспечивают гибкость при создании сложных форм (например, изогнутых фасадов или декоративных элементов). Поддержка скриптинга через MaxScript позволяет автоматизировать повторяющиеся задачи, такие как генерация текстур или настройка анимации, что повышает эффективность работы. Экспорт в VR-форматы обеспечивает возможность иммерсивных пошаговых конструкций, где пользователи могут взаимодействовать с моделью в реальном времени.

Системные требования: операционная система Windows 10 или выше, графический процессор NVIDIA RTX 3060 или более мощный, а также минимум 16 Гб оперативной памяти. Совместимость поддерживается с VR-шлемами Oculus Quest и HTC Vive через SteamVR, что делает инструмент подходящим для лабораторных установок.

В образовательной практике 3ds Max используется в курсах по урбанистике: студенты создают анимации общественных пространств, моделируя динамику пешеходных потоков или транспортных узлов, после чего экспортируют сцены в VR для анализа видимости и освещения. Такой подход развивает креативность и позволяет выявлять до 25 % скрытых ошибок в планировке (данные Autodesk, 2024).

Для российских вузов 3ds Max дополняет Renga Architecture: BIM-модели экспортируются в .fbx, дорабатываются в Blender с использованием аддона Archipack для параметрических элементов, а затем просматриваются в SteamVR на HTC Vive, что обеспечивает гибкость и соответствует требованиям импортозамещения (рис. 2.10).

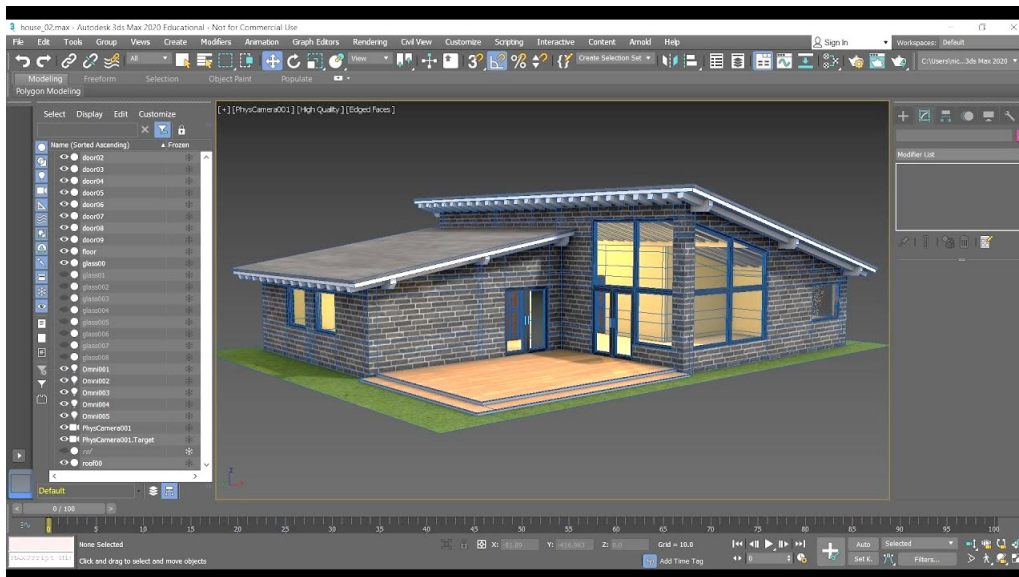


Рис. 2.10. Интерфейс 3ds Max

2.2. Интерфейс и базовые функции

Работа в VR-программах строится вокруг интуитивного интерфейса, адаптированного под контроллеры шлема.

Основные элементы

– *навигация в VR*: используйте телепортацию (point-and-teleport) или плавное движение (smooth locomotion) для перемещения по виртуальному пространству. В Enscape, Twinmotion, Renga (через VR-режим с Oculus Rift) и Blender (через VR Session) это реализуется через джойстик контроллера, клавиатуру/мышь или 3D-мышь, что минимизирует укачивание. В Renga навигация в VR активируется после нажатия кнопки в 3D-виде, обеспечивая плавный переход от десктопного просмотра;

– *манипуляция объектами*: захватывайте и перемещайте элементы модели (grab-and-pull) – например, в IrisVR или Varwin можно «сдвинуть» стену для тестирования вариантов планировки. Поддержка жестов (pinch-to-scale) для изменения масштаба. В Blender и Renga VR-режим позволяет создавать объемные элементы и редактировать в реальном времени, включая параметрические изменения конструкций;

– *масштабирование и обзор*: переключайтесь между видами (первого лица, ортогонального) с помощью кнопок контроллера. В Revit VR и Renga доступен инструмент Section View для сечений модели в реальном времени; ModumLab добавляет интерактивные аннотации для образовательных целей.

Новичкам рекомендуется начинать с десктопного режима (2D-окно) перед переходом в VR, чтобы освоить горячие клавиши (например, F1 для справки в Enscape или N-panel в Blender; в Renga – встроенная справка по ГОСТам и простая активация VR через галочку в настройках; в 3ds Max – горячие клавиши для видового экрана).

Выбор программы зависит от этапа проектирования и ресурсов (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Типы программ с использованием VR

Задача	Рекомендуемая программа	Причины и особенности
Детализация BIM-моделей	Revit VR / Renga Architecture	Глубокая интеграция с Autodesk-экосистемой (Revit) или российскими стандартами (Renga); подходит для инженерных расчетов и соответствует ГОСТу; простая активация VR через Oculus Rift
Быстрая визуализация	Enscape	Минимальное время рендеринга; экспорт в 360°-видео для не VR-пользователей; совместима с Renga и 3ds Max
Динамические симуляции	Twinmotion / 3ds Max	Бесплатная версия для студентов (Twinmotion); поддержка анимации окружения и скриптинга (3ds Max) для сложных динамик
Командная коллаборация	IrisVR	Многопользовательский режим; импорт из различных CAD без конвертации
Моделирование и VR-редактирование	Blender	Open-source с VR-аддоном; идеален для архитектурных walkthroughs и sculpting в иммерсивной среде
Отечественные VR-приложения для образования	Varwin / ModumLab	Локальная разработка; интеграция с российским оборудованием, фокус на симуляциях и турах

Изучение этих основ открывает двери для более сложных заданий. Студенты, начавшие с простых моделей в Renga (как приоритетном российском ПО) с последующим экспортом в Blender для SteamVR/HTC Vive, быстро отмечают рост интуитивности в работе с пространством, особенно в контексте российских образовательных программ и импортозамещения.

2.3. Техники оптимизации моделей для VR

Оптимизация моделей – критический этап подготовки архитектурных проектов для иммерсивного просмотра в VR, который гарантирует стабильную работу системы и комфорт пользователя. Без должной оптимизации сложные сцены, содержащие тысячи полигонов, высокодетализированные текстуры и динамическое освещение, могут привести к снижению производительности: лагам, падению частоты кадров и, как следствие, укачиванию у студентов во время сессий. Это особенно актуально для образовательных лабораторий с ограниченными ресурсами, где используется гибридный рабочий процесс: первичное моделирование в российском ПО Renga Architecture (для соответствия ГОСТам и импортозамещения) с последующей доработкой в Blender (с аддоном Archipack для параметрических архитектурных элементов). В подразделе подробно разбираются техники снижения сложности моделей, оптимизации ресурсов, мониторинга производительности и устранения типичных ошибок. Рекомендуется применять на моделях из предыдущих упражнений с тестированием на реальном оборудовании (Oculus Rift для Renga или HTC Vive через SteamVR для Blender). Цель – достичь баланса: визуальная детализация для анализа пространства при FPS (frames per second – частота кадров в секунду) не ниже 72, что обеспечивает плавность и минимизирует риски.

Работа с полигонами включает снижение сложности моделей с использованием LOD (Level of Detail – уровень детализации), где полигоны, как базовые геометрические примитивы (треугольники), из которых состоят 3D-модели, уменьшаются в зависимости от расстояния до объектов: высокая детализация применяется для ближних элементов (стены, мебель), низкая – для фоновых (ландшафт, небо). Это стандарт в VR-разработке, адаптированный для архитектуры. В Renga Architecture модель упрощается автоматически через параметрические инструменты: в режиме Edit > Geometry > Simplify применяется Decimate (снижение на 20 – 50 % для невидимых граней стен или полов), а пресеты по ГОСТу (например, «Стандартный модуль») генерируют низкополигональные версии конструкций (стены – 200 – 500 полигонов на сегмент), что сохраняет точность расчетов (площадь, объем), но снижает нагрузку для VR-экспорта. В Blender после экспорта .fbx из Renga модель импортируется (File > Import > FBX), активируется Archipack (Preferences > Add-ons > Archipack), и в свойствах

объекта (Object Properties > Archipack > LOD Settings) устанавливаются уровни: High (2000+ полигонов) – для интерьера, Low (200 – 500) – для экстерьера. Decimate Modifier добавляется (Modifiers > Add Modifier > > Generate > Decimate) в Planar mode с Angle Limit 5 – 10° для слияния плоских граней, а для динамических сцен Geometry Nodes (3,0+) создают узел LOD Switch на основе расстояния от камеры (Distance Node > Switch > Low/High Mesh). В практическом примере модель жилого модуля (оригинал: 50 000 полигонов) обрабатывается LOD: стены получают High (детализированные окна), крыша – Low (упрощенная), и тестирование в Blender VR Session (Window > OpenXR > VR Session) показывает рост FPS с 25 до 70 за 2 – 5 мин (рис. 2.11).

LOD снижает общую нагрузку на 50 – 70 %, делая VR доступным на студенческих ПК (GTX 1050+), и предотвращает зависания при повороте головы – ключевом элементе иммерсии. В образовательном контексте студенты осваивают баланс детализации и производительности, что соответствует ФГОС по архитектуре (развитие навыков цифрового моделирования).

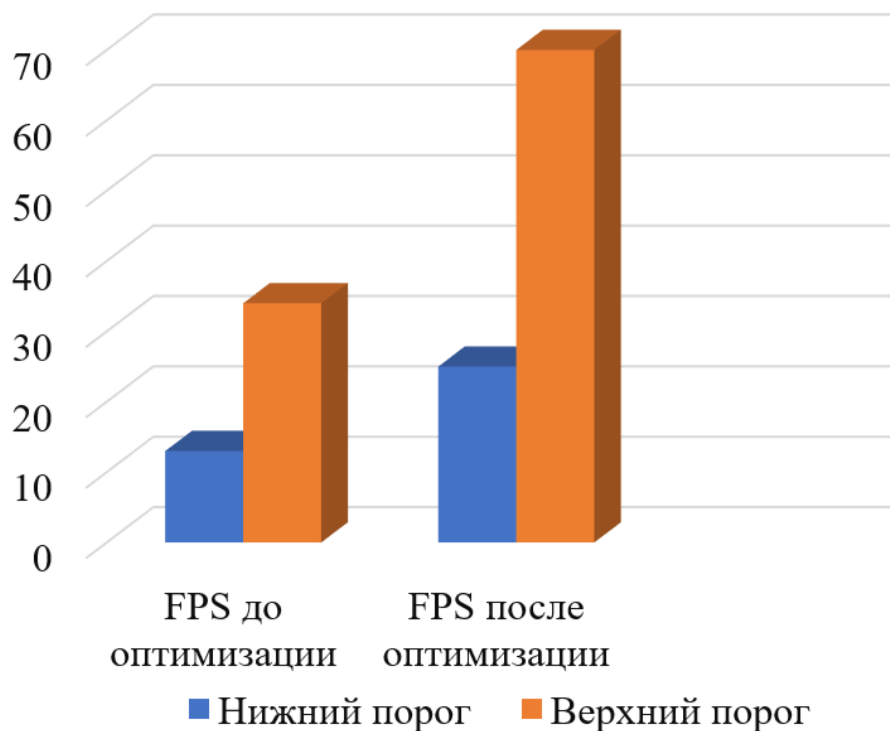


Рис. 2.11. Рост FPS за 2 – 5 мин

Оптимизация текстур и освещения подразумевает сжатие ресурсов для сохранения реализма, где текстуры (изображения поверхностей) и освещение выступают вторичными факторами нагрузки на VRAM. Высококачественные текстуры (4К) и ray-tracing (трассировка лучей) требуют до 8 Гб VRAM, что недоступно для большинства лабораторий, поэтому фокус делается на сжатии с использованием PBR (Physically Based Rendering – физически корректный рендеринг). Текстуры сжимаются до 2К (2048×2048 px) в формате .jpg (качество 85 – 90 %) или .dds (для VR): в Blender Image Editor (Image > Open) применяется Compress (Tools > Compress > JPEG), а Archipack интегрирует PBR-пресеты (Albedo для цвета, Normal для рельефа, Roughness для шероховатости), оптимизированные (автосжатие до 1К для фонов), с назначением к стенам (Material Library > Concrete/Wood).

Для Renga экспорт происходит с базовыми материалами (без multi-layer), после чего в Blender (Material Properties > Base Color > > Image Texture > Clamp 0 – 1 для seamless) дорабатываются, избегая > 4 текстур на объект. Освещение переходит от реального времени (Cycles ray-tracing) к запеченному (baked): в Blender Render Properties > Light > > Bake Indirect Lighting (Samples 64, Denoise on) запекаются тени, добавляются 2 – 4 динамических источника (Point/Spot Light, Radius 1 – 2 м) с HLOD (Hierarchical LOD для теней), а Archipack использует Sunlight Preset для автоматического освещения по времени суток; в Renga применяется diffuse-only (без зеркального освещения) в VR-режиме.

В следующей главе приведен пример, где (фасад с 4К-текстурами) заменяется на 2К PBR, освещение запекается (Bake > Full Render, 5 – 10 мин) и тестирование в VR показывает падение VRAM с 6 Гб до 3 Гб при сохранении реализма (отражения на окнах). Сжатие экономит 30 – 60 % VRAM, обеспечивая стабильность в длительных сессиях (1 – 2 ч), и улучшает восприятие материалов – ключ для эргономического анализа в архитектуре (табл. 2.2).

Оптимизация в различных ПК

Элемент модели	Оптимизация в Renga (BIM-фокус)	Оптимизация в Blender (Archipack)	Ожидаемое снижение нагрузки	Примечание
Стены / фасады	Упрощение до diffuse-материалов (без bump)	PBR-текстуры 2K + Unwrap UV auto	40 % полигонов, 25 % VRAM	Archipack: пресеты Concrete / Wood
Окна / двери	Параметрические low-poly (500 полигонов)	LOD Medium + Baked shadows (2K normals)	50 % FPS-рост	Избегать glass ray-tracing
Освещение / тени	Базовые источники (1 – 2 Point Lights)	Eevee Bake + HDRI 1K-res	35 % времени рендера	Denoise для чистоты

Оптимизация аппаратного обеспечения компьютера играет значительную роль в достижении высокой производительности VR-сессий, поскольку моделирование и рендеринг в программных комплексах (например, Blender или Renga) зависят не только от программных техник, но и от конфигурации GPU, CPU и системных настроек. Для графических процессоров NVIDIA GTX-серии (например, GTX 1050 или GTX 1060, распространенных в образовательных лабораториях) настройки в NVIDIA Control Panel ориентированы на максимальную производительность с минимальной задержкой. Power Management Mode устанавливается в режим Prefer Maximum Performance, чтобы GPU работал на полной мощности без энергосбережения; Low Latency Mode включается в Ultra для снижения задержек ввода; Vertical Sync (V-Sync) отключается, чтобы избежать ограничения FPS; Antialiasing Mode устанавливается в Off или Application Controlled, а Texture Filtering – в High Performance с Anisotropic Filtering на 16x для баланса качества и скорости. Threaded Optimization включается в On для лучшего использования многоядерных CPU, а Image Sharpening применяется со значением 0,5 – 0,7 для улучшения четкости без перегрузки. Эти настройки повышают FPS в Blender VR Session на 20 – 30 % и минимизируют стуттеры в SteamVR (данные сообщества NVIDIA, 2025). Для графических процессоров AMD Radeon (например, RX 5000 или RX 6000 серии) аналогичные настройки в AMD

Radeon Software фокусируются на Radeon Anti-Lag для снижения задержек ввода, V-Sync в Off – для неограниченного FPS, Radeon Chill – для динамического контроля кадров (минимум 72 FPS), FreeSync (если доступен монитор) – для синхронизации с VR-шлемом и Surface Format Optimization в On – для оптимизации текстур. AMD FidelityFX Super Resolution (FSR) включается в Performance mode для повышения разрешения без потери FPS, а Radeon Boost применяется для динамических сцен. Эти параметры обеспечивают стабильность в Blender Eevee рендеринге и SteamVR и рост производительности на 25 – 40 % в VR-симуляциях (данные AMD Community, 2025) (рис. 2.12).

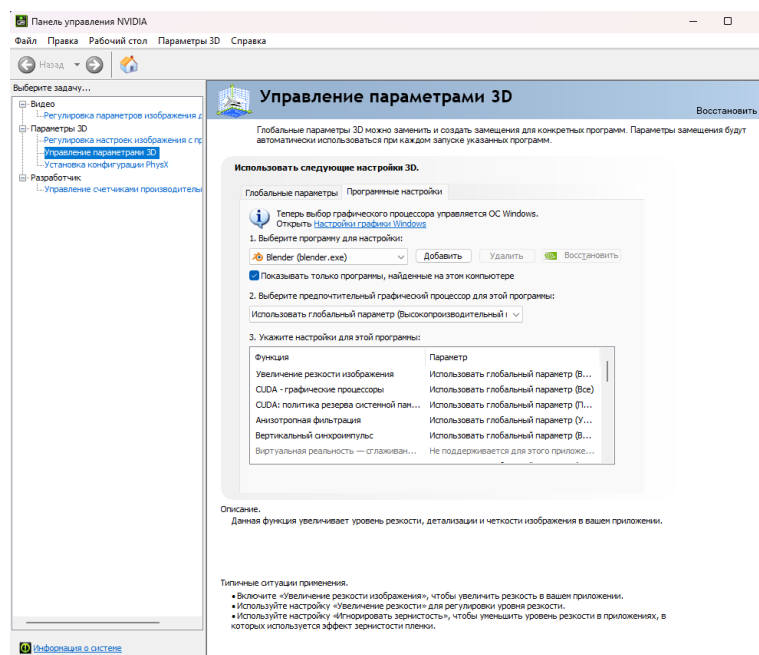


Рис. 2.12. Управление параметрами 3D

Процессоры (CPU) влияют на скорость обработки моделей, особенно в CPU-based рендеринге Cycles или при многозадачности в VR. Для процессоров Intel (например, Core i5 или i7 13-го/14-го поколения) акцент делается на высокую однопоточную производительность для задач вроде навигации в VR, где Turbo Boost включается для автоматического разгона (до 5 ГГц), а Hyper-Threading обеспечивает параллельную обработку (до 16 потоков). В Blender настройки в Preferences > System > Cycles Render Device устанавливаются в CPU для баланса с GPU, а в Windows Task Manager приоритет процесса Blender повышается до High. Для процессоров AMD (Ryzen 5/7 7000/9000 серии) многоядерность (до 16 ядер) идеальна для рендеринга, с Precision Boost

Overdrive (PBO) – для автоматического разгона (до 5,7 ГГц) и Ryzen Master – для мониторинга температур (< 80 °C). В Blender CPU-рендеринг комбинируется с GPU через OptiX или HIP, что снижает время запеченного освещения на 30 – 50 % (данные Blender Benchmark 2025). Общие рекомендации: минимум 8-ядерный CPU (Intel i5-13400 или AMD Ryzen 5 7600) с 16 Гб RAM, где в BIOS включается XMP для RAM (3200 – 6000 МГц), а в ОС – High Performance Power Plan для стабильного FPS > 72 в VR-сессиях. В гибридном рабочем процессе Renga/Blender эти настройки обеспечивают плавность на бюджетных конфигурациях, повышая доступность для студентов (рост производительности на 40 %, данные Puget Systems, 2025).

Обновление драйверов графических процессоров (GPU) и процессоров (CPU) представляет собой важный аспект оптимизации аппаратного обеспечения для VR-сессий, поскольку устаревшие драйверы снижают производительность, вызывают артефакты или несовместимость с программами, такими как Blender и SteamVR. Для видеокарт NVIDIA GTX-серии (например, GTX 1050 или GTX 1060, распространенных в базовых лабораториях) драйверы обновляются через приложение NVIDIA GeForce Experience или официальный сайт (nvidia.com). Последняя версия драйвера (например, 566.03 от октября 2025) обеспечивает поддержку OpenXR и SteamVR, улучшая производительность в Blender на 15 – 25 % и снижая задержки в VR (данные NVIDIA Developer, 2025) (рис. 2.13).

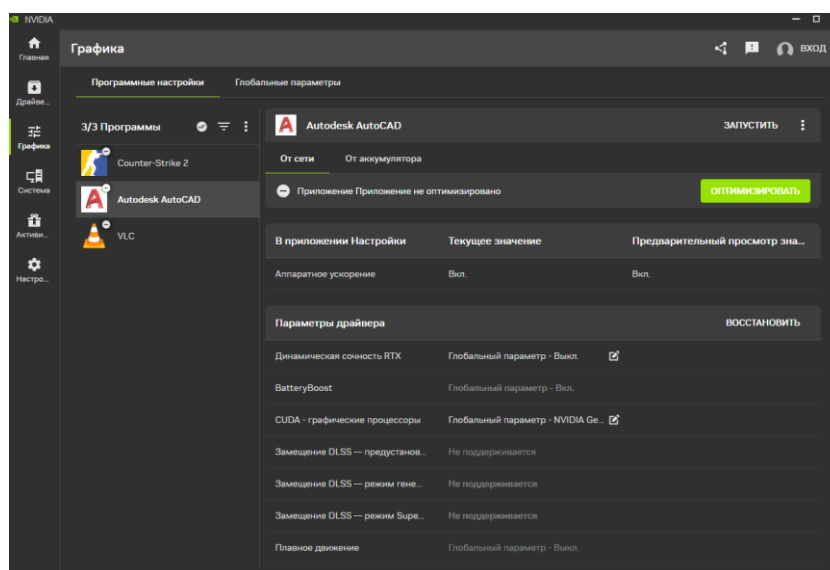


Рис. 2.13. NVIDIA GeForce Experience

В GeForce Experience раздел Drivers автоматически проверяет наличие обновлений, а Clean Installation удаляет старые версии для стабильности. Для видеокарт AMD Radeon (например, RX 5000 или RX 6000) обновление осуществляется через AMD Radeon Software Adrenalin (amd.com), где версия (например, 25.10.1) оптимизирует рендеринг Eevee и HIP в Blender, повышая FPS на 20 – 30 % в VR-сессиях (рис. 2.14).

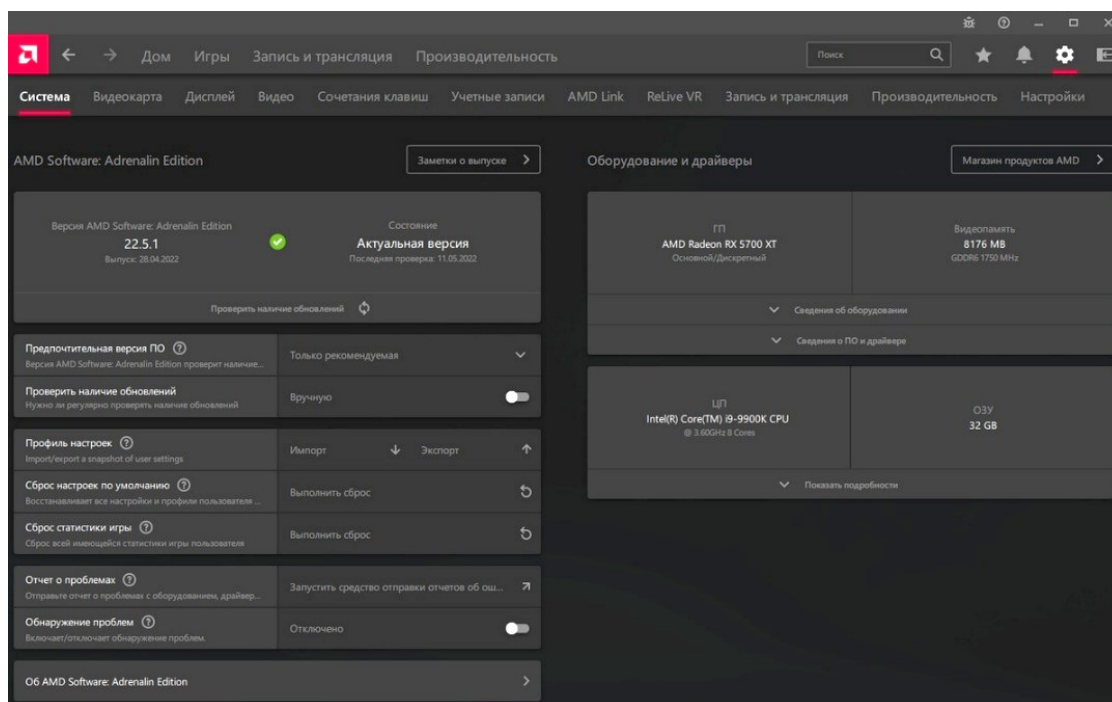


Рис. 2.14. AMD Radeon Software Adrenalin

Auto-Detect and Install упрощает процесс, а опция Factory Reset минимизирует конфликты. Для процессоров Intel (Core i5/i7 13-го/14-го поколения) и AMD (Ryzen 5/7 7000/9000) драйверы чипсета обновляются через сайты intel.com или amd.com, обеспечивая стабильность Turbo Boost или Precision Boost Overdrive, что ускоряет CPU-based задачи (например, bake в Cycles) на 10 – 20 %. Регулярное обновление драйверов (раз в 3 – 6 месяцев) поддерживает совместимость с Renga/Blender и HTC Vive, минимизируя сбои в образовательных VR-лабораториях.

Советы по производительности охватывают мониторинг FPS и настройку системы, где FPS (Frames Per Second – кадры в секунду) выступает метрикой плавности отображения: количество изображений, рендерящихся за секунду, с оптимальным значением 72 – 90 FPS (для

HTC Vive – 90, Oculus Rift – 72), поскольку ниже 60 вызывает ухудшение из-за несоответствия вестибулярной системе и зрению (эффект VR sickness). Показатель FPS измеряется инструментами вроде SteamVR Performance Graph или Blender Console, а высокий уровень обеспечивает иммерсию, позволяя студентам фокусироваться на анализе пространства.

2.4. Реальное применение VR в строительстве

Виртуальная реальность уже активно используется в строительной отрасли, помогая решать разные задачи: от проектирования и обучения до контроля качества и снижения рисков.

Виртуальная реальность позволяет «погрузиться» в 3D-модель проекта до начала строительства, помогает выявить проблемы на этапе планирования. Это особенно полезно для коллаборации между архитекторами, инженерами и заказчиками.

По данным отчета Fortune Business Insights, глобальный рынок VR в строительстве растет с 6,3 млрд долларов в 2021 году до 84 млрд долларов к 2028 году, а в 2025 году 36 % ведущих компаний Великобритании (по опросу 33 фирм) планируют внедрение VR для повышения эффективности. В России и мире VR снижает ошибки на 25 – 30 %, ускоряет проектирование на 40 – 50 % и улучшает безопасность, минимизируя реальные риски.

Визуализация и проектирование

Визуализация и проектирование с использованием VR революционизируют процесс создания архитектурных и строительных проектов, позволяя командам «погрузиться» в 3D-модель на ранних этапах, чтобы выявить несоответствия, оптимизировать планировку и согласовать решения с заинтересованными сторонами. Это особенно актуально в строительстве, где традиционные 2D-чертежи и макеты часто приводят к ошибкам, стоимость которых достигает 5 – 10 процентов от бюджета проекта (по данным McKinsey, 2024).

VR-платформы, такие как Autodesk Workshop XR, интегрированные с BIM-системами, обеспечивают иммерсивный обзор, где пользователи могут «ходить» по модели, измерять расстояния, аннотировать элементы и даже симулировать изменения в реальном времени (рис. 2.15).



Рис. 2.15. Модель, интегрированная с BIM-системами, обеспечивает иммерсивный обзор, где пользователи могут: а – «ходить» по модели; б – измерять расстояния

В 2025 году с ростом рынка XR в мировом строительстве такие инструменты снижают время на дизайн-ревью на 40 – 50 % и повышают точность на 30 %, минимизируя переделки на стройплощадке.

Autodesk Workshop XR – облачная VR-платформа, запущенная Autodesk в 2023 году и значительно обновленная в 2025 году для интеграции с Autodesk Construction Cloud (ACC), позволяющая АЕС-командам (Architecture, Engineering, Construction) совместно просматривать 3D-модели и связанные данные в иммерсивной среде. Платформа использует стандарт OpenXR для кросс-платформенности, поддерживая шлемы Oculus Quest 3, HTC Vive Pro 2 и даже мобильные устройства с AR-расширениями (рис. 2.16).

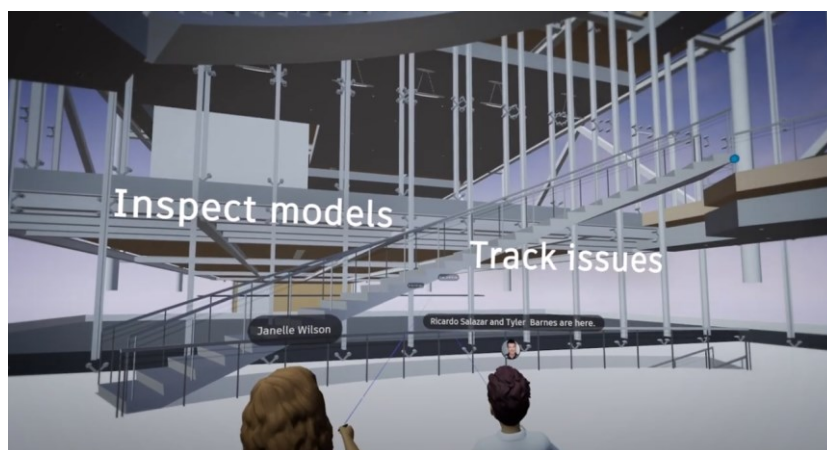


Рис. 2.16. Стандарт OpenXR для кросс-платформенности

Процесс начинается с загрузки BIM-модели из Revit или ACC в облако, где она автоматически оптимизируется (LOD-уровни, сжатие текстур до 2К), после чего пользователи подключаются к сессии через

VR-гарнитуру или веб-браузер. В реальном времени команды могут «ходить» по проекту, размещать аннотации (текстовые метки, стрелки), измерять расстояния (инструмент Measure с точностью ± 1 см) и даже импортировать реальные фото/видео с дронов для наложения на модель (рис. 2.17).

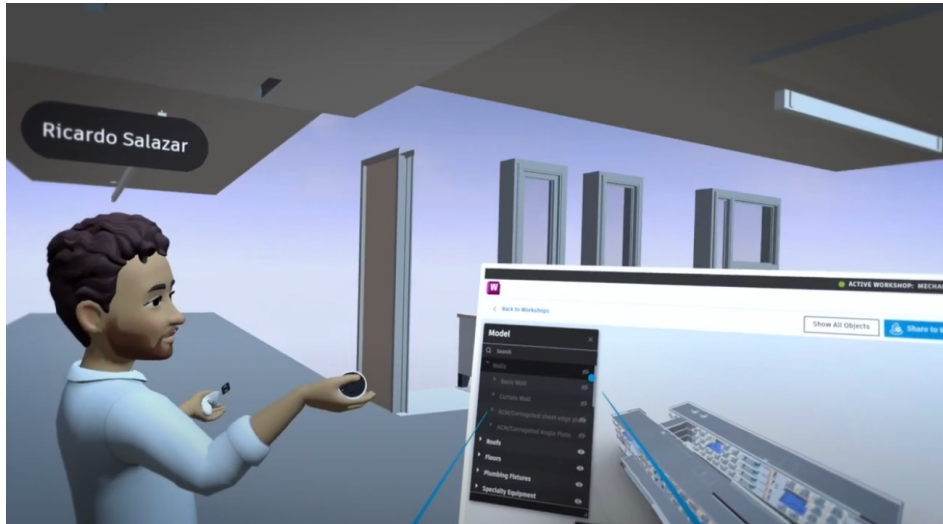


Рис. 2.17. Импорт реальных данных в модель

В 2025 году добавлена функция AI-ассистента (на базе Autodesk AI), который автоматически предлагает корректировки, такие как оптимизация освещения для энергоэффективности, основываясь на данных модели. Это делает Workshop XR не просто визуализатором, а инструментом для активного дизайна, где изменения (например, сдвиг стены) мгновенно отражаются для всех участников (рис. 2.18).

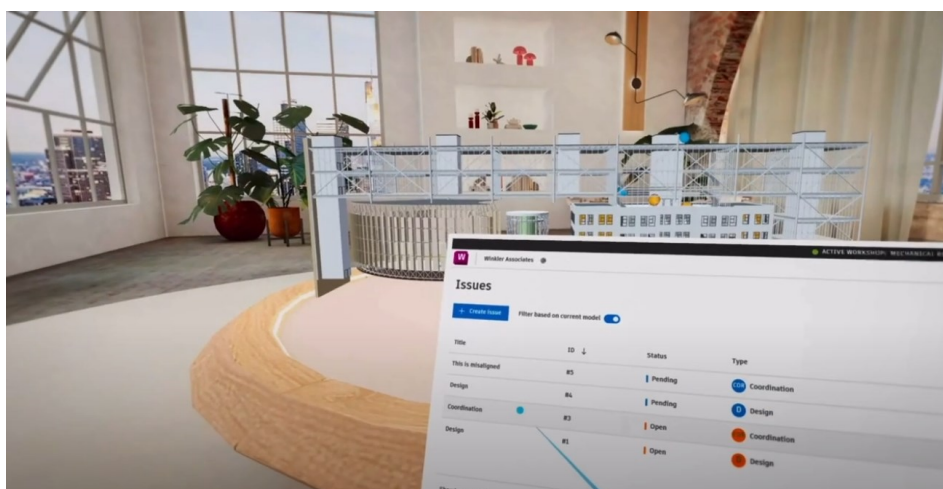


Рис. 2.18. Изменения параметров дизайна

Workshop XR выделяется бесшовной интеграцией с экосистемой Autodesk, что позволяет экспортировать модели из Revit напрямую в VR без конвертации, сокращая время на подготовку на 60 % по сравнению с традиционными инструментами вроде Navisworks. Многопользовательский режим (до 20 участников) поддерживает голосовую связь и аватары, расширяя коллаборацию: команды из разных городов могут «встретиться» в модели, обсуждая детали в контексте пространства. По данным Autodesk University 2025, использование Workshop XR снижает количество ошибок в планировке на 35 %, так как иммерсия помогает лучше понимать масштаб (например, высоту потолка или ширину коридора). В отчете Meta for Work (2025) подчеркивается, что VR-ревью, как в Workshop XR, повышает вовлеченность стейкхолдеров на 50 %, минимизируя недопонимание и ускоряя утверждение проектов. Для российских вузов платформа доступна через образовательные лицензии Autodesk (бесплатно для студентов) с возможностью комбинации с Renga: BIM-модель из Renga экспортируется в ACC для Workshop XR, обеспечивая соответствие ГОСТам и импортозамещение (рис. 2.19).



Рис. 2.19. Командное участие в VR-обзоре объекта

Один из ярких примеров – проект строительства больницы в Калифорнии (Autodesk Case Study, 2024 – 2025), где Workshop XR был

внедрен для дизайн-ревью на этапе планирования. Команда из 15 специалистов (архитекторы, инженеры, подрядчики) проводила еженедельные VR-сессии на Oculus Quest 3, загружая модель из Revit (объем 2 Гб) в Construction Cloud. В иммерсивной среде они «проходили» по палатам, измеряя расстояния между койками (минимум 2,4 м по нормам) и аннотируя проблемы, такие как недостаточное естественное освещение в коридорах. AI-ассистент предлагал варианты (добавление окон), которые тестировались в реальном времени. Результат: выявлено 28 % несоответствий (например, в системе вентиляции), что сэкономило 750 000 долларов на переделках; проект завершен на 3 месяца раньше срока. Интересный факт: в сессиях участвовали удаленные эксперты из Европы, что снизило углеродный след от поездок на 70 % (рис. 2.20).

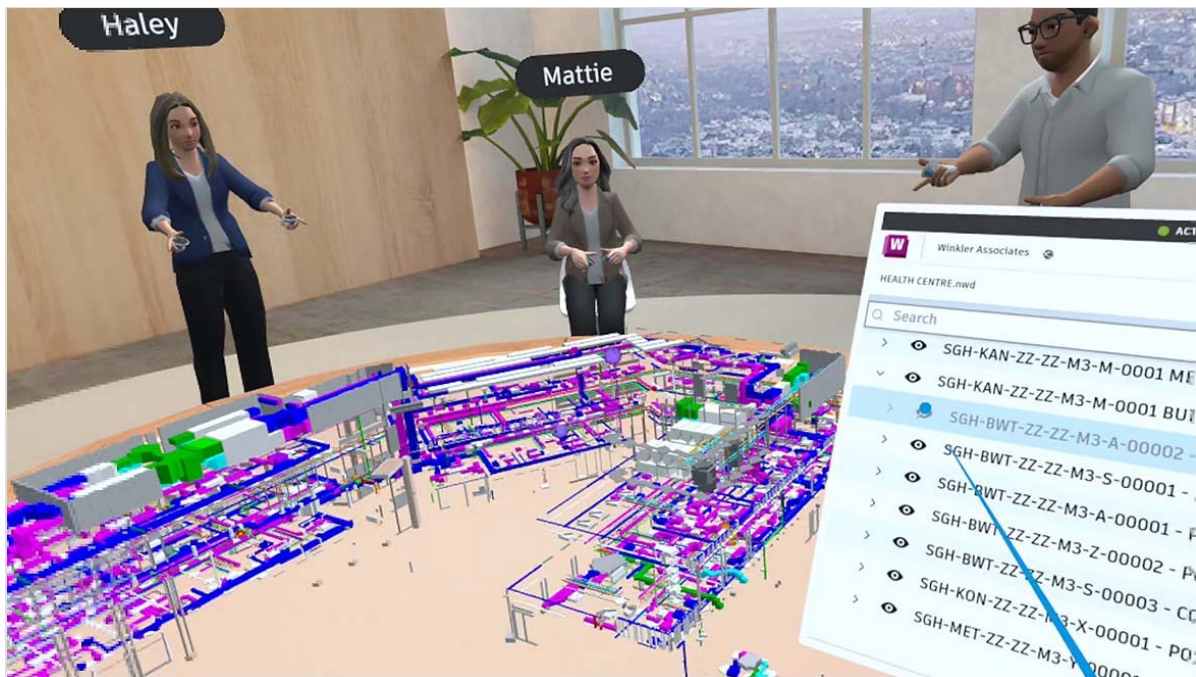


Рис. 2.20. VR-сессии при проектировании больницы в Калифорнии

ETH Zurich – Швейцарская высшая техническая школа Цюриха, которая славится инновационным подходом к обучению и исследованиям в разных областях, в том числе и инженерии, активно использует Twinmotion и VR для ландшафтного дизайна, особенно в рамках конференций и исследований по цифровой архитектуре ландшафта (Digital Landscape Architecture, DLA 2024). «Проект ландшафтного

парка 2024» – это иллюстрация на основе реальных тенденций: ETH проводит воркшопы и кейсы с Twinmotion для симуляции урбанистических и ландшафтных пространств, включая анализ доступности и сезонных изменений. Пока таким образом не устроено ни одного «парка 2024», но Twinmotion уже применяется для ландшафтных симуляций (рис. 2.21).

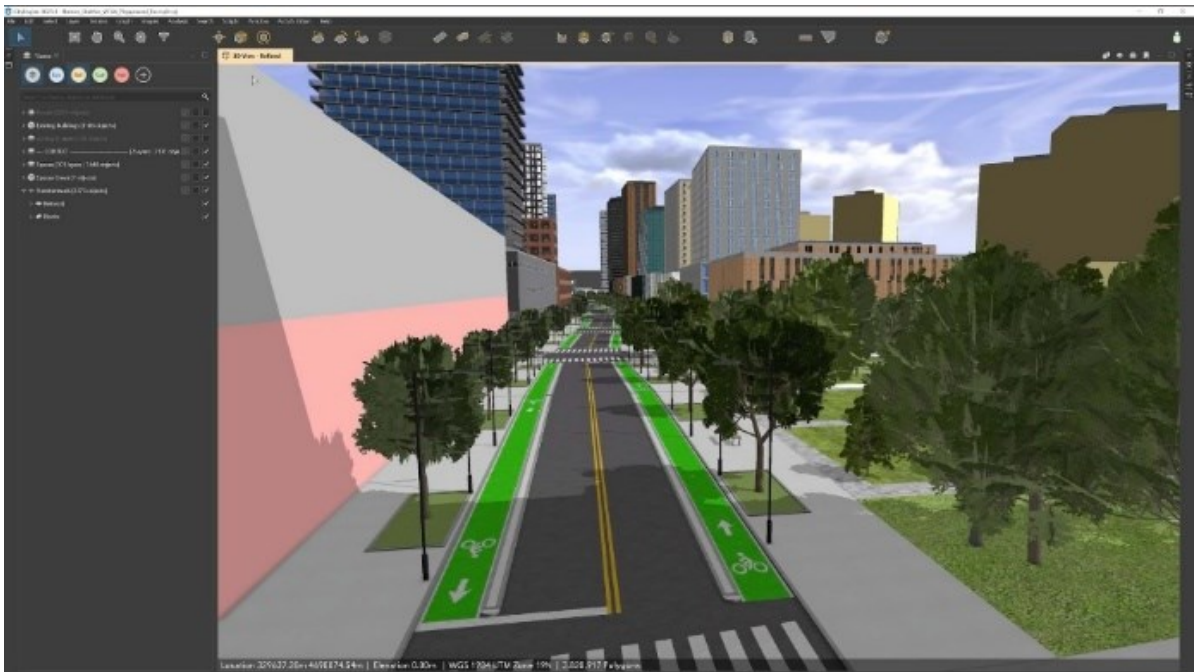


Рис. 2.21. Пример городского дизайна, выполненный в CityEngine и готовый к экспорту

Twinmotion, платформа от Epic Games на базе Unreal Engine, представляет собой мощный инструмент для визуализации и проектирования ландшафтных пространств, где VR позволяет «погрузиться» в динамичные симуляции окружающей среды. В контексте ETH Zurich 2024 года Twinmotion интегрируется в образовательные воркшопы по цифровой ландшафтной архитектуре (DLA Conference, июнь 2024), где студенты и исследователи моделируют парки и урбанистические зоны, фокусируясь на сезонных изменениях, трафике и доступности. Процесс начинается с импорта 3D-моделей из CAD-систем (Revit, SketchUp, Blender) или GIS-данных (ArcGIS CityEngine), где платформа автоматически генерирует реалистичную среду: деревья с сезонной анимацией (листва, снег), динамический трафик (пешеходы, велосипеды) и погодные эффекты (дождь, туман) (рис. 2.22).

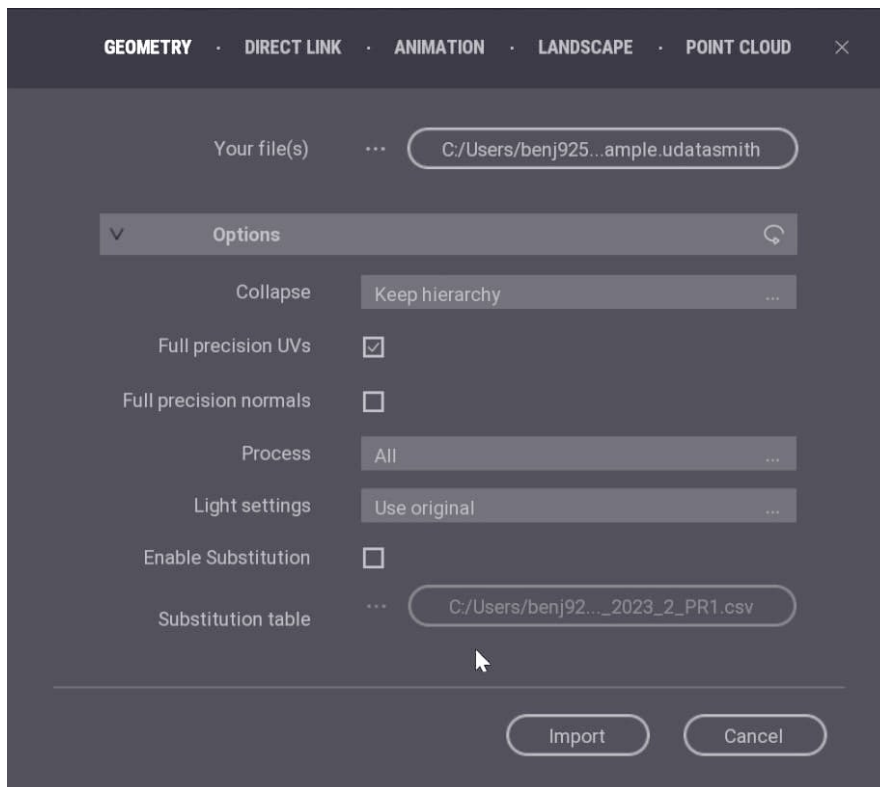


Рис. 2.22. Импорт Datasmith в Twinmotion

В VR-режиме (поддержка Oculus Quest, HTC Vive, SteamVR) пользователи «проходят» по парку от первого лица, измеряя расстояния (инструмент Measure, точность $\pm 0,5$ м), тестируя видимость (например, высоту зеленых насаждений для приватности) и симулируя сценарии (поток 100+ людей в час пик) (рис. 2.23).



Рис. 2.23. Создание рельефа в CityEngine с помощью кисти для редактирования рельефа

В 2024 году ETH расширила это AI-интеграцией: Twinmotion с Quixel Megascans генерирует реалистичные ландшафты на основе спутниковых данных, а Path Tracer обеспечивает фотореалистичный рендеринг (denoiser для чистоты в 4K). Системные требования минимальны (Windows 10+, GTX 1060, 8 Гб RAM), но для VR рекомендуется RTX 3060 для стабильного FPS > 90 (рис. 2.24).



Рис. 2.24. Заполнение улицы пешеходами, велосипедистами и автомобилями

Виртуальное представление проекта предполагает использование BIM (информационного моделирования зданий) в сочетании с VR для создания интерактивных 3D-моделей, которые заменяют традиционные чертежи и статические рендеры. Это позволяет заказчикам и проектировщикам «погружаться» в будущее здание, осматривать его с разных ракурсов и выявлять потенциальные проблемы на этапе планирования. Onix анимировала Messe Berlin, создав динамическую 3D-модель с хореографией движения, что улучшило визуализацию для стейкхолдеров.

В российском контексте это реализовано, например, в «ПИК Групп», где для ЖК «Скандинавия» (Москва, 2023 – 2025) моделируются квартиры (1-комнатные 35 м² с кухней 10 м²) и благоустройство (дворы, парковки) в Renga, после чего экспортируются в .fbx для доработки в Blender с аддоном Archipack, а затем предоставляются возможности для просмотра в SteamVR на HTC Vive. Это снижает ошибки планировки на 30 % и повышает удовлетворенность клиентов на 32 % согласно опросам ПИК (рис. 2.25).

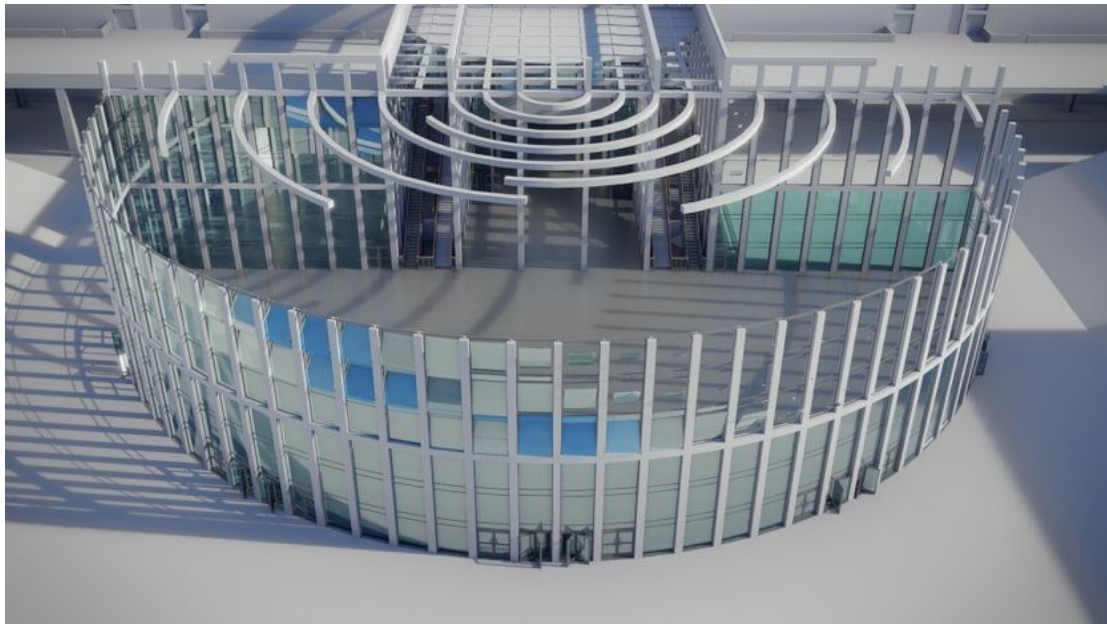


Рис. 2.25. Модель выставочного комплекса Messe Berlin, созданная компанией Onix

Виртуальное обучение использует VR-тренажеры для повышения безопасности и подготовки специалистов, моделируя опасные ситуации в контролируемой среде. Это особенно важно в отрасли с высоким риском (падения, работа с техникой), где традиционное обучение ограничено. Onix разработала VR-симулятор для строительства небоскреба, где рабочие оттачивают свои навыки на высоте и с оборудованием, используя HTC VIVE (рис. 2.26).

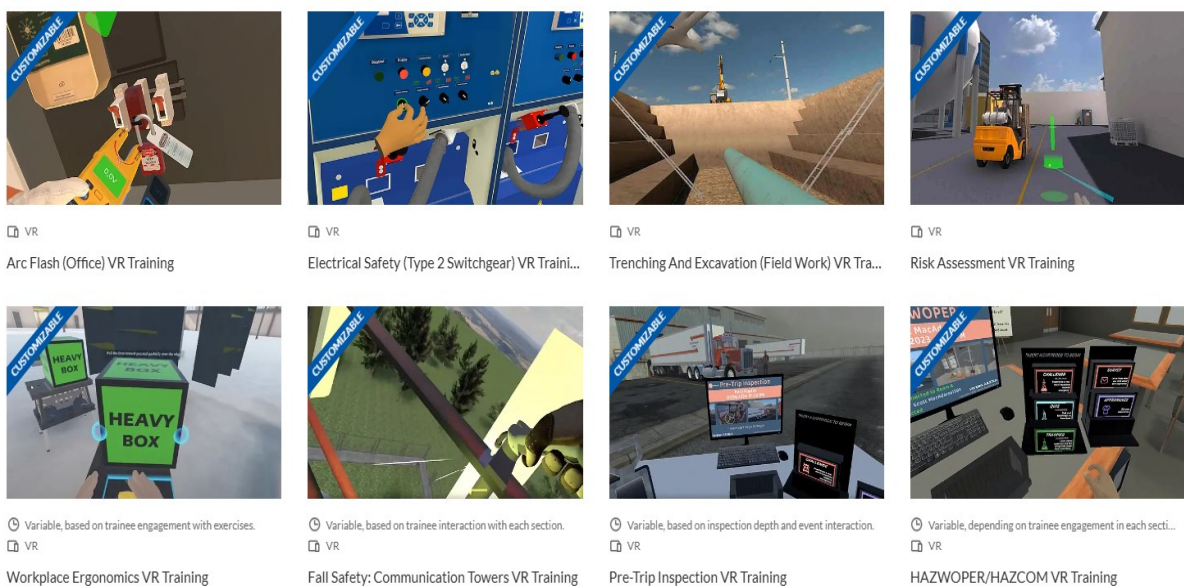


Рис. 2.26. Виртуальное обучение строительному производству

В проекте строительства новой больницы Nova в Центральной Финляндии (Jyväskylä, открытие состоялось в конце 2020 года) BIM (информационное моделирование зданий) и VR были использованы для вовлечения более 350 сотрудников в процесс проектирования, чтобы обеспечить соответствие здания нуждам пользователей. Это первая полностью новая больница в центральном здравоохранении Финляндии с 1970-х годов с площадью 116 000 м², ориентированная на современную эффективность и снижение эксплуатационных затрат на 10 %. Проект, выполненный JKMM Architects с использованием Archicad и BIMcloud, включал регулярные воркшопы и встречи с персоналом (врачи, медсестры, лабораторный персонал), где BIM-модели преобразовывались в VR-туры с помощью Tridify. Персонал «посещал» виртуальную больницу, анализируя пространства (операционные, палаты, коридоры), измеряя расстояния (минимум 2,4 м между койками) и предоставляя обратную связь по эргономике и функциональности. Демонстрационный VR-павильон рядом со стройплощадкой посетили более 3000 человек, что способствовало выявлению проблем на ранних этапах и корректировке дизайна. Это ускорило итерации на 40 – 50 % и повысило вовлеченность на 60 % (отчеты Tridify и BIM+, 2020) (рис. 2.27).



Рис. 2.27. Больница Нова

VR Hotel – это иммерсивное приложение виртуальной реальности, разработанное Program-Ace для оптимизации процесса проектирования и планирования интерьеров отелей, основанное на концепции клиента. Приложение позволяет сотрудникам (дизайнерам, инженерам) перемещаться по реалистично воссозданному пространству отеля с использованием контроллеров HTC Vive, выполняя оценку помещений, точные измерения (инструмент Measure с точностью ± 1 см), проектирование (перестановка мебели, изменение освещения) и планирование интерьера в реальном времени. Разработанное за месяц командой из трех разработчиков и 3D-художников на базе Unity Engine, оно использует HD-текстуры для фотореализма (high-poly ассеты, тени, освещение) и поддерживает кастомизацию (добавление объектов, смена стилей). Цель – сократить затраты на физические визиты и ошибки на 30 – 40 %, повысив производительность. В 2024 году VR Hotel продемонстрировано на GDC, с ROI 200 % за счет экономии времени (Program-Ace, 2024) (рис. 2.28).



Рис. 2.28. VR Hotel

Интерактивная 3D-визуализация курортного отеля в центре города, разработанная Program-Ace, представляет собой высококачественный инструмент для презентации сложных объектов недвижимости, обеспечивающий иммерсивные впечатления с «игровым» управлением. На основе опыта в 3D-графике компания создала реалистичную курортную зону (отели, спа, зоны отдыха), где пользователи свободно перемещаются между зонами (лобби, бассейн, сады) с помощью контроллеров, взаимодействуя с элементами (открытие дверей, лифт, персонажи). Разработано на Ace3D Engine с high-poly ассетами (Full-HD текстуры, вода, тени), поддерживает поиск, бронирование и кастомизацию (рис. 2.29).



Рис. 2.29. Пользовательская 3D-демонстрация архитектурной визуализации отеля

В Нью-Рошелле (штат Нью-Йорк, 2020 – 2025) запущена платформа NRVR (New Rochelle Virtual Reality), позволяющая визуализировать запланированные улучшения центра города через 360-градусные VR-туры, для вовлечения жителей в урбанистическое планирование. Победитель Bloomberg Mayors Challenge 2018 (грант 1 млн долларов), NRVR охватывает 3 млн м² развития (The Linc – линейный парк 1 миля, театр, парки, зонирование Lincoln Avenue). Жители просматривают модели на смартфонах, киосках или VR-пространстве на вокзале, предоставляя обратную связь через опросы. Это выявляет проблемы (пешеходная доступность, зеленые зоны) и ускоряет утверждение

на 30 – 40 % (Bloomberg Philanthropies, 2020). В 2024 году NRVR расширен на AR для наложения улучшений на реальность.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы основные шаги экспорта модели из Renga в формат FBX для последующего использования в VR и почему этот формат предпочтителен для импорта в Unity?

2. Как в VR-среде (HTC Vive) можно симулировать нагрузки на конструктивные элементы модели (например, на металлические балки) и для чего это применяется в проектировании?

3. Какие преимущества и возможные проблемы возникают при использовании российского ПО (например, Renga) для создания BIM-модели перед экспортом в VR?

4. Что представляет собой виртуальная среда для архитектурного проектирования?

5. Какие отличия существуют между CAD-, BIM- и VR-системами?

6. Какие основные задачи решаются с помощью Revit VR?

7. Как активируется VR-режим в Renga Architecture?

8. В чем заключается преимущество Renga Architecture в контексте импортозамещения?

9. Как осуществляется экспорт модели из Renga в Blender для работы с VR?

10. Какие возможности предоставляет плагин Enscape для визуализации проектов?

11. Каковы преимущества использования Twinmotion для архитектурных симуляций?

12. Что обеспечивает многопользовательский режим в IrisVR?

13. Какие задачи решает аддон Archipack в Blender при VR-проектировании?

14. Чем отличается работа с VR в Blender от традиционного 3D-моделирования?

15. Какую роль играет отечественная платформа Varwin в образовательном процессе?

16. Какие возможности предоставляет ModumLab для создания обучающих VR-тренажеров?

17. В чем особенности интеграции Varwin и Renga Architecture в рамках учебных проектов?

18. Что такое FPS и почему важно поддерживать его выше 72 кадров в секунду при VR-сессии?

19. Какие методы оптимизации 3D-моделей используются для повышения производительности в VR?

20. Что означает понятие LOD (Level of Detail) и как оно применяется в архитектурных VR-проектах?

21. Как VR помогает в оценке эргономики и функциональности архитектурных объектов?

22. Какие риски связаны с перегрузкой сенсорной системы при работе в VR и как их минимизировать?

Глава 3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ VR В ПРОЕКТИРОВАНИИ НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ RENGA И BLENDER

Виртуальная реальность становится неотъемлемой частью современного проектирования, предоставляя архитекторам, инженерам и студентам возможность визуализировать и анализировать 3D-модели в иммерсивной среде. Данная глава описывает практическое применение VR для проектирования с использованием ПО Renga Architecture и Blender, адаптированного для российской образовательной и профессиональной практики. Процесс включает создание 3D-модели в Renga, ее импорт в Blender через формат .obj, настройку VR через SteamVR и проведение интерактивных туров с измерениями и проверкой функциональности. Такой подход соответствует ФГОС по архитектуре и строительству, обеспечивает импортозамещение и развитие практических навыков.

3.1. Подготовка инструментов и установка

Подготовка инструментов для работы с VR в проектировании включает установку ПО и оборудования, что обеспечивает совместимость и стабильность процесса. Renga Architecture (версия 4.0 или новее, разработанная АСКОН, 2025) используется как основа для создания BIM-моделей, соответствующих ГОСТам (например, ГОСТ 21.101-2020 для чертежей).

Программа загружается с официального сайта ascon.ru (лицензия для образования бесплатна или от 50 000 руб. для коммерческой версии) и устанавливается на Windows 10+ (минимум Intel Core i5, 8 Гб RAM, NVIDIA GTX 1050) (рис. 3.1).

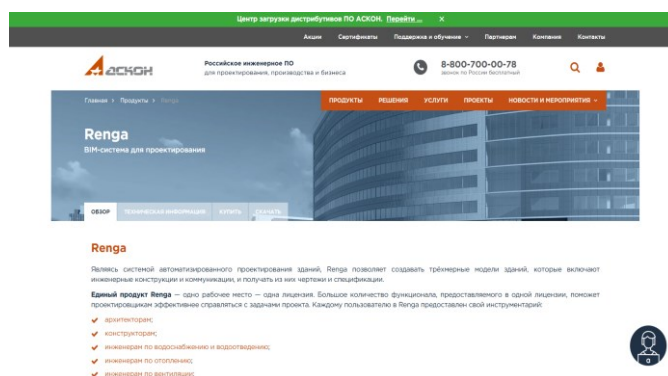


Рис. 3.1. Официальный сайт ascon.ru

После установки есть возможность активировать VR-режим в настройках (галочка «Виртуальная реальность» в 3D-виде), совместимый с Oculus Rift для базового просмотра непосредственно в ПО Renga. Для более глубокого анализа модели файл можно перенести в программу Blender для использования HTC Vive. Для расширения функциональности экспорта в .obj необходимо настроить плагин Export OBJ в меню «Файл» → «Экспорт».

Blender, бесплатный 3D-редактор с открытым исходным кодом, загружается через Steam для интеграции с VR, что упрощает подключение SteamVR. Сначала устанавливается Steam (steamcommunity.com) (бесплатно, аккаунт создается за 2 мин), потом в библиотеке добавляется Blender (бесплатно, версия 4.2 или новее, 2025) (рис. 3.2).

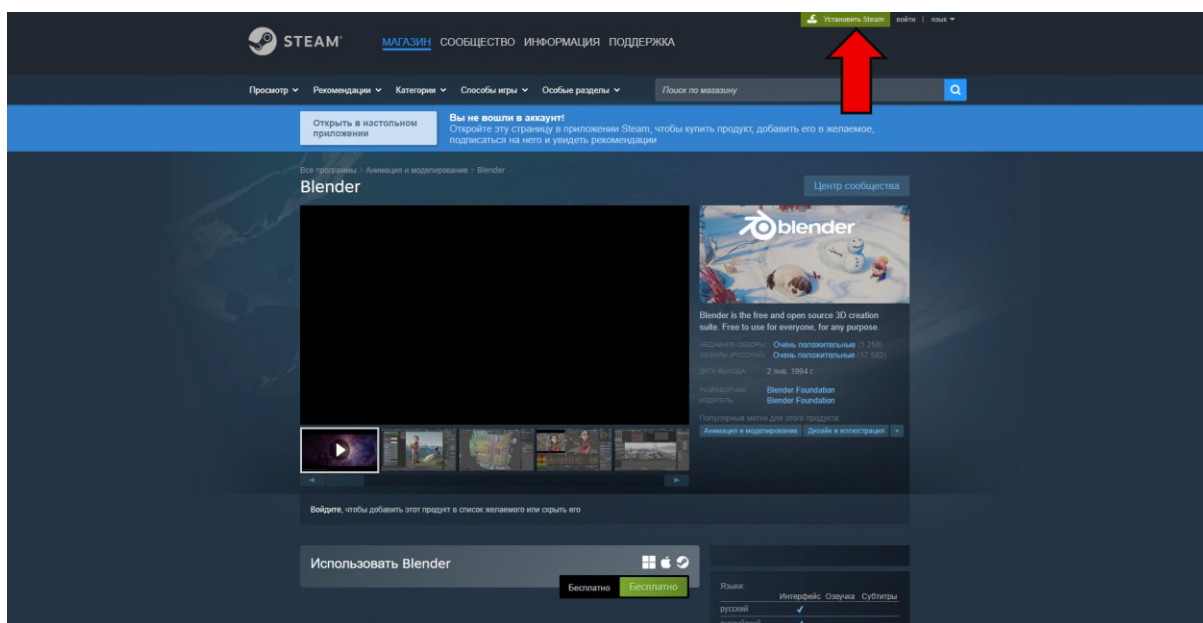


Рис. 3.2. Скачивание Steam

Установка занимает 5 – 10 мин: запустите Steam, найдите Blender в магазине, скачайте (размер ~500 Мб). Активируйте аддон Archipack в Blender (Preferences > Add-ons > Search «Archipack», галочка для активации) для параметрического моделирования архитектурных элементов (стены, окна, лестницы).

Для полноценной работы с VR в Blender с использованием HTC Vive необходимо правильно настроить SteamVR, что включает установку, калибровку и подключение оборудования. Начните с добавления SteamVR в вашу библиотеку Steam: откройте Steam, перейдите в

раздел «Библиотека», нажмите «Добавить игру» внизу слева, выберите «Добавить не из списка Steam» и найдите SteamVR в доступных приложениях (оно предустановлено в Steam и бесплатное) (рис. 3.3).

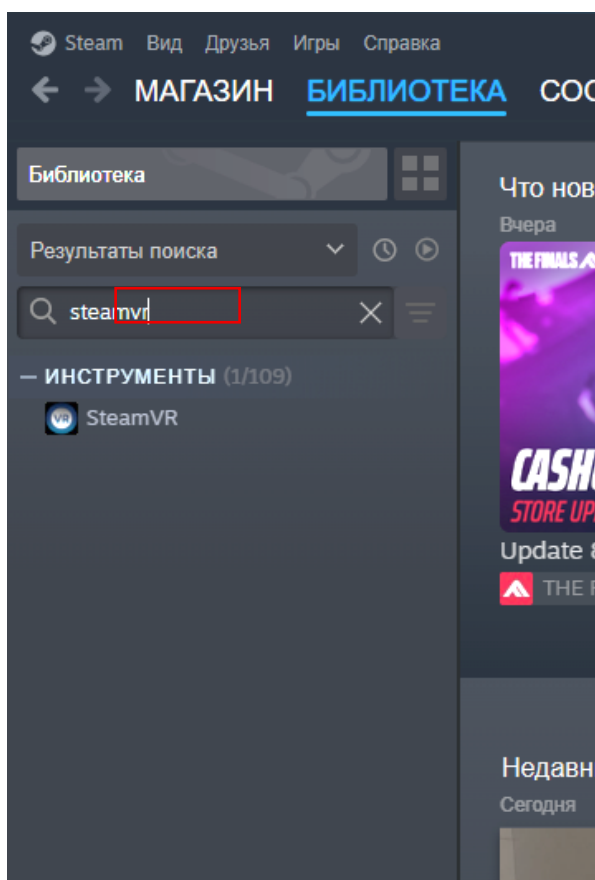








Рис. 3.3. Добавление SteamVR в библиотеку Steam

После добавления запустите SteamVR через «Библиотека» → «Инструменты» → SteamVR, что откроет интерфейс настройки. Первое, что потребуется, – обновление фирменного ПО HTC Vive. Подключите шлем HTC Vive к ПК через кабель HDMI и USB (используйте адаптер DisplayPort, если видеокарта не поддерживает HDMI 1.4), а также синхронизируйте базовые станции (lighthouse) через USB-порты. Убедитесь, что базовые станции размещены на высоте 2 м, под углом 30 – 45° друг к другу, охватывают пространство 2×2 м (минимальная площадь для трекинга). Включите питание базовых станций (переключатель на задней панели) и синхронизируйте их с помощью кнопки Sync (зеленый индикатор сигнализирует о готовности).

Оборудование включает следующие компоненты (табл. 3).

Таблица 3

Оборудование для технологий виртуальной реальности

Компонент	Описание	Минимальные требования
VR-шлем HTC Vive 	Основное устройство для погружения в виртуальную среду, подключается к ПК через HDMI и USB	Поддержка HDMI 1.4 или DisplayPort, разрешение 1200×1080 на глаз
Контроллеры для взаимодействия (Vive Controller) 	Два беспроводных контроллера для управления в VR (телепортация, измерения, аннотации)	Аккумуляторы (до 6 ч работы), синхронизация через триггер
ПК (минимальные требования) 	Основная вычислительная платформа для работы с SteamVR и Blender	Процессор: Intel Core i5-13400 или AMD Ryzen 5 5600X, 16 Гб RAM, видеокарта NVIDIA GTX 1060 (6 Гб) или AMD RX 580
Базовые станции (Lighthouse) 	Две станции для трекинга движения шлема и контроллеров в пространстве 2×2 м	Высота установки 2 м, угол 30 – 45°, подключение через USB
Кабели и аксессуары 	Необходимы для подключения и питания оборудования	HDMI-кабель (5 м), USB 2.0/3.0, Link Box с питанием 12V
Пространство для трекинга 	Минимальная площадь для безопасного использования VR	2×2 м, свободное от препятствий (столы, стулья)

Далее настройте трекинг: наденьте шлем HTC Vive, запустите SteamVR и следуйте инструкциям на экране (калибровка занимает 3 – 5 мин). SteamVR автоматически определит шлем и контроллеры (Vive Controller): нажмите триггер на каждом контроллере для синхронизации (светодиоды загорятся зеленым) (рис. 3.4).

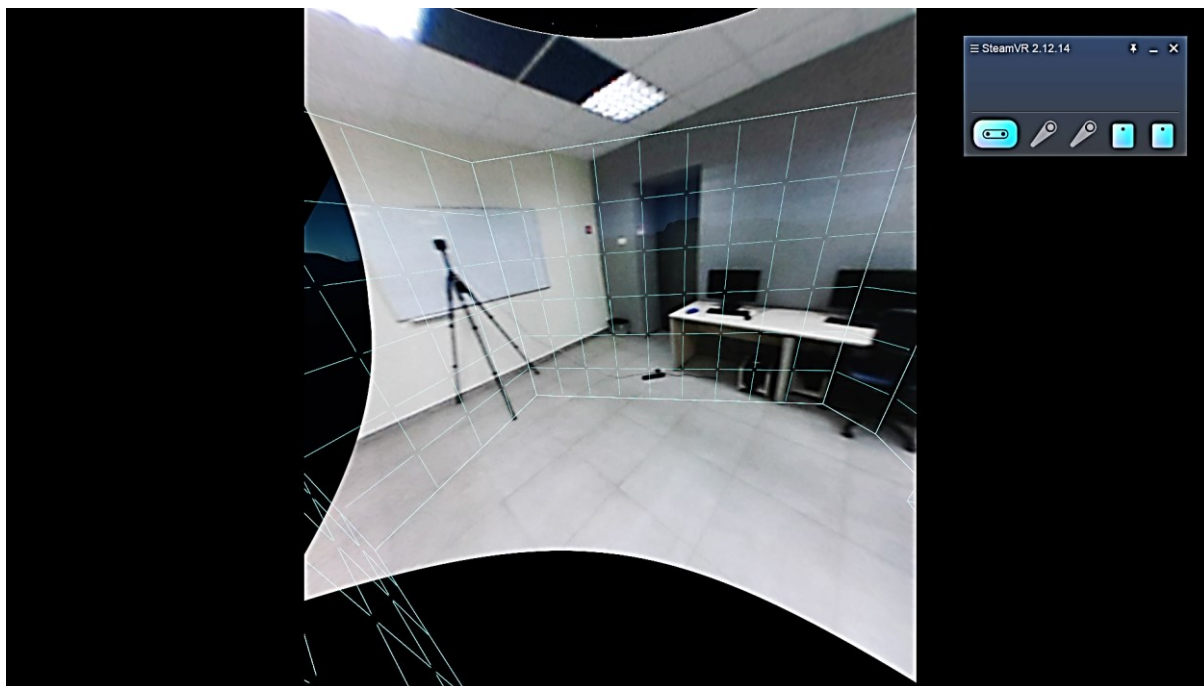


Рис. 3.4. Настройка трекинга

Настройте Play Area (игровую зону): выберите Room-Scale (комнатный трекинг), определите границы – минимум 2×2 м, перемещаясь по комнате с контроллерами (нажмите Outline Play Area и следуйте указаниям, обозначая углы). Убедитесь, что пространство свободно от препятствий (столов, стульев) – используйте лазерный указатель контроллеров для точной разметки. Проверьте трекинг, подняв руки с контроллерами: точки на экране должны следовать движениям без задержек (latency < 20 мс). Если трекинг теряется, проверьте освещение (избегайте прямых солнечных лучей) и расстояние между базовыми станциями (не более 5 м) (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Настройка трекинга

После калибровки протестируйте подключение в Blender: запустите Blender через Steam, перейдите в Window → OpenXR → VR Session. Наденьте шлем – вы увидите интерфейс Blender в VR с виртуальными руками (управляются контроллерами). Настройте разрешение (рекомендуется 2560×1440 на глаз для HTC Vive) в SteamVR Settings > Video, чтобы минимизировать артефакты. Проверьте FPS (целевой 90) через SteamVR Performance Graph (должно быть > 90 % зеленой зоны). Если FPS падает (например, < 60), оптимизируйте модель (снижение полигонов до 50 000) или обновите драйверы NVIDIA (GeForce Experience, версия 552.22 или новее, 2025). Для стабильности используйте кабель Link Box HTC Vive (питание 12V) и проверьте температуру GPU (не выше 80 °C). Эта настройка занимает 10 – 15 мин и обеспечивает плавный VR-опыт, совместимый с дальнейшим импортом .obj из Renga.

3.2. Создание и экспорт 3D-модели из Renga

Создание 3D-модели начинается в Renga с проектирования базовой структуры дома [7]. По исходным данным в виде планов 1-го и 2-го этажей создается полный проект малоэтажного коттеджа, содержащий все конструктивные элементы, необходимые для экспорта файла модели (рис. 3.6).

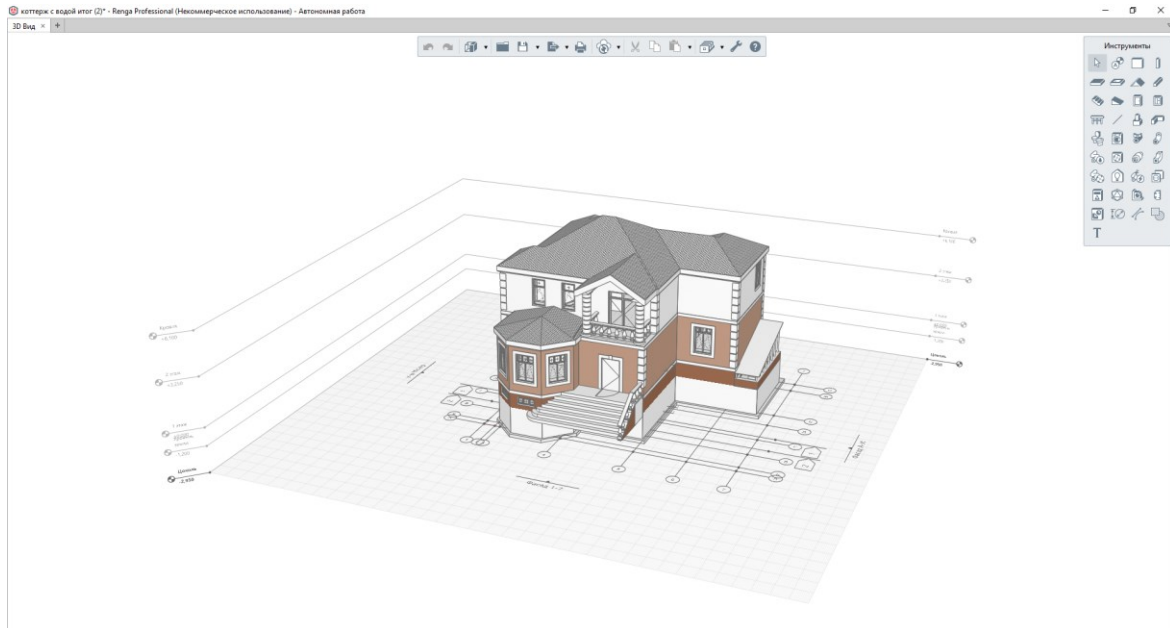


Рис. 3.6. Создание 3D-модели в Renga

Используйте инструменты Renga для автоматической генерации сечений и фасадов, экспортируя в .obj через «Файл» → «Экспорт» → «Экспорт в 3D» (рис. 3.7).

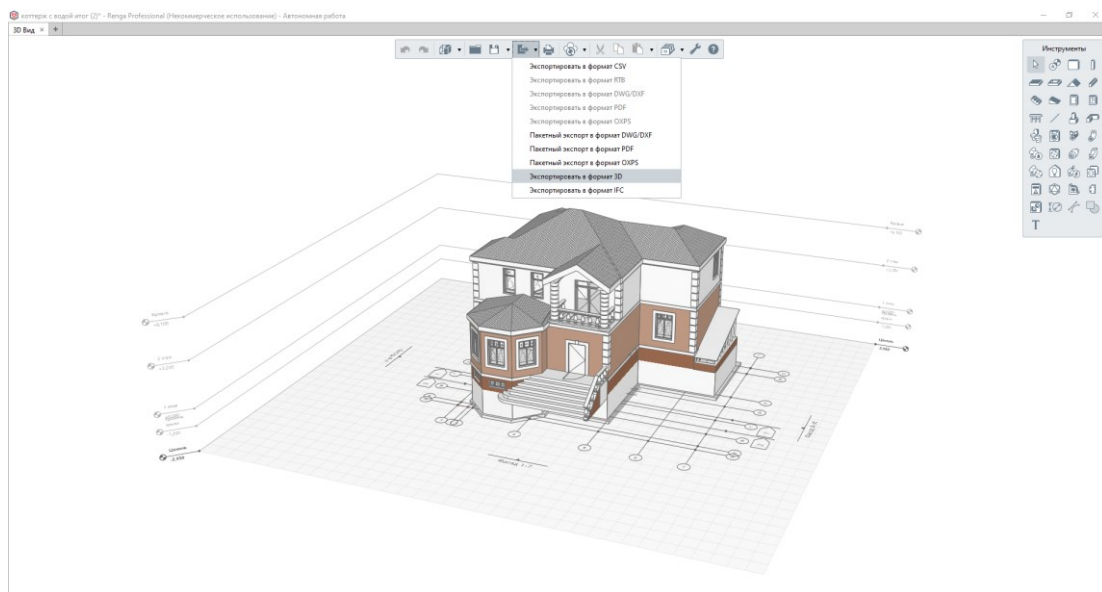


Рис. 3.7. Экспорт в 3D

Далее программа предложит сохранить вашу модель из Renga в один из возможных форматов 3D. Сохраните файл в формате Wavefront OBJ с включением текстур и материалов для сохранения деталей в Blender (рис. 3.8).

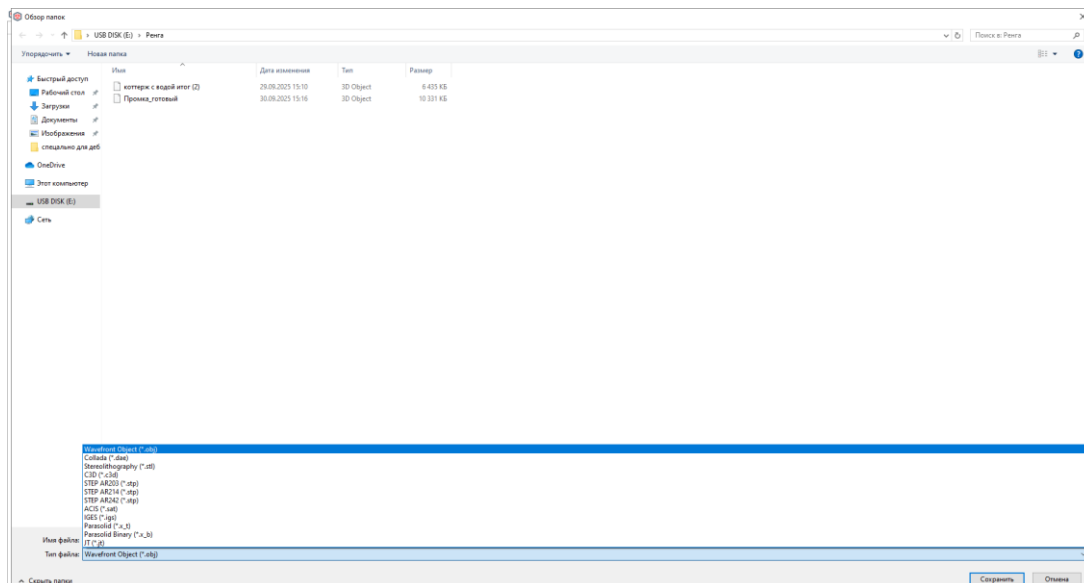


Рис. 3.8. Сохранение файла в формате Wavefront OBJ

3.3. Импорт модели из Renga в Blender

Запуск и настройка Blender через Steam – ключевой этап для интеграции с VR и подготовки к работе с моделью. После установки Blender через Steam (как описано в п. 4.1) откройте Steam, найдите Blender в «Библиотеке» и дважды щелкните для запуска (процесс занимает 10 – 15 с). При первом запуске Steam может запросить обновление Blender (размер ~100 Мб), подтвердите его, если у вас установлена более ранняя версия (рис. 3.9).



Рис. 3.9. Запуск и настройка Blender через Steam

Импорт модели в Blender осуществляется через File → Import → Wavefront (.obj), где файл из Renga загружается с сохранением масштаба (1:1). Если ваш файл .obj нечитаем для Blender, то нужно принять более старую модель импорта .dae (рис. 3.10).

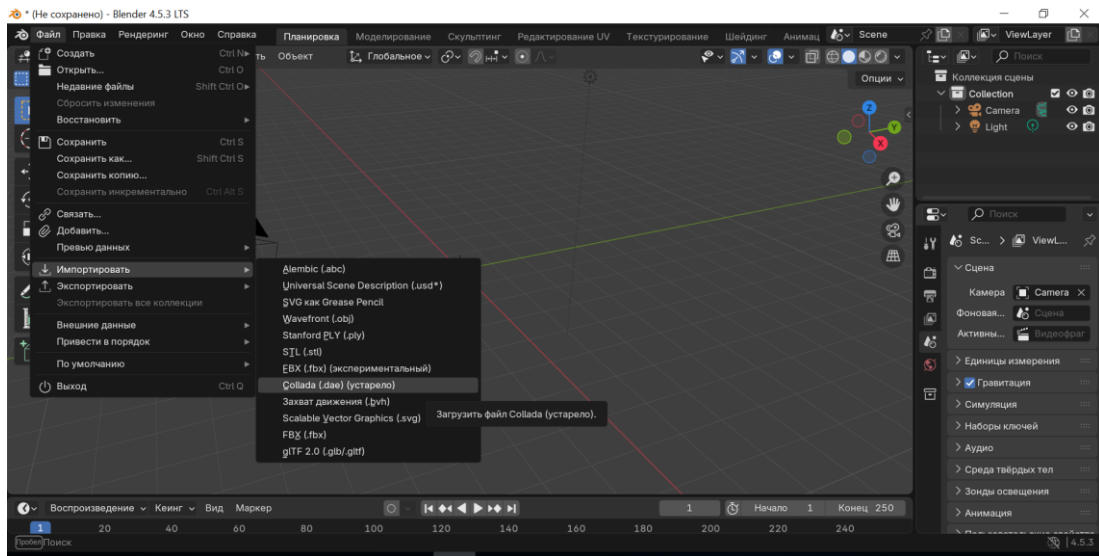


Рис. 3.10. Импорт модели в Blender

Проверьте геометрию в Edit Mode, исправляя ошибки (пересечения стен с помощью Boolean Modifier). Оптимизируйте модель LOD (Level of Detail) в Archipack (Object Properties > LOD Settings: High для интерьера, Low для экстерьера), снижая полигоны до 50 000 для плавности VR (рис. 3.11).

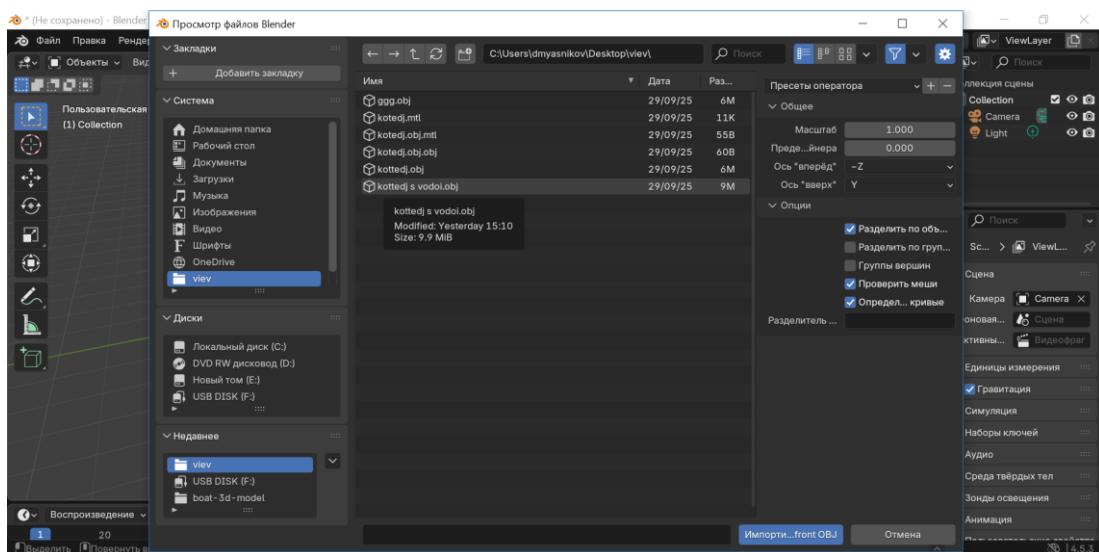


Рис. 3.11. Проверка геометрии в Edit Mode

Готовую модель через опции «переместить» и «повернуть» выровняйте и приведите к естественному положению в осях, а затем разместите в пространстве вашего созданного файла в программном комплексе Blender (рис. 3.12).

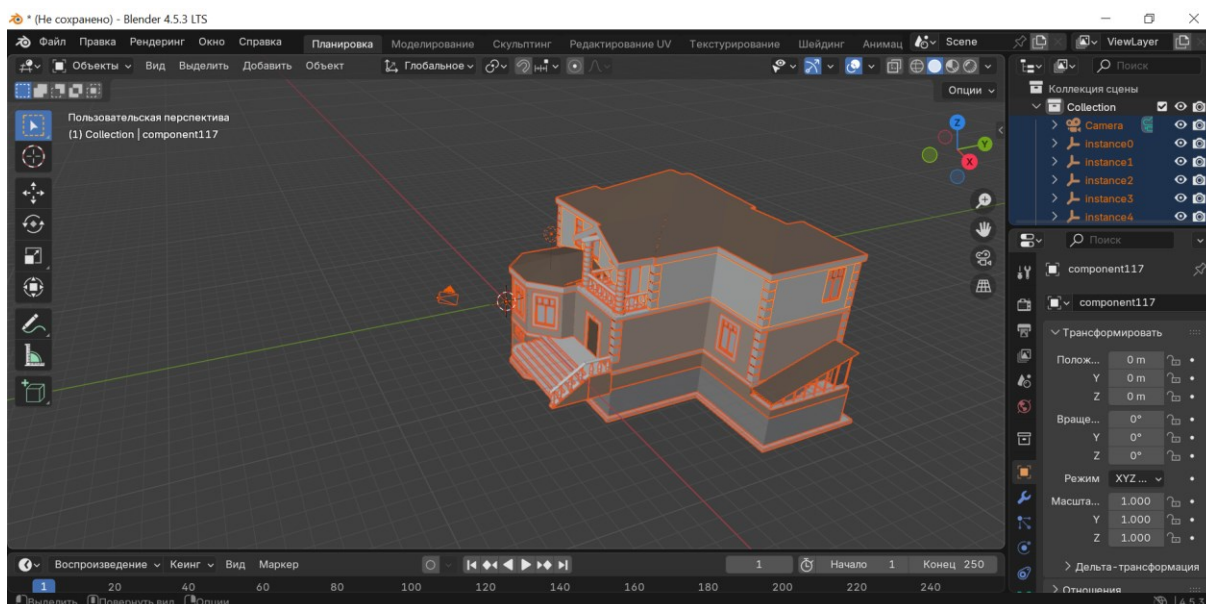


Рис. 3.12. Подготовка модели

3.4. Включение аддона в Blender и настройки VR

Для VR-работы в Blender убедитесь в том, что SteamVR уже запущен (иконка SteamVR в трее должна быть зеленой), иначе активируйте его через «Библиотека» → «Инструменты» → SteamVR, а также удостоверьтесь в том, что все устройства (шлем, контроллеры и лидары) для осмотра и перемещения по модели подключены к устройству. При правильном подключении периферии в рабочем диалоговом окне будет светиться иконка оборудования, необходимого для VR-сессии (рис. 3.13).

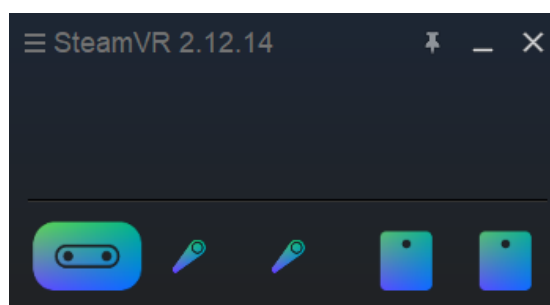


Рис. 3.13. Запуск SteamVR

В Blender в верхней части окна программы, где располагается палитра функций, перейдите в функцию «Правка» → «Настройки» (рис. 3.14).

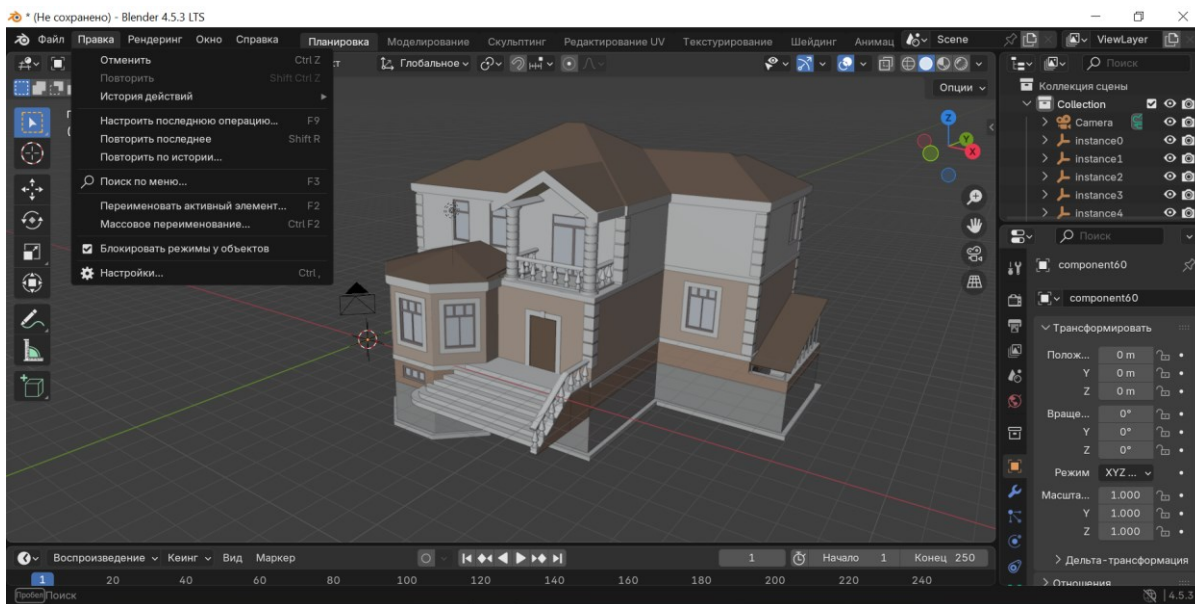


Рис. 3.14. Интерфейс программы

Найдите Add-ons (аддон-дополнения), в поисковой строке введите Archipack и установите галочку для активации. Если аддон не отображается, скачайте его вручную с сайта archipack.fr (версия 2.0+, 2025), сохраните .zip-файл и импортируйте через Install в том же меню. После активации Archipack появится в панели Add → Archipack, где доступны инструменты для создания стен, окон и мебели (рис. 3.15).

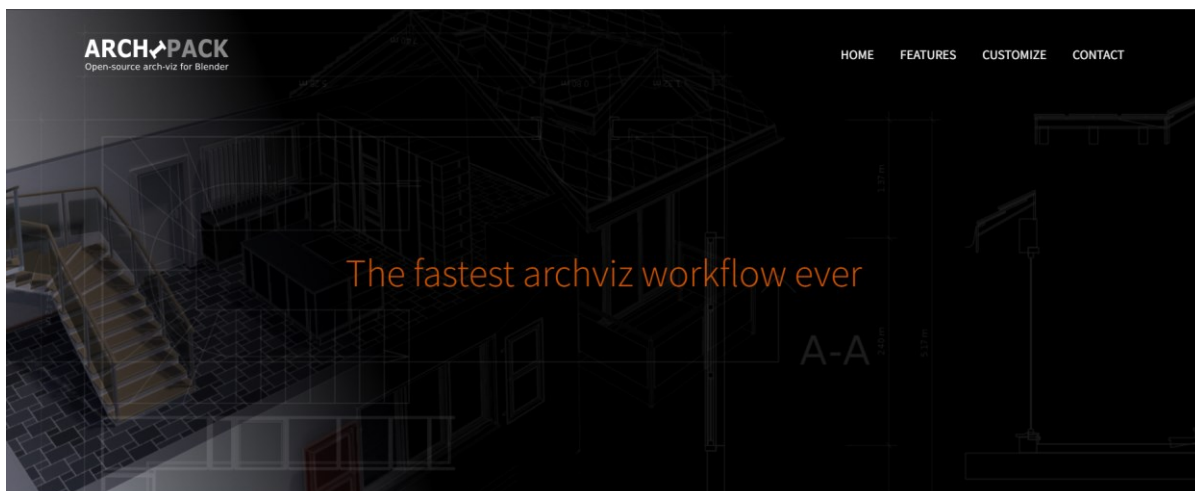


Рис. 3.15. Активация Archipack

При настройке аддона Archipack: в Archipack Properties установите в качестве единицы измерения метры (Units > Metric), включите Live Update для реального времени и задайте толщину стен (0,3 м) по умолчанию. Проверьте работу: добавьте стену через Add → Archipack → Wall – она должна отобразиться с параметрами редактирования (рис. 3.16).

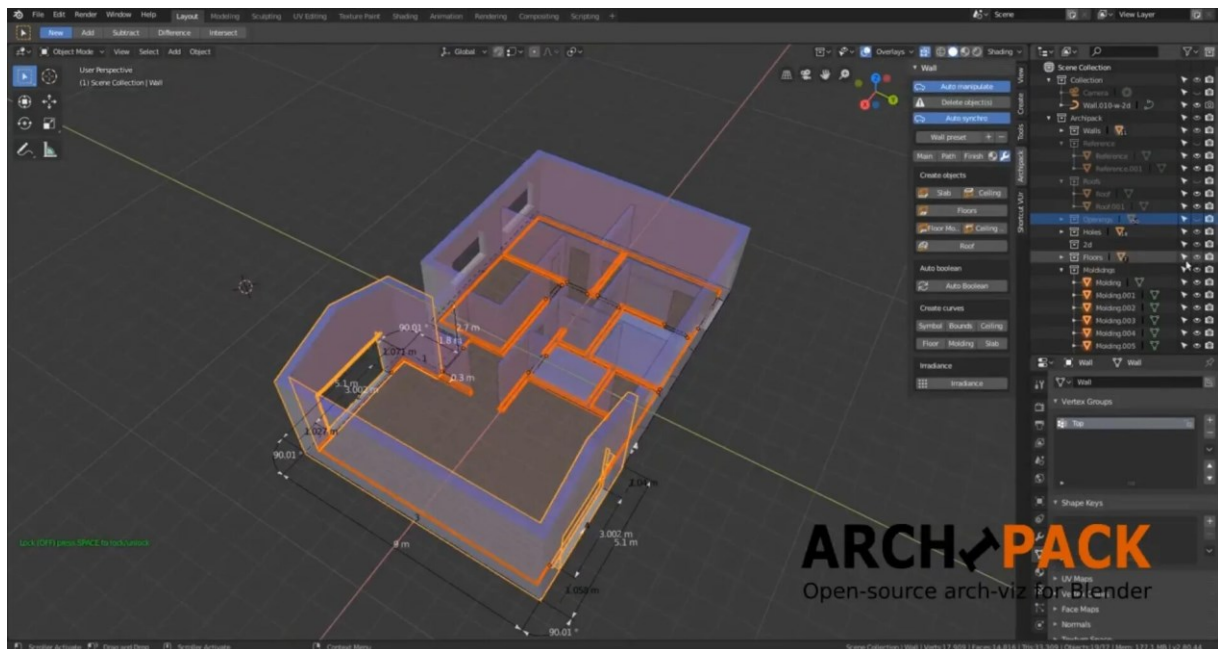


Рис. 3.16. Подготовка к работе с моделью

Аддон VR Scene Inspection – встроенный инструмент Blender, предназначенный для просмотра трехмерных сцен в режиме виртуальной реальности. Его использование позволяет исследовать пространство модели в натуральном масштабе, оценивать геометрию, пропорции и эргономику объектов, а также проверять визуальные характеристики композиции в условиях, максимально приближенных к реальной среде.

Для начала работы необходимо активировать аддон. В меню программы следует открыть разделы: Edit → Preferences → Add-ons и в строке поиска ввести VR. В появившемся списке выбрать VR Scene Inspection и установить галочку для его включения. После этого желательно сохранить настройки, нажав на кнопку Save Preferences, чтобы аддон автоматически загружался при последующих запусках Blender (рис. 3.17).

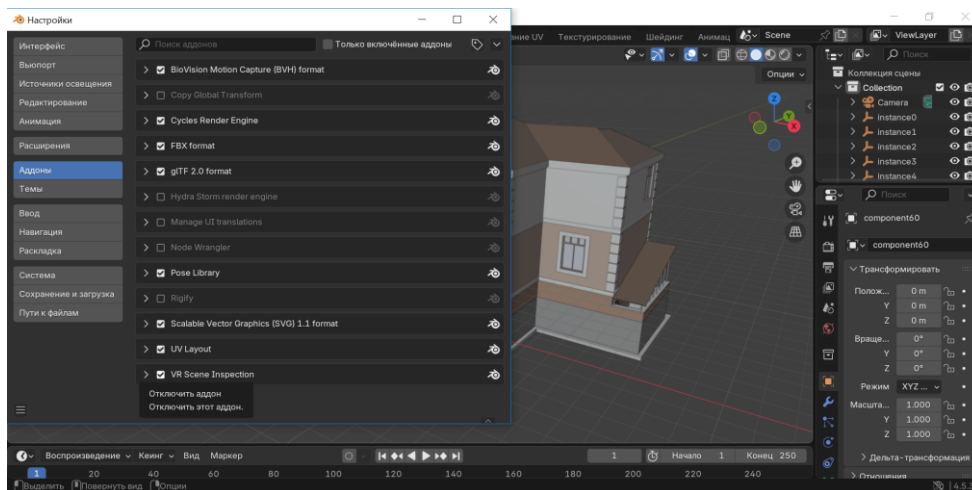


Рис. 3.17. Активация аддона в Blender

Далее необходимо подключить VR-шлем HTC Vive. Blender использует стандарт OpenXR, поэтому нужно убедиться в том, что соответствующие драйверы и среда OpenXR установлены и активны. В нашем случае это реализовано через SteamVR. После успешного подключения шлема можно перейти к активации режима просмотра сцены.

Для этого в окне 3D Viewport следует открывать вкладку VR (она может находиться в боковой панели Sidebar или в меню Viewport). Кнопка Start VR Session запускает виртуальную сессию, и изображение сцены автоматически выводится в VR-шлем. Пользователь получает возможность перемещаться по пространству, осматривать объекты под различными углами и взаимодействовать с виртуальной средой с помощью контроллеров (рис. 3.18).

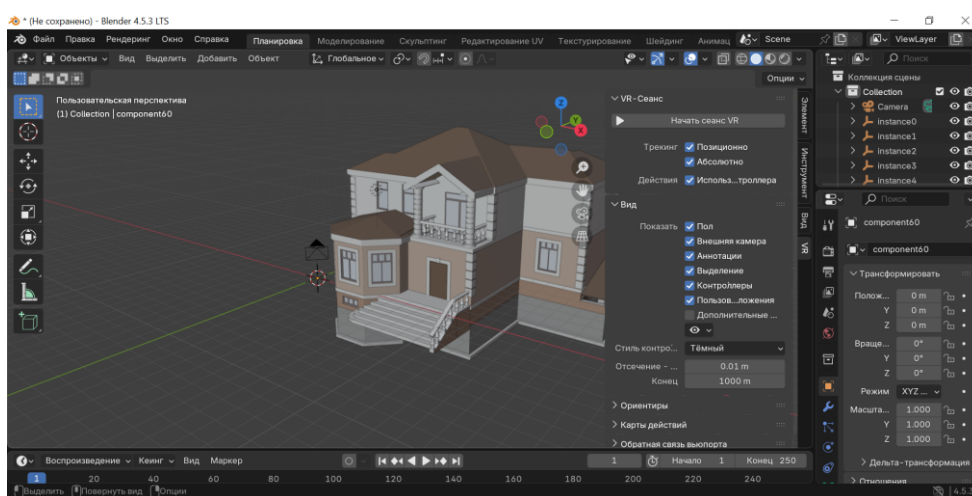


Рис. 3.18. Запуск VR-пространства

Во время работы в VR можно оценивать масштаб и пропорции моделей, проверять удобство размещения элементов, а также визуально контролировать высоту, расстояния и геометрию конструкций. По завершении работы сессия останавливается нажатием на кнопку Stop VR Session.

Таким образом, аддон VR Scene Inspection предоставляет эффективный встроенный инструмент для анализа трехмерных моделей в виртуальной реальности, что особенно полезно при проектировании архитектурных и строительных объектов, где требуется оценка пространственных решений и визуальных характеристик в масштабе 1:1.

3.5. Проведение VR-сессии и приемка проектной модели в Blender

Завершающий этап работы с моделью в среде Blender – проведение VR-сессии, в ходе которой студент и преподаватель выполняют виртуальный осмотр и проверку проекта в масштабе 1:1. Такая форма взаимодействия максимально приближает процесс проектной защиты к реальной строительной приемке, позволяя оценить архитектурные и конструктивные решения непосредственно внутри модели. Использование VR-шлема HTC Vive и контроллеров обеспечивает возможность свободного перемещения по пространству, осмотра деталей под любым углом и выполнения контрольных измерений согласно требованиям нормативной документации (например, ГОСТ 21.101-2020, ГОСТ 23166-99 для оконных блоков, ГОСТ 23120-78 для лестниц и ступеней).

Перед началом VR-сессии преподаватель и студент активируют режим Start VR Session в панели VR Scene Inspection. После загрузки сцены изображение автоматически передается в шлем и пользователь оказывается внутри спроектированного коттеджа. На данном этапе студент выполняет краткое вступительное описание проекта, поясняя основные решения – архитектурную концепцию, планировочную структуру, назначение помещений и конструктивную схему здания. Такая вводная часть помогает преподавателю сориентироваться в пространстве модели и понимать логику проектных решений, прежде чем он приступит к детальной проверке (рис. 3.19).



Рис. 3.19. Активация Start VR Session

После этого начинается практическая приемка объекта. Перемещаясь с помощью контроллеров по виртуальному пространству, студент проводит экскурсию по зданию, начиная с внешнего обзора фасадов (рис. 3.20).

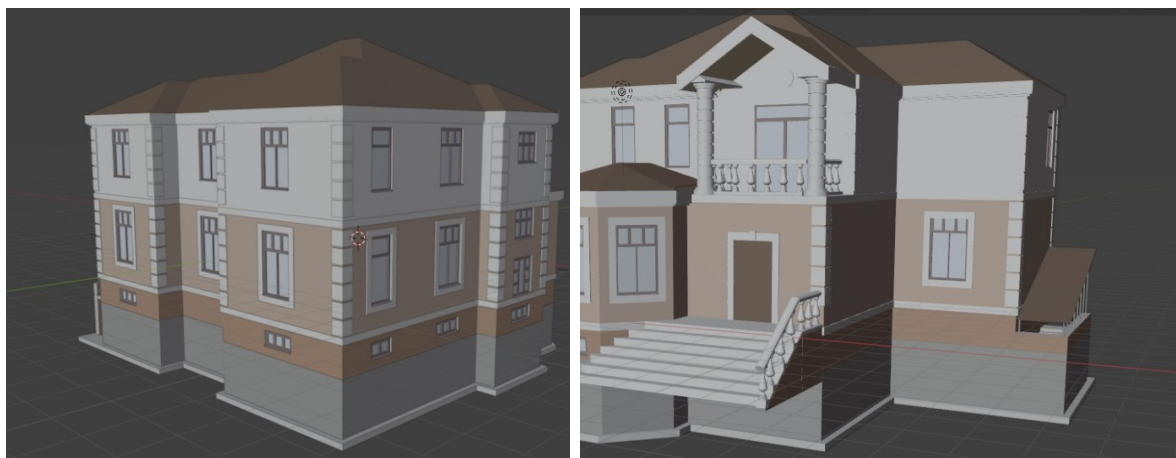


Рис. 3.20. Обзор фасадов здания

В режиме полного погружения удобно оценивать пропорции и масштаб объекта – соотношение высоты стен и кровли, размещение оконных и дверных проемов, соответствие архитектурных элементов заданным размерам. Особое внимание уделяется визуальной читаемости композиции, восприятию фасадных решений и корректности расположения окон относительно перекрытий и простенков. В процессе осмотра студент может включать инструмент Measure Tool и показывать размеры элементов, подтверждая их правильность.

После анализа экстерьера проводится проверка внутреннего пространства. Осмотр начинается с первого этажа – входной группы, гостиной, кухни и санитарных помещений. С помощью контроллеров студент измеряет ширину дверных проемов, высоту потолков и толщину стен.

Преподаватель обращает внимание на соответствие этих параметров строительным нормам: минимальная высота жилого помещения должна быть не менее 2,5 м (СП 55.13330.2016), ширина дверных проемов – не менее 0,8 м. При помощи виртуальной линейки можно также проверить высоту подоконников, размеры оконных блоков и расстояние между конструктивными элементами. Такие проверки особенно наглядны в VR, так как пользователь видит масштаб объектов в реальном размере и может мгновенно определить ошибки моделирования (рис. 3.21).



Рис. 3.21. Замеры параметров здания

Далее осуществляется переход в подвальное помещение. В режиме VR можно спуститься по лестничному маршу, используя функцию телепортации или шаговое перемещение. На этом этапе особое внимание уделяется проверке параметров лестницы: ширины ступеней, высоты подступенков и общего уклона марша. Согласно ГОСТ 23120-78 высота подступенка должна составлять не более 180 мм, а ширина проступи – не менее 250 мм. Студент при преподавателе выполняет замеры каждой ступени, показывая соблюдение данных норм. В случае отклонений преподаватель может указать на необходимость корректировки размеров или изменения угла наклона лестничного пролета (рис. 3.22).

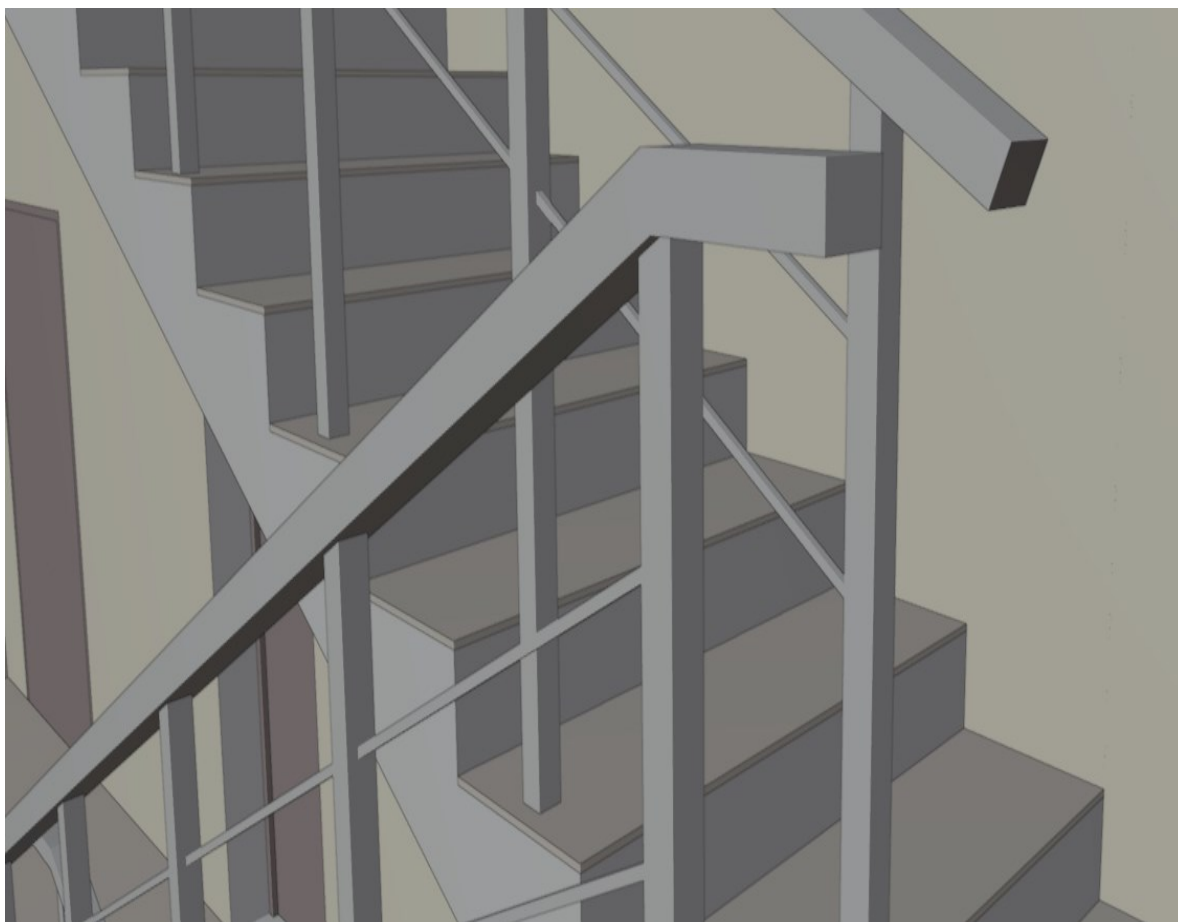
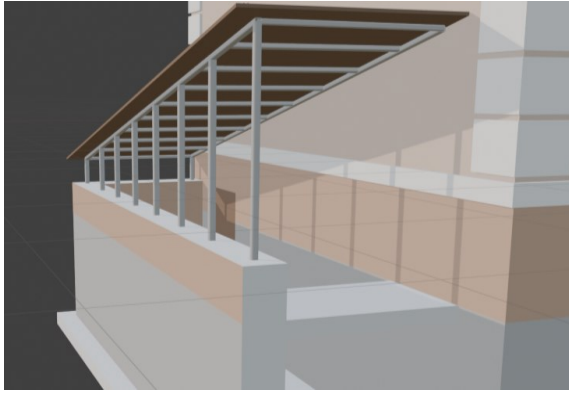
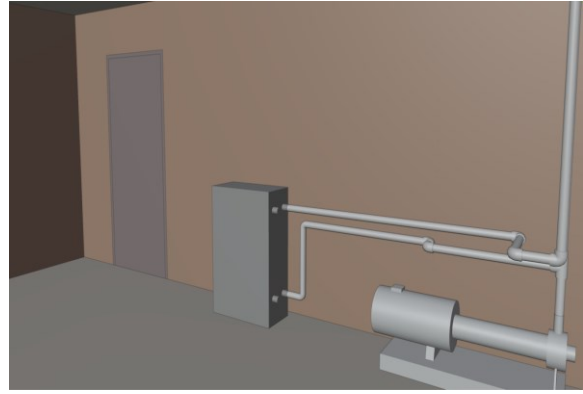


Рис. 3.22. Проверка параметров лестницы

Аналогично проводится проверка высоты потолков в подвале, габаритов дверных проемов и расположения инженерных коммуникаций, если они смоделированы (рис. 3.23).



а)



б)

*Рис. 3.23. Проверка: а – входа в подвальное помещение;
б – инженерных коммуникаций*

После осмотра подвального этажа происходит переход на второй уровень коттеджа. Здесь проверяются габариты лестничной клетки, ограждений и пролетов, а также корректность сопряжения перекрытий. В VR-среде можно визуальнo убедиться в том, что лестничнoй марш не пересекается с потолком и обеспечивает комфортное перемещение (рис. 3.24).



Рис. 3.24. Проверка второго этажа

Далее преподаватель и студент переходят к анализу жилых помещений второго этажа – спален, санузлов, балконов (рис. 3.25).

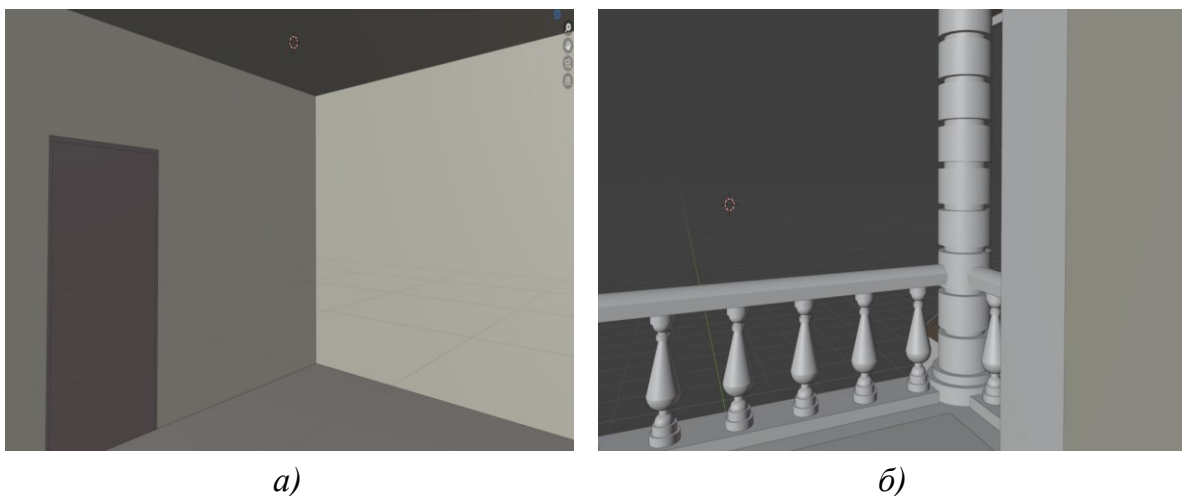


Рис. 3.25. Проверка: а – гостиной; б – выхода на балкон

Для проверки санитарных узлов используется функция приближения и измерения расстояний между элементами – например, минимальное расстояние между унитазом и стеной должно составлять не менее 0,6 м, а перед ванной – не менее 0,7 м. Все эти значения можно моментально проверить в VR при помощи контроллеров, не выходя из режима осмотра (рис. 3.26).



Рис. 3.26. Осмотр санузла

Важное преимущество виртуальной приемки – возможность визуальной оценки эргономики помещений. Преподаватель может обратить внимание на высоту поручней, расстояние до мебели, удобство перемещения по коридорам и лестницам. Blender в режиме VR позволяет рассматривать объекты с различной точки зрения, включая наклон головы и перемещение по высоте, что помогает моделировать реальные условия эксплуатации здания. Студент может демонстрировать, как солнечный свет попадает в помещения через окна или как видны конструктивные элементы перекрытий при изменении угла обзора (рис. 3.27).

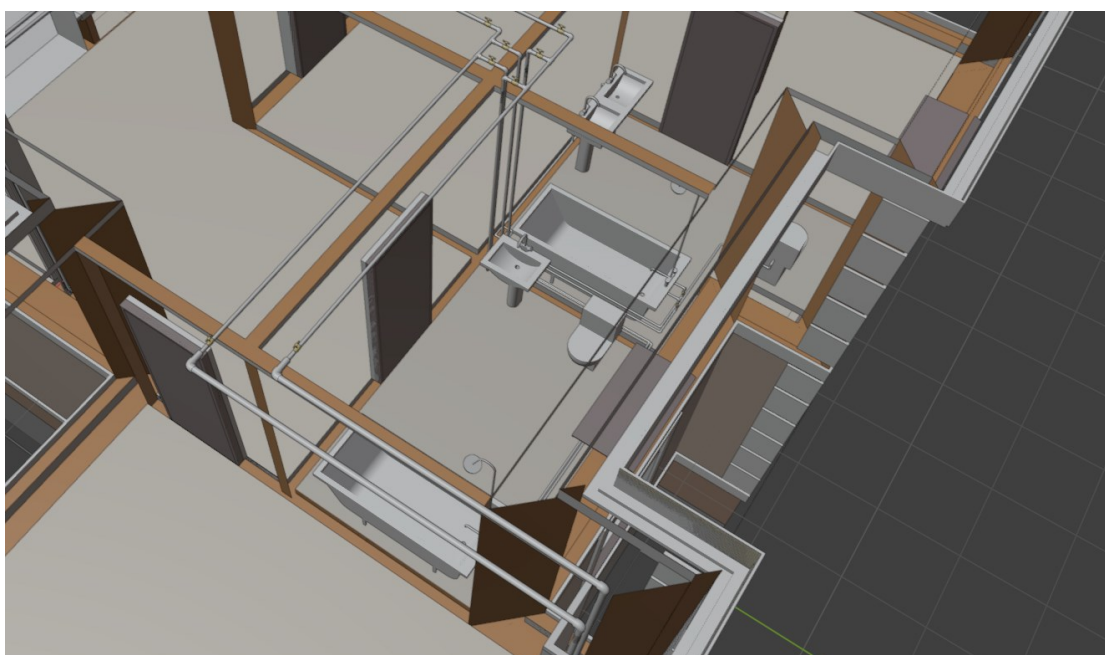


Рис. 3.27. Осмотр устройства ванных комнат и коммуникаций путем скрывания элементов несущих стен и плит перекрытия

После завершения проверки проводится итоговое обсуждение. Преподаватель формулирует замечания и рекомендации по доработке модели. При необходимости студент может сразу выйти из VR-режима и внести правки в сцену Blender: изменить параметры материалов, толщину стен, высоту перекрытий или положение элементов. Вся VR-сессия при желании записывается с экрана компьютера для последующего анализа. Такой формат не только повышает качество восприятия архитектурных решений, но и развивает у студентов пространственное мышление, внимательность и умение проверять проект на соответствие нормативам.

Проведение виртуальной приемки в Blender становится эффективным учебным инструментом, позволяющим объединить теоретические знания о нормах проектирования с практическим визуальным контролем. Таким образом, VR-технологии обеспечивают новый уровень взаимодействия между преподавателем и студентом, где защита проекта превращается в наглядное исследование архитектурного объекта в условиях максимально реалистичной визуализации.

Задания к проекту размещены в приложении.

Вопросы для самопроверки

1. Как настроить трекинг в HTC Vive, включая калибровку комнаты, и какие меры предосторожности нужно принять для избежания искажений?

2. Опишите процесс экспорта модели из Renga в формат Wavefront OBJ, включая выбор опций (текстуры, материалы). Почему этот формат может быть альтернативой для импорта в Blender?

3. Какие шаги нужно выполнить для импорта модели из Renga в Blender, включая проверку геометрии в Edit Mode и оптимизацию с помощью модификатора Decimate?

4. Как активировать аддон VR Scene Inspection в Blender и что нужно проверить перед запуском VR-сессии?

5. Опишите процесс виртуального осмотра фасадов здания в VR-сессии Blender, включая инструменты для измерений и оценки пропорций.

6. Как в VR-режиме Blender проверить параметры лестницы (ширину ступеней, высоту подступенков) в соответствии с ГОСТ 23120-78?

7. Какие действия выполняет студент во время VR-сессии для демонстрации инженерных коммуникаций, включая скрывание элементов (стен, плит перекрытия)?

8. Как в VR-среде Blender оценить эргономику помещений (например, высоту поручней, расстояние до мебели) и почему это полезно для архитектурного проектирования?

9. Опишите итоговый этап VR-сессии, включая обсуждение замечаний преподавателя и возможность внесения правок в модель.

10. Какие нормативы используются для проверки высоты помещений и ширины дверных проемов в VR-сессии Blender и как это реализуется практически?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях стремительной цифровизации строительной отрасли и перехода к BIM-технологиям VR становится не просто инновационным инструментом, а необходимым элементом современного образования, позволяющим преодолевать ограничения традиционных методов обучения. На 2025 год, по данным глобальных исследований, использование VR в профессиональной подготовке повышает эффективность усвоения материала на 25 – 40 %, поскольку студенты не только изучают теорию, но и применяют знания на практике – в иммерсивной среде, моделируя реальные сценарии проектирования и строительства. Это особенно актуально для студентов направления подготовки «Строительство», где традиционные чертежи и макеты часто не передают полной картины, в то время как VR позволяет «пройтись» по виртуальному зданию, проверить эргономику, симулировать нагрузки на конструкции и выявить ошибки на ранних этапах.

Для студентов VR предоставляет возможность развить критические навыки, такие как пространственное мышление, анализ рисков и командная работа в мультиплеерных сессиях, где группа может совместно корректировать модель в реальном времени. В эпоху устойчивого развития и климатических вызовов VR помогает моделировать экологичные решения, такие как энергоэффективные здания или зеленые зоны, делая обучение не абстрактным, а практически ориентированным. Кроме того, освоение инструментов вроде Renga, Blender и HTC Vive готовит студентов к рынку труда, где 70 % работодателей требуют владения навыками цифрового моделирования. Это не только повышает мотивацию через геймификацию, но и снижает стресс от реальных ошибок, позволяя экспериментировать в безопасной среде.

В итоге внедрение VR в обучение – это инвестиция в будущее студентов, помогающая им стать конкурентоспособными специалистами, способными решать сложные задачи отрасли. Освоив эти технологии, они получают практический инструментарий для инноваций в строительстве, что будет способствовать глобальным целям устойчивого развития.

СПИСОК БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

1. Линовес Д. Виртуальная реальность в Unity. М. : ДМК Пресс, 2016. 316 с.
2. Волинов М. М., Китов А. А., Горячкин Б. С. Виртуальная реальность: виды, структура, особенности, перспективы развития // E-Scio. 2020. № 5(44). С. 795 – 812.
3. Психологические проблемы разработки и внедрения VR-технологий в системе медицинского образования / Т. С. Бузина [и др.] // Национальный психологический журнал. 2024. № 19(2). С. 47 – 59.
4. Селиванов В. В., Селиванова Л. Н. Виртуальная реальность как метод и средство обучения // Образовательные технологии и общество. Т. 17. 2014. № 3. С. 378 – 391.
5. Смирнова А. С. Технологии виртуальной реальности в образовательном процессе // Обзор педагогических исследований. 2022. Т. 4. № 8. С. 140 – 144.
6. Портнова И. В., Халиль И. Использование VR-технологии в учебном процессе студентов-архитекторов // Педагогика и психология образования. 2024. № 1. С. 137 – 150.
7. Касаткин Н. А., Терентьев К. М. Адаптивные конструкции: как технологии меняют архитектурные решения // Дни науки студентов Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых : сб. материалов науч.-практ. конф. Владимир, 17 марта – 4 апр. 2025 г. Владимир : Изд-во ВлГУ, 2025. С. 935 – 943.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Линовес, Д. Виртуальная реальность в Unity / Д. Линовес. – М. : ДМК Пресс, 2016. – 316 с. – ISBN 978-5-97060-234-8.

2. Сарычев, Д. С. Применение VR и AR-технологий в строительстве / Д. С. Сарычев // Перспективы развития и применения современных технологий : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Петрозаводск, 22 апр. 2021 г. – Петрозаводск : Междунар. центр науч. партнерства «Новая Наука», 2021. – С. 223 – 227.

3. Кошелева, С. А. АРМ: ключ к эффективному и безопасному строительству будущего / С. А. Кошелева, Д. В. Гулякин // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 113-6. – С. 101 – 104.

4. Применение современных технологических решений для создания виртуальных моделей реального мира / А. М. Рыбкина [и др.] // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. – 2023. – № 4. – С. 1208 – 1215.

5. Ганихин, Г. К. Сравнительный анализ эксплуатационных затрат реклоузер VR и масляные выключатели со стандартными ячейками КРУН / Г. К. Ганихин // Неделя молодежной науки – 2024 : сб. тр. внутривуз. форума, посвящ. празднованию 65-летия Гос. аграр. ун-та Сев. Зауралья и 145-летнего юбилея Тюмен. Александр. реал. училища, Тюмень, 3 – 4 дек. 2024 г. – Тюмень : Гос. аграр. ун-т Сев. Зауралья, 2024. – С. 252 – 255.

6. Гончаров, И. А. Применение виртуальной и дополненной реальности в архитектуре и строительстве / И. А. Гончаров, Л. В. Гаев // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 110-17. – С. 83 – 85.

7. Захаркин, Д. В. Применение виртуальной реальности при подготовке кадров для промышленности / Д. В. Захаркин // Автоматизация в промышленности. – 2018. – № 11. – С. 19 – 23.

ПРИЛОЖЕНИЕ

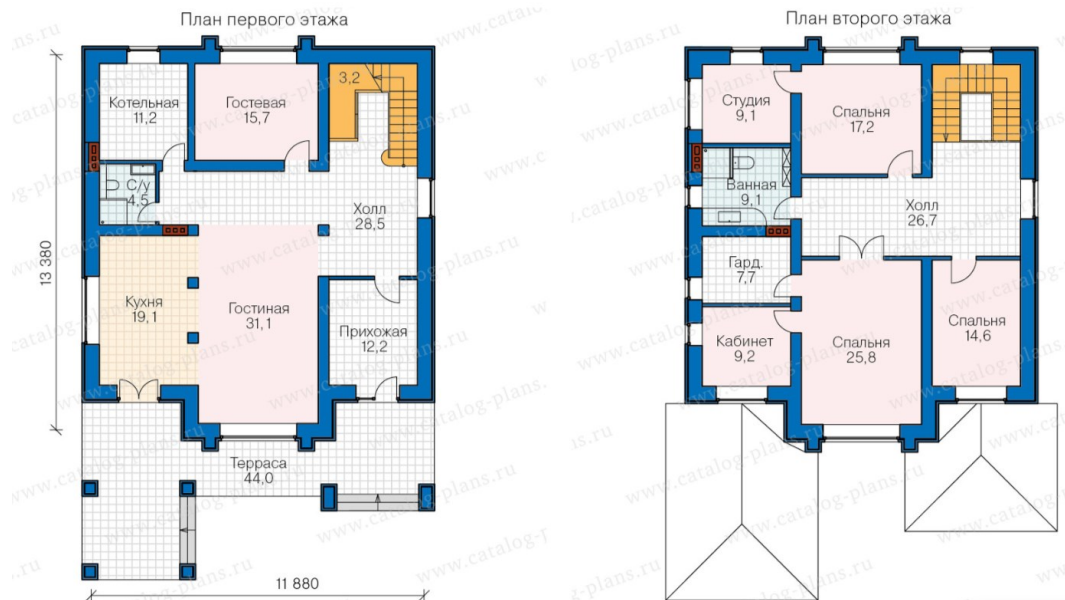
Задание к проекту

Тема: проектирование малоэтажного жилого дома с помощью VR.

Цель: изучить и освоить методику проектирования и визуальной проверки архитектурно-конструктивной модели здания с использованием среды виртуальной реальности в программном комплексе Blender от этапа трехмерного моделирования в Renga до анализа пространственной организации и восприятия объекта в иммерсивной VR-среде.

Варианты заданий

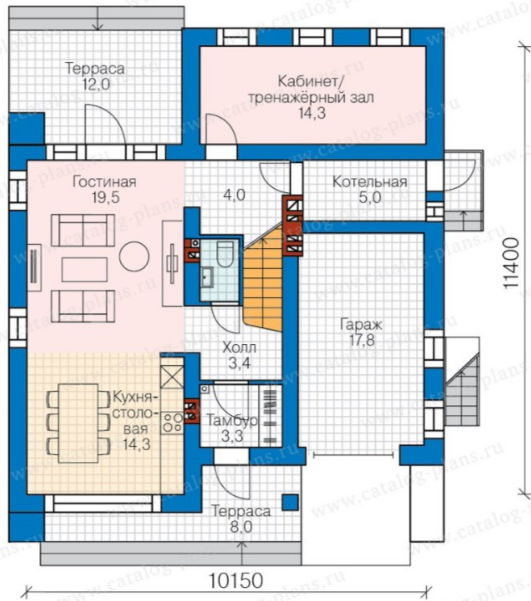
Вариант 1



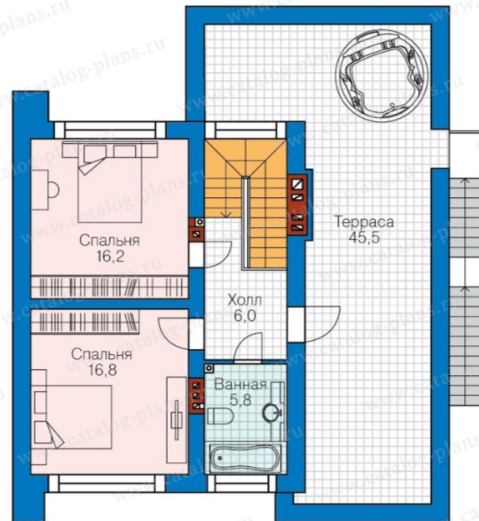
Вариант 2



План первого этажа



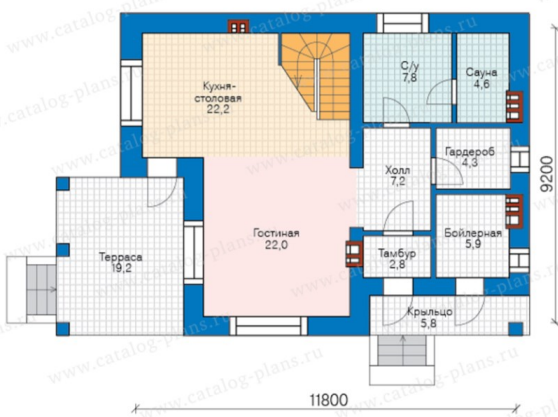
План второго этажа



Вариант 3



План первого этажа



План второго этажа



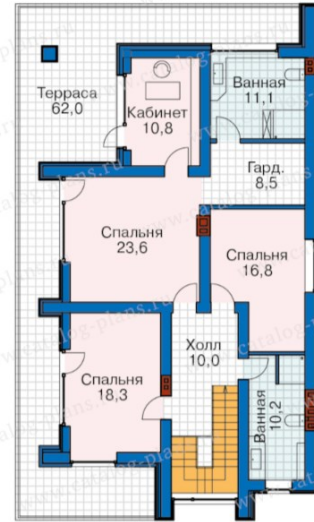
Вариант 4



План первого этажа



План второго этажа



Вариант 5



План первого этажа



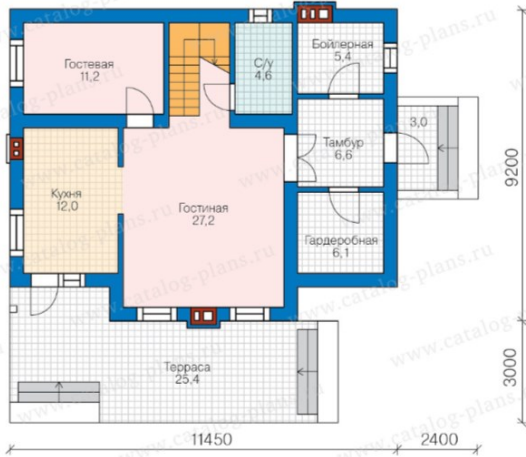
План второго этажа



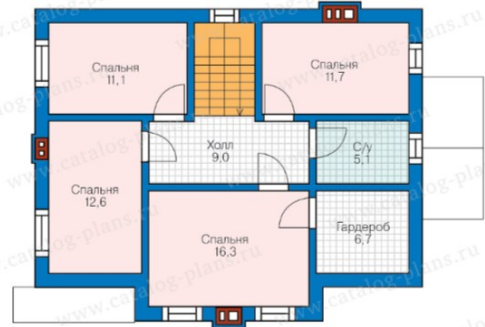
Вариант 6



План первого этажа



План второго этажа



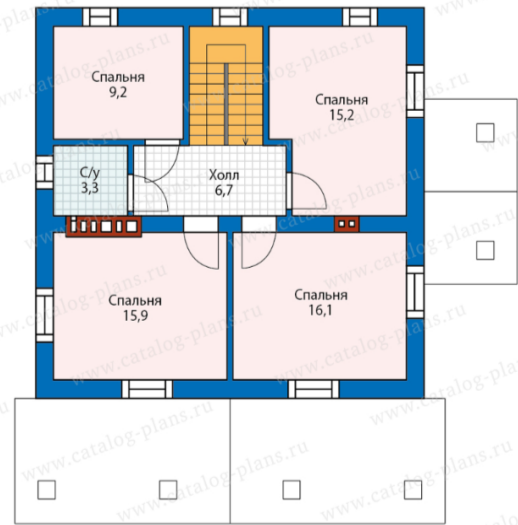
Вариант 7



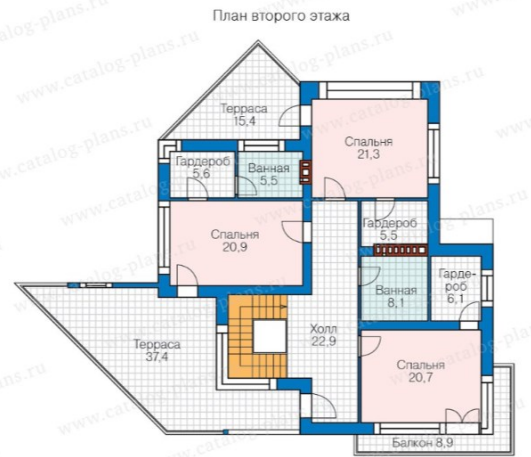
План первого этажа



План второго этажа



Вариант 8



Вариант 9



Вариант 10



Вариант 11



Учебное электронное издание

ЧИБРИКИН Данила Александрович
ТЕРЕНТЬЕВ Кирилл Михайлович
МЯСНИКОВ Даниил Олегович
и др.

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Учебное пособие

Редактор Е. А. Платонова
Технические редакторы Ш. Ш. Амирсейидов, Н. В. Пустовойтова
Компьютерная верстка Л. В. Макаровой
Корректор О. В. Балашова
Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

Системные требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10; Adobe Reader;
дисковод CD-ROM.

Тираж 9 экз.

Издательство Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.