

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия

Магистерская программа: Технологии виртуальной и дополненной
реальности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
Нативный дизайн для обучающих VR тренажеров

Обучающийся 2 курса

группы 11-941

Хайруллин Л.О.

Научный руководитель

к. т. н.,

доцент кафедры программной инженерии

Кугуракова В.В.

Директор ИТИС КФУ

канд. техн. наук

Абрамский М.М.

Казань – 2021

Содержание

Введение	3
Глава 1. Анализ предметной области	4
1.1 Обучающие тренажеры виртуальной реальности	5
1.2 Литературный обзор	7
1.3 Подходы 3D-моделирования для VR тренажеров	14
1.4 Создание виртуальной среды процедурными методами	21
Глава 2. Нативный дизайн в VR образовании	24
2.1 Нативный дизайн в образовании	24
2.2 Опыт использования программ VR обучения	25
2.3 Ключевые аспекты обучающих VR тренажеров	27
2.4 Игрофикация процесса VR обучения	28
Глава 3. Авторские подходы к реализации VR тренажеров	31
3.1 Критические аспекты разработки принципа нативного дизайна	31
3.2 Нативный дизайн в визуализации программы обучения	34
3.3 Оптимизация визуализации VR программы обучения	34
3.4 Игрофикация процесса обучения	36
Глава 4. Практическое применение нативного дизайна при разработке визуализации обучающего VR тренажера	37
4.1 Выбор подхода	37
4.2 Создание VR среды обучения	37
4.3 Анализ результатов	37
Заключение	38
Глоссарий	39
Список использованных источников	40

Введение

Обучающие тренажеры в формате VR программ прекратили существовать лишь в произведениях научной фантастики и уже несколько лет штатно используются крупнейшими компаниями наряду с традиционными методами обучения. Для раскрытия полного потенциала данного формата обучения необходимо при построении учебной программы учитывать особенности этого формата. Максимальной эффективности обучения можно достичь, придерживаясь определенных техник построения и подачи информации, возможных лишь в виртуальном формате обучения не только в контексте технических моделей, реалистичности приборов и пр., но и с эмоционально-событийной стороны [1].

Исследованные в рамках квалификационной работы примеры реализации приложений виртуального обучения демонстрируют эффективность имплементации в процесс обучения элементов нативного дизайна. Использование методов построения нарративно целостного опыта, фокусировка на достижении визуальной реалистичности симуляции, игрофикация процесса и другие изученные методики показывают однозначное повышение показателей эффективности обучения, в частности сокращение сроков обучения, повышение степени запоминаемости материала, снижение стресса.

Обозначим цели этой магистерской диссертации:

1. Разработать систему параметров для визуализации виртуальных тренажеров;
2. Создать визуальную среду виртуального тренажера, соответствующую выявленным параметрам;

3. Проанализировать эффективность обучения программой виртуальной реальности с использованием избранных подходов.

Объект исследования в работе – методы реализации визуальной составляющей программ обучения в виртуальной реальности.

Предмет исследования в работе – трехмерная реализация окружения для программы обучения в виртуальной реальности.

Первая глава работы посвящена обоснованию выбора темы разработки визуальной составляющей образовательных VR программ как предмета исследования. Производится анализ существующих подходов и методик, объясняются причины актуальности темы.

Вторая глава повествует о понятии нативного дизайна в контексте образовательных программ, выделяются ключевые подходы и методики их применения, специфичные форме виртуальной реальности. Обсуждаются существующие примеры реализации в данной области.

Третья глава выстроена на описании авторских подходов к разработке визуальной составляющей образовательных программ виртуальной реальности, приводятся аргументы в пользу их применения над существующими стандартами, обоснованные исследованиями в смежных областях науки.

Четвертая глава описывает процесс разработки объекта исследования и анализируется полученный опыт. Приводится план дальнейшего исследования темы.

Глава 1. Анализ предметной области

1.1 Обучающие тренажеры виртуальной реальности

Тренажеры виртуальной реальности для профессиональной подготовки специалистов на сегодняшний уже успели зарекомендовать себя как мощный, высокоэффективный образовательный инструмент. В особенности полезным данный формат обучения оказался в подготовке специалистов шахтерской разработки, авиации и медицины [2]. В индустриях, предполагающих работу с высоким риском для жизни человека, а также в тех, где высока экономическая стоимость человеческой ошибки формат VR обучения оказался просто незаменим. Такая высокая эффективность этого формата обучения происходит в высокой степени из-за уровня вовлечения участников обучения в процесс ввиду высокого уровня погружения в VLE (сокращение от англ. Virtual Learning Experience - Виртуальный Опыт Обучения).

Однако, ещё не существует общепринятых стандартов разработки таких тренажеров, и в реальности каждая команда разработчиков, занимающаяся производством таких тренажеров использует индивидуальный подход к каждому проекту, что безусловно положительно влияет на качество итогового продукта, но нужно заметить, что негативно влияет на стоимость, а как следствие и доступность данной технологии, и существенно растягивает срок производства таких тренажеров. Выявление и описание паттернов, применимых для разработки VLE позволит не только сократить стоимость производства обучающих VR тренажеров, но и необходимо для специалистов этой индустрии как фундамент для подготовки специалистов смежных наук.

В то время, когда реализация аудиовизуальной составляющей VLE имеет обширный технический базис, унаследованный от видеоигровой индустрии, и главной проблемой в которой является оптимизация

вычислительной ресурсозатратности, повествовательная часть программ обучения и обучающих тренажеров структурно не изменяется со временем справочника. Не стоит забывать, что технология виртуальной реальности это революционная технология не лишь благодаря возможности достичь реалистичного изображения, но средство, позволяющее реакционно изменять повествование пользователя на кинестетическом, эмоциональном, и логическом уровнях восприятия.

Нативный, т.е. Естественный для человеческого сознания подход в разработке программ VR обучения, это структурный подход, который необходимо имплементировать на каждом этапе разработки, в структуре сценария, в аудио-визуальном оформлении, для действительного соответствия виртуального опыта обучения (VLE) пользователю опыту дальнейшего реального производства, к которому тренажер и должен готовить. Нативный подход обеспечивает аутентичную естественному опыту среду обучения, свободную от форсированного запоминания, воспринимаемую как опыт реального действия.

В данной выпускной квалификационной работе автор выявляет методики имплементации принципов нативного дизайна, используемые в видеоигровой индустрии для повышения вовлечения игрока в процесс игры, применимые в контексте разработки образовательных программ. Выявляется именно базис, универсальный для формата обучения, независимо от специфики программы обучения.

Далее выявляются методики разработки визуальной составляющей виртуальных образовательных программ, зарекомендовавшие себя как наиболее эффективные в вопросе оптимизации работы и ресурсозатратности итогового продукта, как и самого процесса производства разработки. Описывается несколько конкретных методик. Основой исследования также

взят опыт разработки из видеоигровой индустрии ввиду схожести задач и проблем при разработке.

1.2 Литературный обзор

По мере того как виртуальная реальность становится все более популярной, вопрос доступности содержимого виртуальной среды становится важным и определяющим в распределении ресурсов при производстве программ виртуальной реальности. Целью исследования Дон Хи-Шина, Школы СМИ и коммуникаций Университета Чунг-Анг, республики Корея, являлось объяснение мотивационных возможностей пользователей виртуальной среды обучения (далее VLE – Virtual Learning Environment) и изучение того, как пользователи влияют на принятие виртуальной реальности, как среды обучения [3]. Он исследует, как внедрение доступных мотивационных возможностей в образовательной системе виртуальной реальности (далее VRE – Virtual Reality Education) влияют на пользовательский опыт и качественный результат использования таких систем обучения, отслеживая достижения целей пользователей. Был использован комплексный подход, сочетающий качественные методы анализа и количественный опрос.

Во-первых, была использована методика критических инцидентов для изучения ряда факторов доступности, связанных с VLE. Во-вторых, на основе факторов аффорданса материала, выявленных с помощью качественных методов, был проведен опрос, чтобы изучить влияние аффорданса на когнитивные процессы пользователей и общее влияние аффорданса на процесс обучения.

Аффордансы – это те свойства среды, которые, при стремлении к ним, предполагают возможность для некоторого действия. По-другому можно было бы назвать это понятие “доступность взаимодействия с свойством

среды”, однако, будем пользоваться устоявшимся в западной литературе термином, в русскоязычных источниках этого понятия до сих пор не встречалось. Понятие аффорданса (термин Гибсон Г.Г., 1986) введено для описания новой перспективы на визуальные стимуляции [4]. Вместо традиционной перспективы, Гибсон предложил воспринимать визуальные стимуляции как информацию, не для пассивного восприятия, но как возможность для пользователя принять активную роль замечающего, и применяющего некоторое действие. Пользователю необходимо сознательно воспринимать аффордансы для того чтобы заметить потенциал к некоторому действию. В то же время, понятие аффорданса является pragматическим, направляющим дизайн-решения в разработке элементов, одновременно функциональных и легко воспринимаемых конечным пользователем.

В VLE пользователи активно взаимодействуют с происходящим, а не являются пассивными получателями информации (Dalgarno and Lee, 2010). Этот процесс использование компьютера, но также может предполагать использование очков виртуальной реальности или какой-либо другой вид головного дисплея (HMD) и устройства ввода. Это позволяет им взаимодействовать с событиями в этой виртуальной среде. В то время как виртуальная реальность широко используется в дополнительном и специальном образовании и сделала большой шаг вперед, исследования, лежащие в основе опыта виртуальной реальности, в частности аффорданса, этого не сделали. Подход аффорданса представляет собой эффективную основу для исследования того, как виртуальная реальность интегрируется в рутинные процессы, влияя на последующие модели опыта. Структура аффорданса – это эффективный функциональный подход для подготовки к производственной реальности, что необходимо учитывать при проектировании виртуальных сред [5]. VLE требуются аффордансы, чтобы показать, с чем можно взаимодействовать и когда это взаимодействие

происходит. Сенсорное отображение этих аффордансов должно масштабироваться вместе с технологиями, как и возможности экрана. Требуется подчеркнуть отслеживания рук, направление взгляда или мыслительные события пользователя. Участвуя в захватывающем виртуальном мире с различными аффордансами, участник создает историю или делает много разных вещей в VLE. Поскольку в VR возможно появление различных аффордансов, важно предусмотреть подсказки и те аффордансы, которые побуждают вовлечение участников в VLE. Таким образом, при разработке VLE дизайнеры должны использовать возможности, предоставляемые технологиями, и быть в курсе своих возможностей (см. рис. 1).

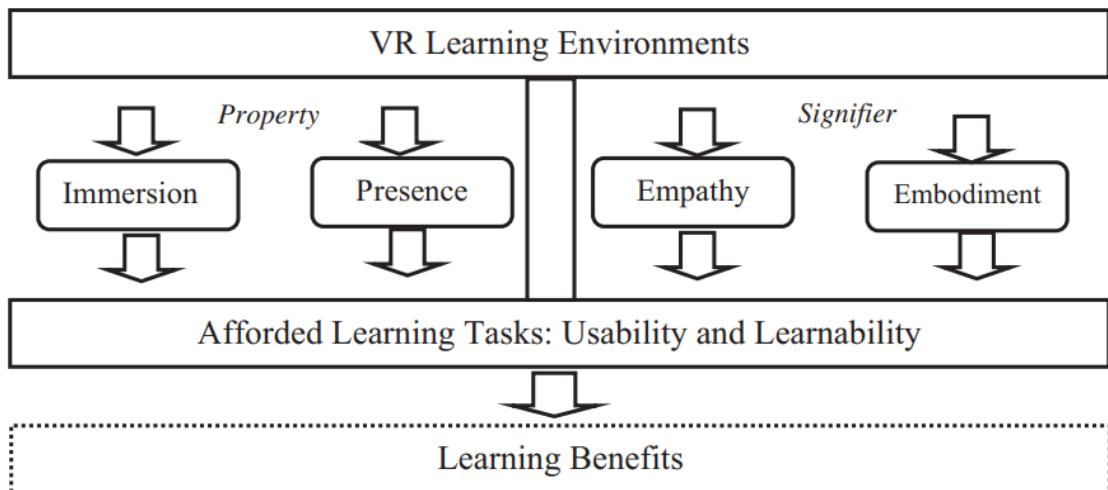


Рисунок 1 – Аффордансы в VLE

В VLE критически важно разработать эффективно воспринимаемый доступ к материалу, но также необходимо выявить скрытые аффордансы за счет реализации элементов, которые преобразуют потенциальные возможности запоминания и понимания материала в фактические.

Подход аффорданса может привести к созданию системы с высокой выраженностью фактических и скрытых возможностей восприятия

материала, которая с большей вероятностью будет оценена и принята пользователями через воплощенное познание.

Исследование Дон Хи-Шина является попыткой расширить текущее понимание последствий доступности VLE для пользователя. Результаты показывают, что обучение и взаимодействие в виртуальной реальности положительно связаны с аффордансами. В свою очередь, воспринимаемая пользователями доступность положительно связана с удобством использования и обучаемостью. Таким образом, исследование выявило связи (подсказки) между технологическими свойствами, новым технологическим опытом и взаимодействием пользователей с VLE. Кроме того, из результатов можно сделать вывод, что доступность VLE достигается за счет действий пользователей и взаимодействия с технологиями. Погружение определяется пользовательским вводом, а пользовательский ввод определяется воспринимаемыми свойствами системы. Погружение и присутствие не стимулируют пассивных пользователей механически, а вместо этого позволяют пользователям играть активную роль, замечая иммерсивные функции и используя их в процессе использования и обучения. Отношение пользователей к VLE формируется во время действий пользователей, мотивация формируется во время их взаимодействия в рамках VLE, отношения и мотивация вместе воплощают аффективную аффорданс и, как следствие, образовательную аффорданс. Удобство использования и обучаемость реализуются через взаимодействие, в то время как пользователи фактически взаимодействуют с содержанием VLE. Хотя эта идеяозвучна воплощенному взаимодействию, погружение как аффорданс в VLE в некоторой степени похоже на идею активного взаимодействия, где погружение основано на активном участии или знании через действие; пользователи изучают особенности погружения на основе технологических свойств и индивидуальных внутренних характеристик, взаимодействуя с

VLE. Активное взаимодействие VLE переводит аспекты базы свойств в восприятие пользователем [6].

Качество погружения и присутствия с помощью VLE зависит от тактильного ввода пользователя, в то время как ввод пользователя, в свою очередь, зависит от технологических качеств системы в трех аспектах.

Во-первых, настоящие результаты подразумевают, что погружение – это многогранная концепция, широко охватывающая средства массовой информации, пользователей и контексты. По доводам Шина и др. (2016), погружение как качественный опыт складывается из индивидуальных особенностей пользователей и социального контекста. В этом отношении ключом к погружению является восприятие пользователями качества, взаимодействия с сервисом и технологических качеств, которые пользователи воспринимают и с которыми взаимодействуют. В целом, эти результаты предполагают, что большая часть погружения связана с субъективностью пользователей, а также со свойствами технологий. Использование VLE может стать ключом к UX; однако, касается ли такое взаимодействие полного погружения, сочувствия к персонажам, удовольствия от навигации в пространстве или взаимодействия с другими пользователями, зависит от индивидуальных предпочтений и конкретной контекстной ситуации.

Во-вторых, важность познания пользователя показывает, как пользователи играют все более активную роль в формировании самого погружения и, в свою очередь, в том, как погружение влияет на процесс обучения пользователей. Погружение не происходит механически или не случайно технологическими особенностями или функциями VLE; он реконструируется пользователями во время взаимодействия с VLE [7]. Пользователи могут осмысленно и сознательно взаимодействовать со своим окружением. Они должны участвовать, чтобы получить максимальную отдачу от VLE, которая может только намекать на интенсивность реальных

событий. Этот аргумент согласуется с предыдущим выводом о том, что факторы вовлечения во многом зависят от личных качеств и собственных намерений пользователей. Готовность попробовать, открытость к исследованиям, новаторство и экстраверсия положительно связаны со склонностью погружаться в виртуальную среду. Точно так же определенные личности, для которых характерно то, что они более поглощены и готовы погрузиться в себя, могут стать более интерактивными во взаимодействии с VLE, чем другие типы личности. Пользователи VLE с высокой когнитивной интерактивностью, как правило, имеют более активный интерактивный опыт и благоприятное отношение к VLE по сравнению с теми, кто имеет низкое когнитивное погружение. Эти последовательные результаты показывают, что погружение имеет компонент эмоциональной вовлеченности. Пользователи легко погружаются в процесс, потому что они хотят и намереваются стать такими и, таким образом, сотрудничать с ожидаемым и запланированным результатом. Отношения между погружением и пользователями считаются пассивными или односторонними. Неявно предполагается, что пользователи испытывают интерактивность, созданную технологией.

В-третьих, погружение может быть плавным и отражающим концептом, а не фиксированным и изолированным фактором. Основное предположение состоит в том, что погружение - это односторонний и последовательный эффект. Исследования воспринимаемого взаимодействия были сосредоточены на отдельных факторах (например, контент, услуга и система), не обращая внимания на то, как эти факторы обрабатываются (например, как пользователи воспринимают, принимают, испытывают и взаимодействуют) и связаны.

Результаты пользовательской модели подтвердили эвристическую роль аффорданса присутствия и погружения в отношении их основной связи с

образовательными вовлечениями, такими как эмпатия и воплощенное познание [8].

Результаты предполагают воплощенный процесс восприятия VLE, в котором технологические качества изучаемых программ формируются восприятием пользователей и контекстом. Результаты создают основу для технологий виртуальной реальности с помощью инструмента эвристической оценки, основанного на когнитивном процессе, реализованном пользователем. Они подтверждают обоснованность и полезность применения аффордансов к дизайну виртуальной реальности в качестве полезной концепции и доказывают, что оптимальное применение возможностей VLE имеет решающее значение для успеха дизайна виртуальной реальности. Открытой и актуальной остается проблематика выявления наиболее эффективных подходов к форме аффордансов, поиска содержания и форм нативного дизайна, естественно вписывающихся в технологическую реализацию VLE.

1.3 Подходы 3D-моделирования для VR тренажеров

Трехмерные редакторы используется для создания моделей трехмерного пространства. Такое пространство изначально абсолютно пустое. В таком пространстве существует возможность создания всевозможных 3D-объектов, а программа моделирования обеспечивает разработчика инструментарием из создания, задавания свойств их поверхности, а также любых иных мета-данных объектов. Процесс разработки таких визуальных объектов, и состоящих из них виртуальных сцен именуется моделированием. Дополнительно редактор допускает имитацию перемещения объекта, транслирование симуляций физического взаимодействия тел, деформирование и пр.

Каждый трехмерный редактор содержит собственную специфику, в зависимости от целевых задач разработки. В определенных программах трёхмерного моделирования удобнее делать модели высокополигональные, т.е. с высокой реалистичностью формы, в иных например низкополигональные, для быстрой разработки объектов, с которыми не предполагается близкого взаимодействия, в третьих удобнее создавать анимации. Сам по себе процесс моделирования подразделяют на подходы. Существуют следующие наиболее распространенные подходы к моделированию: процедурное, скульптурирование, полигональное, твердотельное, сплайновое, NURBS моделирование [9].

Скульптурирование – подход 3D-моделирования, при котором форма объекта придается инструментами имитации глиняной лепки, подобно работе гончара с мягким материалом, такими как наращивание или же срезание участков полигональной сетки объекта (рис. 2). Данный подход наиболее

эффективен при создании моделей объектов, требующих высокой детализации, но при этом допускающих неточностей в значениях размеров. В первую очередь подход скульптурирования применяется для моделирования персонажей или животных, текстильных продуктов, одежды, а также элементов естественного окружения, растительности, скал, и пр. Данный подход предпочтителен для получения фотoreалистичных сцен, но менее эффективен для реализации моделей искусственных элементов окружения, в особенности объектов геометрически правильной формы, таких как механические элементы, архитектура и др. В данный момент высокополигональные модели обширно используются в производстве фильмов, медицине, промышленном дизайне, искусстве, 3D-печати. Стандартом индустрии для данного подхода являются программы ZBrush, Blender.

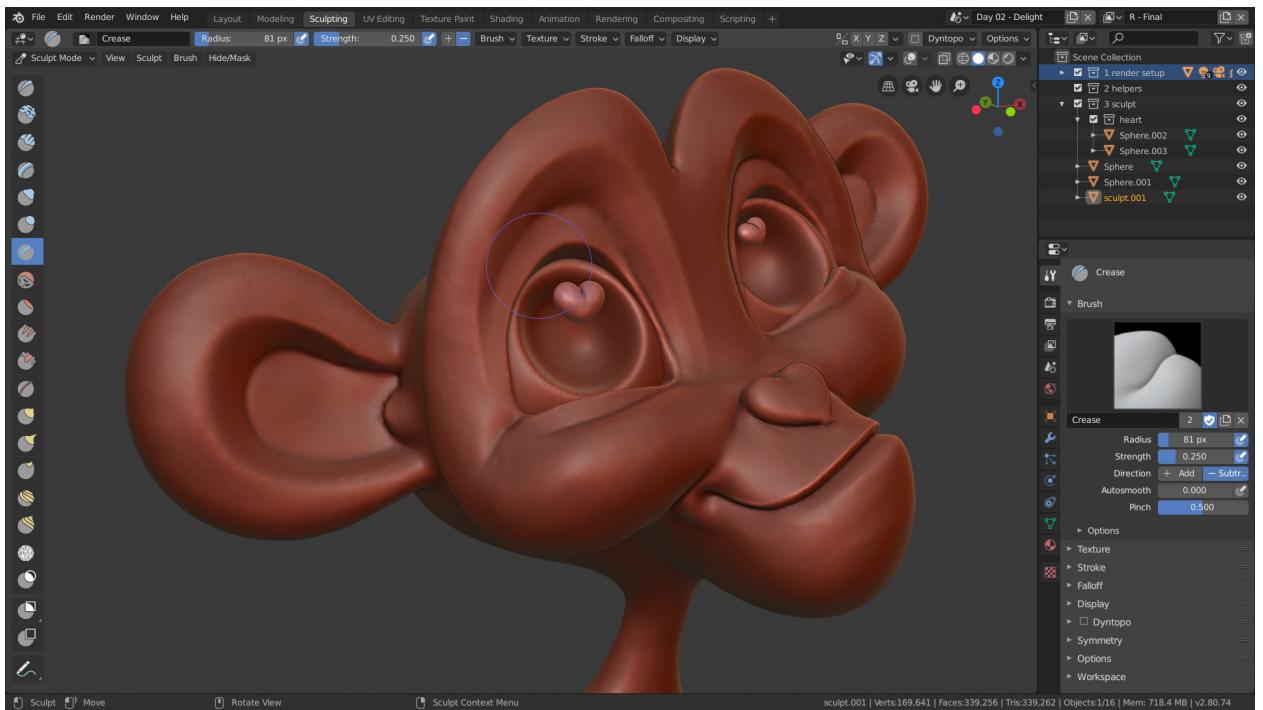


Рисунок 2 – Пример режима скульптурирования в программе Blender

Подход твердотельного моделирования (рис. 3) позволяет работать с оболочками объектов, вместо привычного изменения отдельных элементов поверхности. При отделении части объекта при этом подходе на месте "разреза" модели не остается пустоты, подобно разрезанию реальных твердых материалов. Данный подход моделирования позволяет использовать при разработке модели такие операции как булевы функции объединения, вычитания, разрез модели. Этот метод особенно применим в создании моделей форм механической природы: шестеренок, зданий, механических деталей и пр. Подход не применим для воссоздания натуралистических объектов, таких как ткани, тела организмов, персонажей, и др.

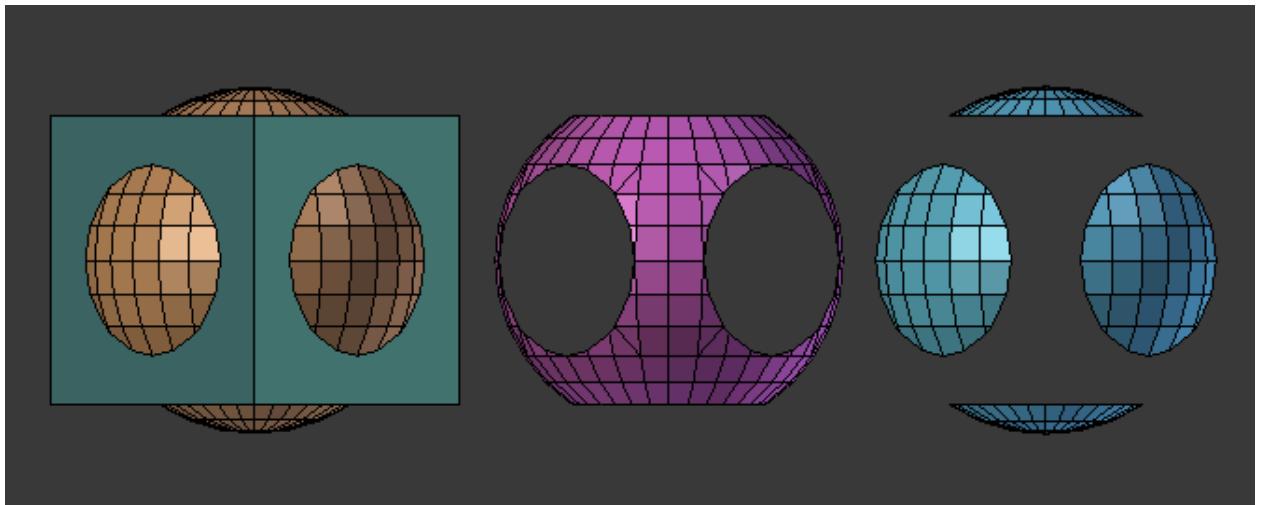


Рисунок 3 – Объединение, пересечение и разница между кубом и UV-сферой с применением модификатора к сфере и использованием куба в качестве цели

Подобный способ моделирования является базовым для систем автоматического проектирования (САПР или CAD), предназначенным разработки моделей, требующих измеряемых, точных значений размеров объекта в приоритете над визуальной реалистичностью, как правило для дальнейшего реального производства.

Подход поверхностного моделирования разрешает добавлять и настраивать непосредственно плоскости, которые формируют отдельные элементы моделируемого объекта. Плоскостям присваивают подходящую форму и соединяют между собой, избыточную форму противоположно удаляют. Таким методом образуется модель из всевозможных плоскостей. Этот метод считается фундаментальным, наиболее гибким, но так же и наиболее медленным способом разработки трехмерной модели, и применяется данный подход преимущественно для сотворения таких сложных форм моделей, как элементы фюзеляжа самолетов, автомашин, используемых для станков с ЧПУ.

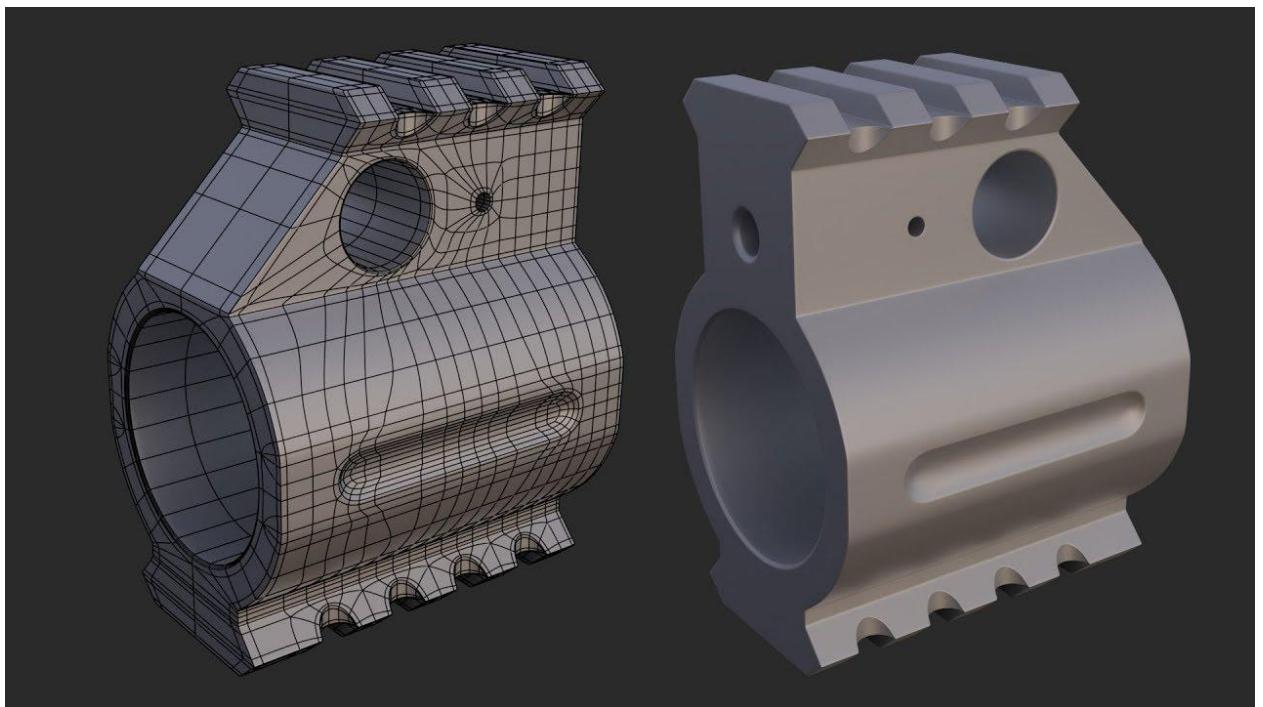


Рисунок 4 – Модель детали оружия, реализованная методом полигонального моделирования

В производстве твердотельный и поверхностный подход к моделированию применяются преимущественно для создания моделей промышленного предназначения, а также для их визуализации.

Полигональное моделирование позволяет сделать объект любой формы при помощи прямого редактирования его вершин, ребер и граней. Полигоны состоят из граней, составляемых в свою очередь между тремя, либо четырьмя вершинами. Производство при данном подходе выполняется методом вытягивания, вращения и перемещения простейших элементов геометрии в пространстве. Результатирующие модели подразделяются на низкополигональные и высокополигональные. Чем меньше в геометрии модели полигонов, тем более детализированная модель. При разработке моделей особое внимание необходимо уделять минимизации, а где возможно и полного исключения избыточности полигональной сетки, по причине того что количество полигонов прямо пропорционально месту, занимаемому в памяти ЭВМ при визуализации означенной модели. Моделлеру следует исключать наличие более чем одного полигона на одну плоскую грань модели, за исключением ситуаций, при которых на такую плоскую грань приходится более чем четыре вершины, составляющие ее границы. Применение этого правила имеет особенно важное значение при разработке моделей для программ виртуальной реальности, т.к. снижение производительности в VLE, в виде потери кадров визуализации приводит к понижению вовлечения, а серьезное снижение частоты обновления визуализации может вызвать у пользователя тошноту и другие симптомы недомогания от использования программы.

Моделирование NURBS-поверхностями (см., например, рис. 5) основано на использовании криволинейных поверхностей (название происходит от англ. Non-uniform rational B-spline). От полигональной техники данный метод отличается тем, что 3D-художник оперирует не гранями, но частями модели, ограниченными кривыми линиями. Изменение характера поверхности производится посредством изменения кривизны направляющей

линии. NURBS-поверхности имеют бесконечную детализацию, так как форма у таких фигур описываются математическими формулами, вместо расположения индивидуальных вершин. Как и в случае со скульптурированием, для визуализации модели NURBS-подхода программа предварительно триангулирует всю фигуру, т.е. инициирует процесс разбиения поверхности на треугольные грани. У данного метода моделирования есть преимущества перед полигональным. А именно - точность.

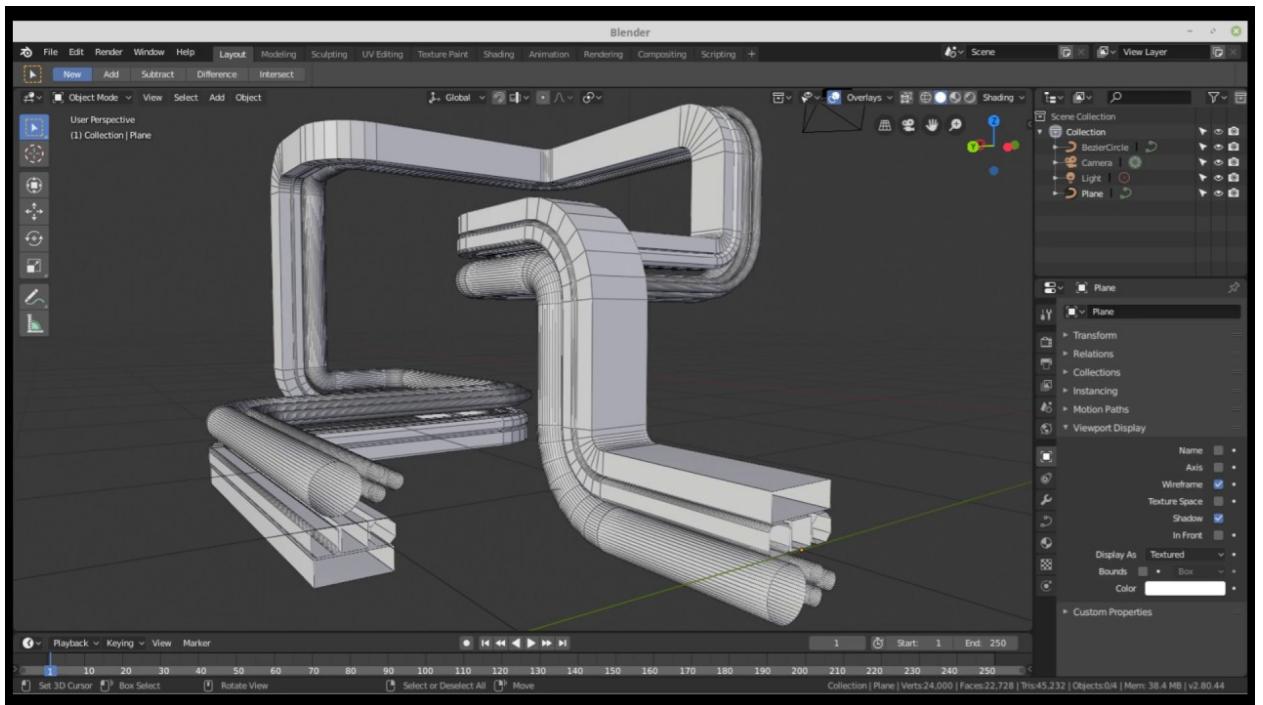


Рисунок 5 – Трубопровод, реализованный подходом NURBS моделирования

Данную методику применяют для изготовления точных промышленных изделий, которые впоследствии будут изготавливаться литьем штамповкой и т. д. Данная технология реализована в 3DSMax, Blender, Autodesk Maya и доведена до совершенства в CAD-пакетах: Rinoceroc, Katia, Fusion 360 и др.

Выбор подхода моделирования напрямую зависит от типа производимой модели. Нередко при разработке визуальной среды требуется последовательное использование нескольких подходов для одного объекта, если сама природа поверхности этого объекта не равномерна. Для получения фотогипералистичной визуализации применяются в основном высокополигональные модели. Низкополигональное моделирование применяется как правило при создании элементов, контекстуально недоступных пользователю для близкого изучения, например для элементов заднего плана сцены, находящихся за пределами доступной для перемещения виртуальной среды, видимые лишь издалека. Подход применяется и для экономии требуемых ресурсов. Они большей частью применяются в сфере разработки компьютерных игр. При разработке визуализации виртуальной среды обучения в рамках данной работы использовалась одна из наиболее распространенных программ для полигонального 3D - моделирования – Blender 3D.

Перечисленные выше подходы уместно назвать традиционными методами создания трёхмерных объектов, спроектированными в первую очередь для создания высокоточных моделей для дальнейшего промышленного производства. Для разработки моделей, используемых в виртуальных программах обучения зачастую необходимо достигать большего объема различных объектов, допускающих неточности в числовых параметрах размеров, но точно отражающих образы реальных предметов, либо мест. Для производства таких моделей применимы более современные подходы к разработке, называемые процедурными методами моделирования.

1.4 Создание виртуальной среды процедурными методами

Процедурное моделирование находит наибольшее применение в таких случаях, когда задачей стоит создание таких систем объектов и поверхностей, которыми имеется необходимость пластично управлять, т.е. изменять логические параметры некоторого ряда свойств этих объектов. Такими системами являются например деревья или иные растения, высотные здания или может являться полноценный город. Процедурное моделирование может быть линейным (стековым) и нелинейным (узловым или нодовым). Линейное процедурное моделирование поддерживают все серьезные пакеты 3D-моделирования, она основана на вертикальном стеке модификаторов. Нелинейное процедурное моделирование хорошо реализовано в Houdini, Cinema 4D с модулем MoGraph, Rhinoceros с плагином Grasshopper, нативно поддерживается в Blender.

Процедурное моделирование (рис. 6) имеет большое преимущества над всеми остальными за счёт отсутствия деструктивных операций. В любой момент 3d-художник может вернуться на любой этап моделирования и изменить нужный параметр. Естественно рабочая сцена хранит всю информацию о произведенных действиях пользователя. В определённый момент, если не контролировать процесс моделирования и своевременно не чистить историю, рабочий файл может сотни или даже тысячи мегабайт.. В параметрическом моделировании легко уживаются сплайны и полигональные объекты.

Автор [10], исследуя данный метод моделирования, отметил: “Как уже было сказано ранее, каждый процедурный генератор города создается для определенных целей, что порождает некоторые его проблемы, при использовании в других направлениях...”



Рисунок 6 – Виртуальный город, созданный при помощи генератора
И отмечает плюсы генератора [10]:

- подходит как для создания набора синтетических данных, так и для разработки на его основе игровых или симуляционных виртуальных проектах;
- высокий уровень оптимизационных процессов, проводимых над элементами модульной системы;
- невысокий порог входа, для использования программного обеспечения при создании города, преследуя свои собственные цели;
- гибкость модульной системы, позволяющей создавать и имплементировать свои собственные модели и текстуры к ним;
- низкая сложность настройки меток используемых в блюпринтах элементов, как будущую базу для сбора синтетических данных;
- возможность использования сторонних структур, например, таких как парк или площадь, в качестве кварталов, составляющих части города.

И минусы генератора:

- отсутствие возможности процедурной генерации трехмерного ландшафта, используемого в качестве симуляции окружающего город пространства;
- отсутствие возможности процедурной генерации парков и площадей, обычно присутствующих в городах (см. рис. x). Данный минус приводит к необходимости их разработке иными способами;
- отсутствие системы неигровых персонажей, олицетворяющих людей, живущих в городе.

Выводы

Исходя из исследования [10] делаем вывод, что процедурный подход является применимым при необходимости моделирования итеративно подобной среды, достаточно объемной для того чтобы оправдать трудозатратность на производство моделей данным подходом, т.к. для каждого ряда подобных объектов необходимо создавать собственный генератор.

Глава 2. Нативный дизайн в VR образовании

2.1 Нативный дизайн в образовании

На заре разработки программ обучения термина “эффективность” было достаточно, чтобы описать цель, на которую были направлены все аспекты составления любой образовательной программы. По мере развития дискурса методик образования, на смену слову “эффективность” пришла такая терминология, как опыт, эмоции, вовлеченность, погружение, стресс и т.д.. К сожалению, за стремлением в минимально возможные сроки уместить безостановочно растущие объемы знаний, необходимых для все более сложных современных квалификаций труда эти термины возвращаются на второй план.

Что еще хуже, кажется, что не существует двух преподавателей, способных согласиться с тем, что эти термины значат для их образовательной деятельности. И не столь важно подобрать для этих слов рабочее определение. Что необходимо, так это выведение через глубокий анализ той рабочей модели, которая отображает опыт, который получает пользователь образовательной программы во время обучение, то есть VLE. В идеале такая модель поддерживает способность разработчика образовательной программы предсказать, как механика происходящих в процессе обучения событий и взаимодействие игроков создают определенный VLE.

Дизайнер обучающего окружения в первую очередь занят установлением формальных элементов и поиском ключевого взаимодействия пользователя и виртуального окружения в процессе проектирования для разработки VLE. Стоит помнить что это лишь средство для достижения цели.

В теории геймдизайна нативный опыт пользователя представляет собой конечную цель дизайнера обучающего окружения. Именно по опыту использования программы обучаемый будет судить о качестве программы обучения. Хотя данный опыт – это влияние обучающей программы на обучаемого, разработчик VLE не должен быть заведомо ограничен определением желаемого опыта использования VLE. Таким образом, сам процесс обучения также может стать отправной точкой для разработки VLE.

Циммерман и Зален [11] описывают эту концепцию как проблему вторичного дизайна в своей книге «Правила игры».

Hunicke и LeBlanc [12] расширяют эту концепцию, вводя идею игровой эстетики в свою модель MDA (механика, динамика, эстетика). Теория нативного, естественного игрового дизайна определяет опыт использования по тому, как VLE соотносится с опытом, способностями и личностными характеристиками пользователя, состоянием VLE, личностью и типами VLE.

2.2 Опыт использования программ VR обучения

Теория нативного дизайна VLE дистанцируется от идеи, что люди рассматривают виртуальную реальность, как средство для бегства от реальности. Цель разработки VLE не должна ассоциироваться с таким негативным поведением. Также спорным является представление о том, что VLE – это всего лишь познавательная деятельность. Вместо этого дизайнер должен стремиться создать опыт, учитывающий целостную взаимосвязь между умственной и физической активностью.

Согласно Гордал [11], опыт возникает в результате «управляемой стимуляции центральных психических и телесных функций». С точки зрения дизайна VLE это означает, что виртуальные программы обучения создают впечатления, вызывая как физические, так и умственные реакции, даже если

эти реакции различаются по интенсивности. Обладая этими знаниями, можно создавать эмоции настоящего события в процессе виртуального обучения. Нативные эмоции – это когда пользователь выражает печаль и разочарование от совершенной ошибки, радость от успешного прохождения, нервозность от ожидания и многое другое.

Теория нативного дизайна связывает все выдвигаемые перед пользователем задачи напрямую со способностями игрока (например, пятью чувствами, когнитивными и двигательными способностями). Формирование наших взглядов на опыт позволяет теории пойти еще дальше в понимании того, почему и как пользователь вовлекается в процесс обучения. Он начинается с выявления портрета пользователя, которому необходимы определенные способности для успешного прохождения программы или участия в деятельности, структурированной VLE.

Для достижения высокой эффективности обучения пользователям нужны не только их способности, но и их умение использовать свои способности, определяющие, насколько успешным будет результат использования VLE. Если мы рассмотрим программы виртуального обучения с этой точки зрения, то теория предполагает, что все обучаемые внутренне мотивированы использовать, проверять или расширять пределы своих природных способностей. Для дизайнера, это открывает возможность напрямую связывать задачи внутри VLE с конкретными способностями игрока.

Задачи, предлагаемые программой, могут варьироваться от необходимости использования одной способности или навыка до нескольких одновременно.

Например, некоторые обучающие VR программы могут включать в себя тестирование теоретических знаний пользователя, в первую очередь проверяющее способность пользователя запоминать, и в то же время тестировать кинестетическую способности пользователя бегать.

2.3 Ключевые аспекты обучающих VR тренажеров

Теория нативного дизайна VLE определяет процесс обучения как состояние, существующее в ключевые моменты. Всякому дизайнёру обучающих тренажеров необходимо принимать меры для минимизации возможности разочарования или состояния скуки пользователя их продукта. Брауна [12], выделяет эти ключевые моменты VLE (см. табл. 1).

Во время прохождения программы обучения пользователь должен сталкиваться с этими моментами и переключаться между ними, чтобы сохранять вовлечение в процесс. Если одно из перечисленных состояний отсутствует или становится слишком трудным для достижения, VLE может вызвать чувство скуки или утомления. VLE – это в сущности нативная среда, удерживающая пользователей между этими состояниями. Дизайнеры могут утилизировать ключевые моменты для измерения вовлеченности пользователей или потери их внимания к VLE.

Таблица 1 – Ключевые аспекты Virtual Learning Experience

Ожидание	Пользователь с нетерпением ждет некоего аспекта виртуальной деятельности.
Удовольствие	Пользователь чувствует себя довольным от собственной виртуальной деятельности.

Понимание	Пользователь может контекстуализировать виртуальную деятельность.
Расширение возможностей	Пользователь чувствует, что у него есть значительный контроль над виртуальной деятельностью.
Сюрприз	Пользователь встречает что-то новое в процессе виртуальной деятельности.
Самообладание	Пользователь взволнован и должен справиться с волнением.
Мастерство	Пользователь осознает, что продолжение виртуальной деятельности увеличит его мастерство.

2.4 Игрофикация процесса VR обучения

Чтобы понять природу игры, необходимо сначала понять градиент, который существует между процессом обучения и процессом игры. Игра в абсолюте непринужденна и спонтанна, в то время как обучение структурирована и ограничена неявными и явными правилами. Теория нативного игрового дизайна выделяет несколько категорий игр, в том числе:

Таблица 2 – Категории игр в нативном дизайне

Игры сравнения	Игрок сравнивает свои способности с другими игроками.
----------------	---

Оценочные игры	игрок устанавливает контрольный показатель или стремится побить предыдущий контрольный показатель
Завершающие игры	Игроку предлагается выполнить задание
Исследовательские игры	Игрок бросает вызов себе до тех пор, пока игровое состояние не перестает приносить удовлетворение
Случайная игра	Шанс игрока на успех зависит от вероятности
Условные игры	Игроку предлагается выполнить несколько условий.

Категоризация основана на вопросе: “Что побуждает игрока использовать свои способности”. Категории предназначены для того, чтобы помочь разработчику VLE связать эти категории со способностями пользователя, общими целями игр и задачами обучения, и их сложными комбинациями. Возможно даже, что изучение комбинаций может привести к появлению новых форматов обучения и прикладных игровых жанров. Эти категории не следует путать с категориями, основанными на наблюдении за игроками, использующими свои способности. Возможно, самый ранний пример этого исходит от Каллуа [12], который разделил игры на соревнование, игру случая, ролевые игры и изменение восприятия. Альтернативной, более современной методикой Hunicke, LeBlanc и Zubek [13] предложили «8 типов вовлечения» как способ определения вовлечения, вот сформулированные ими виды вовлечения:

- Ощущение;

- Фантазия;
- Повествование;
- Вызов;
- Товарищество;
- Открытие;
- Выражение;
- Подчинение.

Теория нативного дизайна обучающих программ утверждает, что VLE воссоздают реальный жизненный опыт. Опыт использования программы обучения всегда включает в себя физические и умственные усилия со стороны игроков, в то время как интенсивность опыта зависит от комбинации чувств, когнитивных и двигательных способностей, вызываемых программой. При разработке обучающего процесса задайтесь вопросом, как VLE предлагает пользователю использовать и улучшать свои навыки и способности. Пренебрежение любым из этих навыков и способностей в конечном итоге может привести к разочарованию пользователя и негативному опыту использования VLE. Кроме того, игровое состояние приложения как инструмент проектирования имеет важное значение для продления использования среды обучения игроком.

Глава 3. Авторские подходы к реализации VR тренажеров

3.1 Критические аспекты разработки принципа нативного дизайна

Исследовав описанные научные материалы, автор выделил несколько ключевых аспектов, требующих особого внимания при разработке образовательных тренажеров виртуальной реальности.

- **Аспект понимания.** Необходимо обеспечивать образами, наполняющими виртуальное окружение обучаемого контекстуальный смысл текущего действия пользователя. Этого эффекта можно достигать экстраординарными образами, такими как например заполнение песком всего виртуального пространства, окружающего пользователя, и механизмом на стене, содержащим в себе задачу программы обучения, которую пользователь должен решить для остановки поступления песка. Того же эффекта можно достигнуть классическим таймером, прямо в центре внимания, с подписью, объясняющей, что для достижения максимальной оценки необходимо решить поставленные задачи как можно быстрее. Форма этих образов определяется, исходя из портрета целевого пользователя программы обучения, и соответствует его интересам, учитывая его фобии.
- **Аспект мастерства.** Важно создать у пользователя, неоднократно использующего программу виртуального обучения, ощущение прогресса, увеличения его мастерства. Такое ощущение возможно стимулировать посредством постепенного добавления косметических, нефункциональных элементов окружения, отражающих достижения пользователя (рис. 7). Их роль могут выполнять трофеи, возникающие

по достижении определенного прогресса в индивидуальном виртуальном пространстве обучаемого, либо в недоступной для взаимодействия зоне, либо в рабочем виртуальном пространстве. Другой способ вызвать ощущение нарастающего мастерства пользователя VLE это периодическое добавление в программу обучения более ранних задач, вызывавших у пользователя трудности ранее по программе обучения. Аналогично предшествующему аспекту, форма реализации в VLE напрямую выбирается из портрета целевого пользователя программы, для максимально контекстуально возможного отражения его интересов.

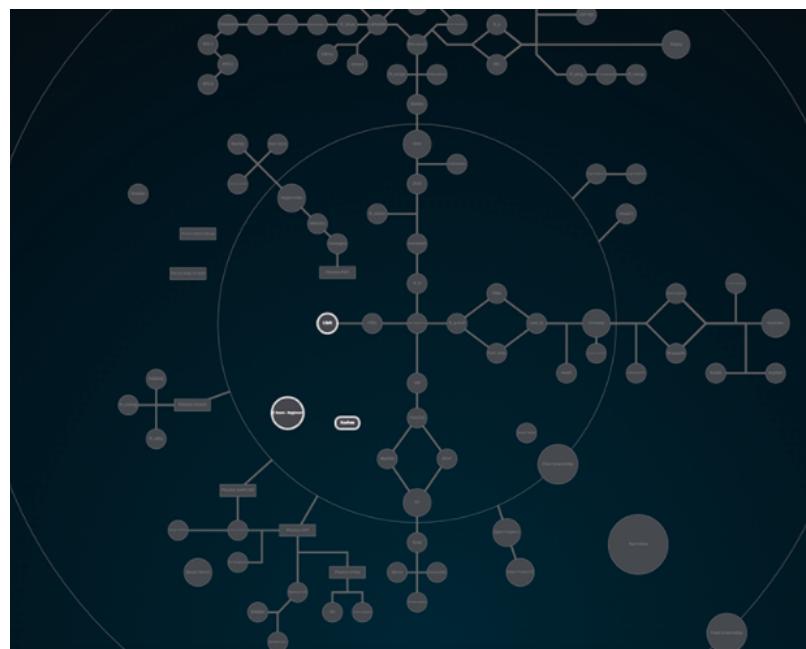


Рисунок 7 – Дерево достижений в школе программирования School42

[ссылка]

- **Аспект ожидания.** Требуется регулярно вызывать у пользователя волнение от ожидания некоего виртуального действия или события. Стимуляция этого чувства эссенциальна как противоядие от утомления от процесса интенсивного обучения. Достигается

например добавлением в естественный дизайн окружения некоторых наград за продвижение по программе обучения, вызывающих радость у пользователя. Важен момент обещания получения этой виртуальной награды до ее получения, т.к. ощущение волнение возникает именно от приближение к желаемому, но не от самого получения. Использование такого метода поддержания ожидания применяется итеративно.

- **Аспект самообладания.** Обязательно при разработке нативного дизайна обучающих виртуальных тренажеров необходимо добавлять фактор сложности, и риска не преуспеть в задании обучающей программы. Другими словами, при разработке должен учитываться и прорабатываться сценарий ошибок и провалов. Это необходимо для стимуляции в пользователе самообладания, одного из самых критических навыков в подготовке специалиста любой профессиональной сферы. Без проработанного сценария ошибки невозможно вовлечения процесс успешного выполнения задач программы обучения. При достаточности ресурсов на разработку необходимо в первую очередь создавать дополнительные провальные сценарии для VLE.

Перечисленные аспекты являются универсальными для обучающих программ любой специфики, и их следует применять при разработке всех уровней. Соблюдение данных серьёзно увеличивает эффективность обучения, в первую очередь через вовлечение обучаемого человека.

3.2 Нативный дизайн в визуализации программы обучения

При разработке визуализации VLE разумным решением будет имитация в виртуальном пространстве среды реального окружения целевого обучаемого, естественного для него окружения при обучении, даже при условии что по окончании разработки визуализации результат будет едва это реальное окружение напоминать, знакомый образ поможет снизить стресс от интенсивной программы обучения.

Далее стоит проводить моделирование от большего к меньшему. Такой подход подобен высечению фигуры из камня при реальном скульптурировании, он позволяет сохранять общий композиционный баланс окружения, что также позитивно влияет на опыт использования VR тренажера. В первую очередь стоит определить место и форму основных точек интереса, таких как рабочее пространство, зона достижений, зона информации.

3.3 Оптимизация визуализации окружения

Оптимизация окружения в виртуальном пространстве достигается методами, аналогичными оптимизации окружения для трехмерных видеоигр. Это связано в первую очередь с единым инструментом исполнения этих программ – игровым движком. Большинство техник оптимизации трехмерного окружения завязаны на утилизации особенностей работы игрового движка. Как окружение VLE, так и мир видеоигр имеет возможность в реальном времени выглядеть столь реалистично благодаря технологии запекания карт текстур в атласы, карт нормалей, и грамотной работой со светом.

Низкополигональная модель имеет наименьшее численность полигонов за счет уменьшения точек, не влияющих на форму объекта. Еще на данной

модели удаляются все полигоны, которые не станут видимы в этой ирге и отбрасывать тень. Дальше формируется развертка модели. В зависимости от того, где располагается объект на сцене, и с какого ракурса он заметен ориентируется его тексель. Для сглаживания низкополигональной модели светит передвинуть нормали с высокополигональной модели. Перенесение исполняется способом запекания в сделанную развертку. Выходит карта нормалей. Нормаль – это оригинальный вектор полигона, отвечающий за то, как ложится тень на плоскость. RGB-значение всякого пикселя карты нормалей соответствует XYZ смысла вектора. Применяя карту нормалей, формируется эффект сглаживания и детализации низкополигональной модели (см. рис. 8).

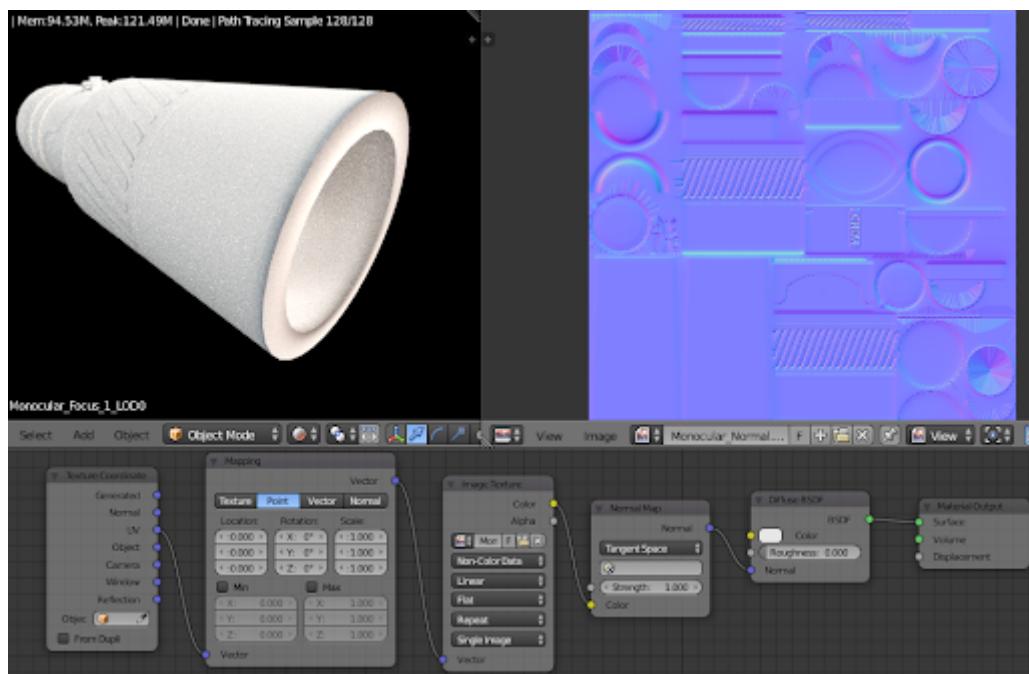


Рисунок 8 – Пример карты нормалей с запеченной детализацией

Внедрение текстурного атласа разрешает убавить численность применяемых текстур. Он дает из себя 1 огромную текстуру, в которой находятся множество текстур отдельных элементов. Текстурные атласы формируются для экономии вычислительных ресурсов. Например, если

предназначить всем древесным объектам одну ткань, с обращением к одному текстурному атласу, в который защиты все 20 текстур, то GPU может отрендерить 20 объектов за один вызов.

3.4 Пайплайн разработки визуального окружения

Таким образом мы плавно подошли к описанию универсальной цепочки последовательных процессов преобразования сценария программы виртуального обучения в визуальную среду, составляющую окружение обучающей VR программы.

Пайплайн производства трехмерного окружения по своей природе напоминает процесс постройки дома, где каждый последующий этап надстраивается над предыдущим, используя его как собственное основание.

Подчеркнем, что данный алгоритм разработки окружения учитывает принципы нативного дизайна, направленные на повышение эффективности процесса обучения и снижение стресса обучаемого. Данные принципы необходимо применять во всех элементах создания обучающего тренажера, мы рассматриваем их применение в разработке визуальной составляющей.

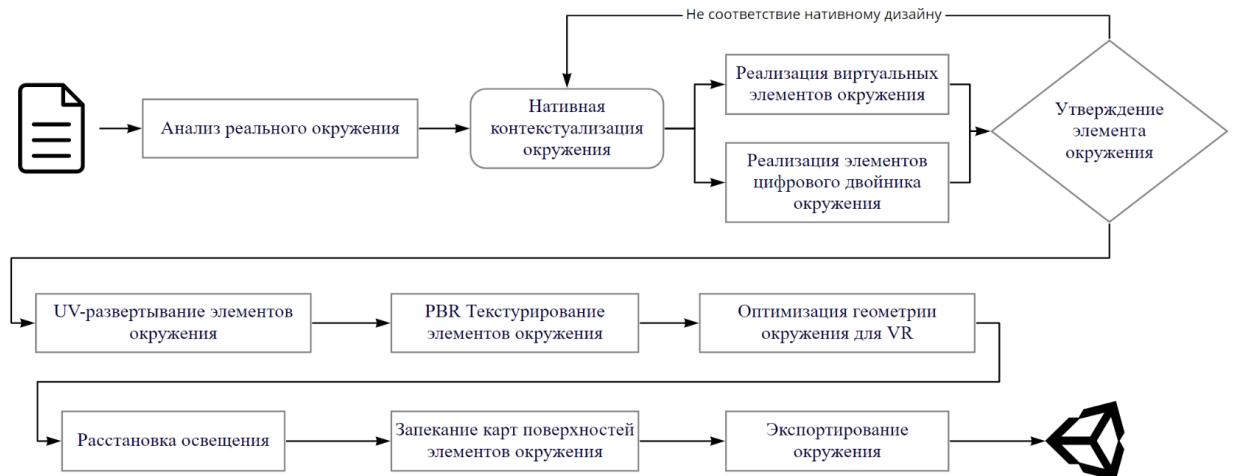


Рисунок 9 – Пайплайн производства визуального окружения

Процесс производства визуального окружения имеет последовательный характер, разделяется на этапы разработки (см. рис. 9):

- Анализ реального окружения, привычного целевому пользователю и нативного к контексту обучения. Производится выявление знакомых ключевых образов реального окружения.
- Концептуализация виртуального окружения, на основании знакомого, реального окружения.
- Реализация базового виртуального окружения с помощью различных техник моделирования.
- Контекстуализация окружения посредством добавления знакомых пользователю элементов.
- UV-развертывание элементов окружения, подготовка к работе с поверхностями элементов окружения.
- Генерация текстур поверхностей окружения и последующее текстирирование поверхностей окружения.
- Производится корректиrovочная композиция окружения. Финализируется форма окружения.
- Расстановка освещения, дополнительная фокусировка внимания.
- Оптимизация геометрии окружения автоматическими не деструктивными методами.
- Запекание карт поверхностей в атласы текстур.
- Подготовка итогового окружения к экспорту в игровой движок.

Глава 4. Практическое применение нативного дизайна при разработке визуализации обучающего VR тренажера

В данной главе будут рассмотрены результаты работы по созданию среды виртуального обучения с применением нативного дизайна.

4.1 Выбор подхода

Для разработки визуализации был выбран собственный метод производства визуального окружения с применением принципов нативного дизайна, описанный в главе 3.4.

Подход был спроектирован с учетом требований к результату разработки, специальному архитектуре обучающих тренажеров виртуальной реальности.

Задачей проекта является производство визуального окружения с применением принципов нативного дизайна, на основе реальной среды обучения, с использованием собственного разработанного подхода.

4.2 Создание окружения виртуальной среды обучения

За пример реального окружения обучения была взята аудитория института. Произведено выделение характерных этой среде элементов:

- 1) Плиточный пол с люками под розетки;
- 2) Широкое панорамное окно;
- 3) Столы рабочие деревянные однотипные;
- 4) Шкафы для верхней одежды и документов;

Были произведены дубликаты ключевых элементов реального окружения, для дальнейшего сохранения аспекта понимания нативного

дизайна, другими словами для того чтобы в виртуальной адаптированной среде виртуального тренажера сохранились узнаваемые из реального окружения образы (см. рис. 10).

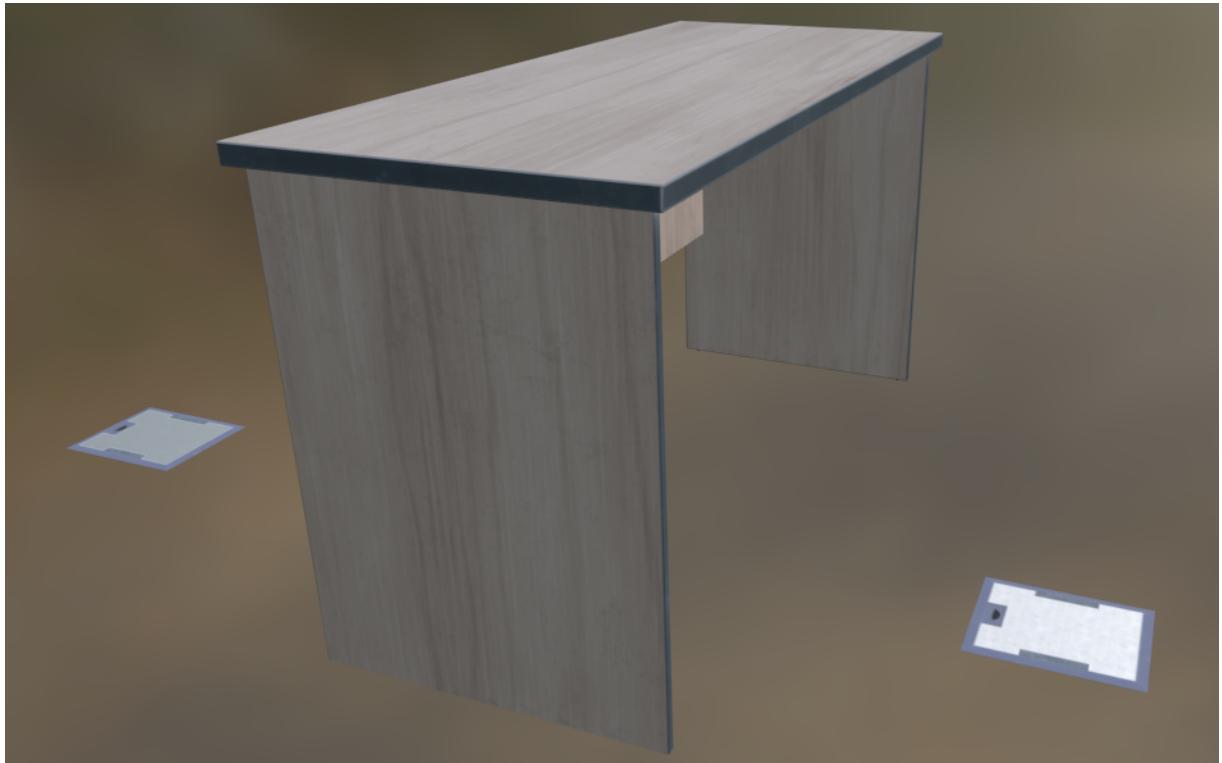


Рисунок 10 – визуальные двойники элементов реальной среды обучения

При производстве моделей был применен полигональный метод моделирования, с сохранением корректной топологии. Получившиеся элементы далее использовались в формировании двойника окружения. Далее был произведен цифровой двойник реального окружения, содержащий трехмерные двойники объектов, характерных реальной среде (см. рис. 11, 12).



Рисунок 11 – визуальный двойник реальной среды обучения



Рисунок 12 – визуальный двойник среды обучения, вид сверху

В процессе моделирования элементов реального окружения, на этапе создания UV-развертки модели было реализовано запекание нескольких комплектов текстур для объектов окружения (см. рис. 13). Таким образом, уже на этапе создания двойника были удовлетворены требования по оптимизации объектов для дальнейшего экспортования моделей объектов в игровой движок.

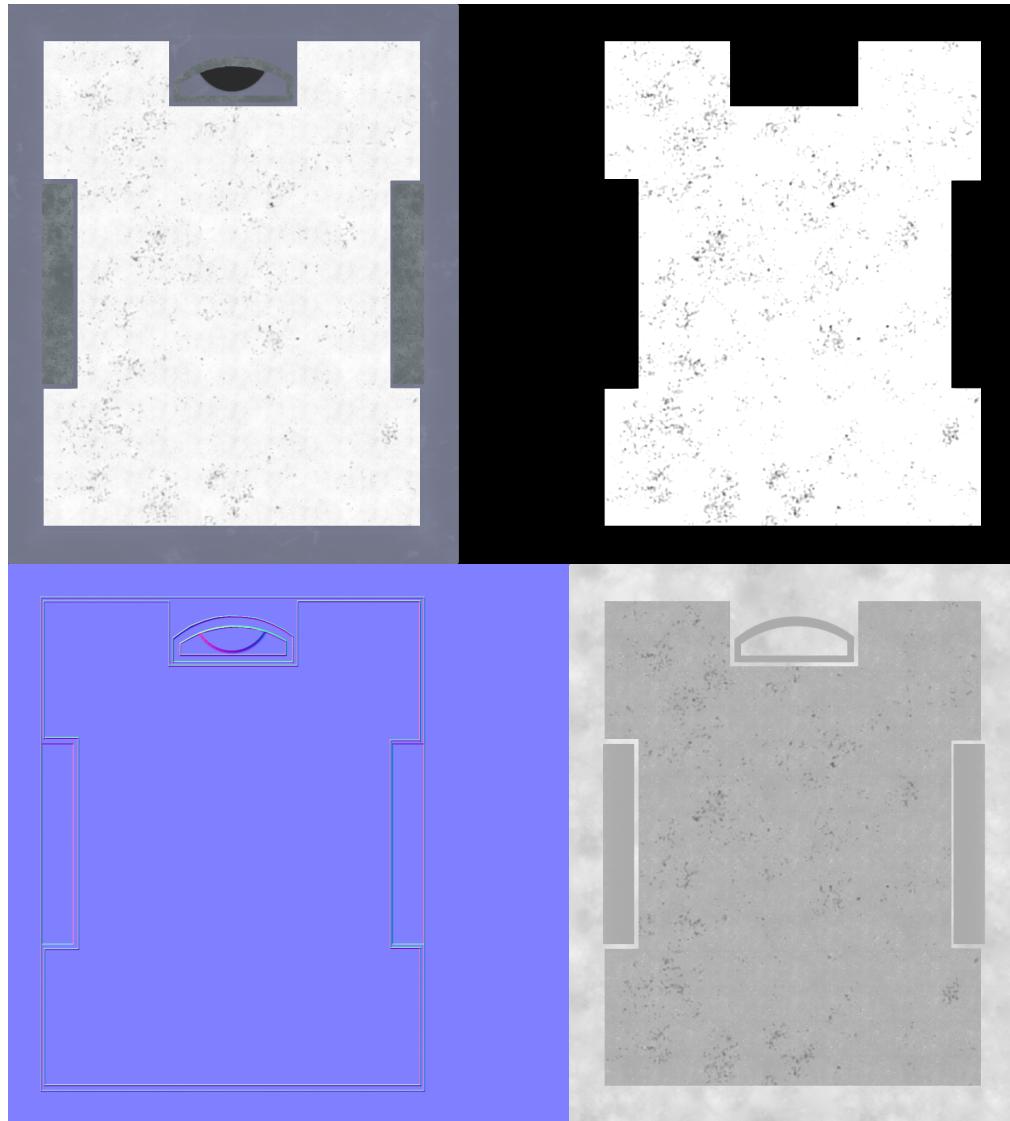


Рисунок 13 – запеченные текстуры элемента окружения

Далее, руководствуясь ключевыми принципами нативного дизайна была произведена корректировка общей композиции окружения. Произведена расстановка освещения, согласно принципам нарративного дизайна, с целью дополнительной фокусировки внимания (см. рис. 14).



Рисунок 14 – визуальное окружение программы виртуального обучения

Произведена оптимизация вычислительной нагрузки способом не деструктивной минимизации сетки объектов окружения.

Произведено запекание материалов поверхностей объектов в атласы текстур.

Произведено экспортование итогового виртуального окружения для последующего импортирования в игровой движок согласно стандарту индустрии – в формате .fbx с сопутствующими пакетами текстур.

4.3 Анализ результатов

Руководствуясь самостоятельно разработанным пайплайном (см.рис.9) были выполнены все задачи по созданию визуальной составляющей виртуального окружения, оптимизированного и подготовленного для использования в обучающих программах виртуальной реальности, а именно:

разработан визуальный двойник реального окружения (см. рис. 11, 12);

созданы трехмерные модели характерных элементов реального окружения (см.рис.10);

созданы материалы моделей, из них запечены текстуры и подготовлены к импортированию в игровой движок;

разработано и подготовлено к импортированию в игровой движок визуальное окружение, созданное согласно принципам нативного дизайна;

Безусловно универсальность разработанного подхода к созданию визуализаций может быть исследована глубже. Остаётся надеяться что развитие рынка виртуального образования привлечет больше внимания к этой сфере науки и образования. Недостаток информации и исследований в данной области не помешал разработать пайплайн, позволяющий утилизировать принципы нативного дизайна и успешно разрабатывать более комфортные и эффективные реальности виртуального окружения (см. рис. 14), что и было необходимо сделать.

Заключение

В рамках работы были проанализированы современные подходы нативного дизайна в виртуальном образовании. Исследованы принципы нативного дизайна, применимые в разработке обучающих VR тренажеров, выделены ключевые аспекты, универсально применимые при разработке виртуальных тренажеров, вне зависимости от их специфики.

Были сформулированы основные требования к цепочке последовательности разработки визуального окружения виртуальных обучающих программ.

Описан собственный пайплайн разработки визуального окружения.

Произведена реализация визуального окружения с помощью этого пайплайна. Для произведенной реализации были применены методы оптимизации для дальнейшей возможности импортирования окружения в обучающий VR тренажер.

Исходные коды проекта размещены в репозитории [14] и доступны для модификаций и экспериментов.

Глоссарий

VLE (от англ. virtual learning environment) - окружение программы виртуального обучения.

VR (от англ. virtual reality) - виртуальная реальность.

Аффорданс - свойство некоторой среды, определяющее доступность взаимодействия с ней (Термин Гибсон Г.Г., 1986) [4].

Визуализация (рендеринг) - это процесс построения изображения, кадра посредством компьютерной программы.

3D-редактор - программный пакет, с помощью которого можно моделировать 3D объекты и создавать на основе этих моделей фотoreалистичные изображения.

Список использованных источников

- 1) A Practical Guide, With Theoretical Underpinnings, for Creating Effective Virtual Reality Learning Environments / Eileen A. O'Connor, Jelia Domingo, 2017 // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://doi.org/10.1177/0047239516673361>
- 2) Lessons Learned From Immersive and Desktop VR Training of Mines Rescuers / Shiva Pedram, Richard Skarbez, Stephen Palmisano, Matthew Farrelly, Pascal Perez/ Front. Virtual Real., 26 February 2021 // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frvir.2021.627333/full#B6>
- 3) The role of affordance in the experience of virtual reality learning: Technological and affective affordances in virtual reality / Dong-Hee Shin / Telematics and Informatics, Volume 34, Issue 8, December 2017, Pages 1826-1836 // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.05.013>
- 4) The Ecological Approach to Visual Perception part 8 / J.J. Gibson Houghton Mifflin, Boston (1986) 8 с. // [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.academia.edu/34469995/Gibson_1986_1979_The_Ecological_Approach_to_Visual_Perception_Chapter_8
- 5) The acceptance and use of a virtual learning environment in China / Erik M. van RaaijJeroen J.L. Schepers / Computers & Education 50 (2008), Pages 838–852 // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.09.001>
- 6) Кугуракова, В.В. Математическое и программное обеспечение многопользовательских тренажеров с погружением в иммерсивные

виртуальные среды [Текст] : дис. ... канд. тех. наук: 05.13.11 / Кугуракова Влада Владимировна. – Казань, 2019. - 187 с.

- 7) Бакиров А.Р. и др. Опыт создания неигровых персонажей в виртуальных мирах / Бакиров А.Р., Костюк Д.И., Лазарев Е.Н., Хафизова А.Р. // Электронные библиотеки. – 2016. – Т. 19. – №6. – С. 502-520.
- 8) Virtual reality: physiological and behavioral mechanisms to increase individual pain tolerance limits / September 2020 - Volume 161 // [Электронный ресурс] – Режим доступа:
https://journals.lww.com/pain/Abstract/9000/Virtual_reality__physiological_and_behavioral.98419.aspx
- 9) Виды 3d моделирования. [Электронный ресурс]. URL:
<https://3d-modeli.net/uroki-3d/6175-vidy-3d-modelirovaniya.html>
- 10) Создание среды генерации виртуального города для формирования синтетических данных / Лазарев Е.Н. / Выпускная квалификационная работа. -2021. // [Электронный ресурс] – Режим доступа:
https://drive.google.com/file/d/1Fyd1BZCax5H7FK_YOjBCev9JCx4u1VCM/view
- 11) Jesse Schell / The Art of Game Design: A Book of Lenses, Second Edition, 2019 // [Электронный ресурс] – Режим доступа:
[https://iums.ac.ir/uploads/%5BJesse_Schell%5D_The_Art_of_Game_Design_A_book_of_l\(BookFi\).pdf](https://iums.ac.ir/uploads/%5BJesse_Schell%5D_The_Art_of_Game_Design_A_book_of_l(BookFi).pdf)
- 12) Hunicke, R., LeBlanc, M. and Zubek, R., MDA: A formal approach to game design and game research. In Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI / 2004, July / Volume 4, No. 1, page 1722 // [Электронный ресурс] – Режим доступа:
<http://ksuweb.kennesaw.edu/~jprest20/cgdd2002/MDA.pdf>

- 13) Grodal, T., 2013. Stories for eye, ear, and muscles: Video games, media, and embodied experiences./ The video game theory reader / 2013, October / Pages 151-178// [Электронный ресурс] – Режим доступа:
https://is.muni.cz/el/phil/podzim2004/FAVt1/Grodal_1.pdf
- 14) Материалы проекта // GitHub [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://github.com/LevIIIa/Dissertation>