

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»
 Отделение школы (НОЦ) Информационных технологий

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка информационной системы для лабораторных работ с применением технологий дополненной реальности

УДК 004.744:004.455::004.85

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ81	Пономарев Игорь Владиславович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Кочегуров Е.А.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский В. Ю	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Горбенко М. В	к.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Кочегурова Е. А.	к.т.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общепрофессиональные компетенции	
P1	Воспринимать и самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте.
P2	Владеть и применять методы и средства получения, хранения, переработки и трансляции информации посредством современных компьютерных технологий, в том числе в глобальных компьютерных сетях
P3	Демонстрировать культуру мышления, способность выстраивать логику рассуждений и высказываний, основанных на интерпретации данных, интегрированных из разных областей науки и техники, выносить суждения на основании неполных данных, анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями.
P4	Анализировать и оценивать уровни своих компетенций в сочетании со способностью и готовностью к саморегулированию дальнейшего образования и профессиональной мобильности. Владеть, по крайней мере, одним из иностранных языков на уровне социального и профессионального общения, применять специальную лексику и профессиональную терминологию языка.
Профессиональные компетенции	
P5	Выполнять инновационные инженерные проекты по разработке аппаратных и программных средств автоматизированных систем различного назначения с использованием современных методов проектирования, систем автоматизированного проектирования, передового опыта разработки конкурентно способных изделий.
P6	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области проектирования аппаратных и программных средств автоматизированных систем с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта. Критически оценивать полученные данные и делать выводы
P7	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации аппаратных и программных средств автоматизированных систем различного назначения.

	Общекультурные компетенции
P8	Использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских, проектных работ и профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов, в управлении коллективом.
P9	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, активно владеть иностранным языком, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке
P10	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень. Проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности.
P11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, способность к педагогической деятельности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»
 Отделение школы (НОЦ) Информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ 10.03.2020 Кочегурова Е.А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
--

Студенту:

Группа	ФИО
8ВМ81	Пономарев Игорь Владиславович

Тема работы:

Разработка информационной системы для лабораторных работ с применением технологий дополненной реальности	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 59-63/с от 28.02.2020 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2020 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <small>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</small>	Объектом исследования является информационная система, предназначенная для формирования нового процесса обучения с применением технологий дополненной реальности.
--	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор технологий виртуальной и дополненной реальностей. Их применение в корпоративной и образовательной сферах. 2. Обзор SDK дополненной реальности. 3. Требования к разрабатываемой системе. 4. Веб-приложение для управления контентом дополненной реальности и лабораторными работами. 5. Android приложение для отслеживания и вывода объектов дополненной реальности.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Логическая структура данных</p> <p>Описание последовательных процессов в системе с помощью UML</p> <p>Презентация в формате *.pptx и *.pdf</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Основная часть	Доцент ОИТ ИШИТР, к.т.н., доцент Кочегурова Е. А
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н. Конотопский В. Ю
Социальная ответственность	Доцент ООД ШБИП, к.т.н. Горбенко М. В.
Английский язык	Доцент ОИЯ, к.п.н. Сидоренко Т.В

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Раздел 2. Review of AR SDK

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.03.2020
---	------------

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Кочегурова Е. А	к.т.н., доцент		10.03.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ81	Пономарев Игорь Владиславович		10.03.2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) 09.04.01 Информатика и вычислительная техника
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Информационных технологий
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.20
--	-----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.06.20	Основная часть	70
01.06.20	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
01.06.20	Социальная ответственность	10
01.06.20	Обязательное приложение на иностранном языке	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Кочегурова Е. А.	к.т.н., доцент		10.03.2020

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Кочегурова Е. А.	к.т.н., доцент		10.03.2020

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ВМ81	Пономарев Игорь Владиславович

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Информатика и вычислительная техника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	—
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Действующие ставки единого социального налога и НДС, ставка дисконтирования = 0,1 (см. МУ)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Дать характеристику существующих и потенциальных потребителей (покупателей) результатов ВКР, ожидаемых масштабов их использования
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Разработать проект такого устава в случае, если для реализации результатов ВКР необходимо создание отдельной организации или отдельного структурного подразделения (возможно временного) внутри существующей организации
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет цены результата ВКР.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка экономической эффективности использования результатов ВКР, характеристика других видов эффекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ - выполнить
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ - выполнить
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ81	Пономарев Игорь Владиславович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ВМ81	Пономарев Игорь Владиславович

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Информатика и вычислительная техника

Тема ВКР:

Разработка информационной системы для лабораторных работ с применением технологий дополненной реальности

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Информационная система для генерации и вывода объектов дополненной реальности.
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <p>1.1. Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.</p> <p>1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – специальные правовые нормы трудового законодательства при работе с компьютером и орг. техникой. – требования к организации рабочего места.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов.</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – отклонение показателей микроклимата; – превышение уровня шума; – отсутствие или недостаток естественного света; – повышенная напряженность магнитного поля.
<p>3. Экологическая безопасность.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на литосферу, гидросферу и атмосферу (отходы, связанные с утилизацией вышедшего из строя ПК и другой орг. техники); – разработка решений по обеспечению экологической безопасности.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – анализ типичной ЧС (пожар); – меры по предупреждению пожара; – действия при пожаре.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Горбенко Михаил Владимирович	к. т. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ81	Пономарев Игорь Владиславович		

РЕФЕРАТ

Ключевые слова: веб-приложение, дополненная реальность, виртуальная реальность, Unity, ARCore, EasyAR.

Объектом исследования являются технологии дополненной реальности.

Целью работы является разработка информационной системы для лабораторных работ с применением технологий дополненной реальности.

Задачи исследования включают:

- обзор технологий виртуальной и дополненной реальности, их применение в корпоративной сфере и образовании;
- обзор SDK дополненной реальности;
- разработка веб-приложения для управления контентом дополненной реальности и лабораторными работами.
- разработка Android приложения с функционалом одновременной локализации, построением карты и выводом объектов дополненной реальности.

В процессе исследования были изучены существующие сервисы по созданию и управлению контентом дополненной реальности и образовательные сервисы с поддержкой этой технологии.

В результате исследования была разработана информационная система с полным функционалом для управления контентом дополненной реальности и базовым функционалом для управления лабораторными работами.

Функционал системы по управлению контентом дополненной реальности реализован таким образом, что его можно добавлять в другие системы. Кроме образования областями применения системы могут быть маркетинг, туризм и развлекательная сфера.

Веб-приложение разработано на Java фреймворке Spring Boot и СУБД MySQL. Для реализации функционала по размещению контента дополненной реальности относительно изображения или карты оцифрованной области используется Unity с целевой сборкой для WebGL, которая интегрируется в веб-приложение. Android приложение разработано на Unity с SDK EasyAR для реализации технологий дополненной реальности.

Разработка информационной системы продолжается. Планируется расширения функционала и улучшения интерфейса.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

API – Application Programming Interface (программный интерфейс приложения)

AR – Augmented Reality (Дополненная Реальность)

JS – JavaScript

JSON – JavaScript object notation (объект в нотации JavaScript)

MR – Mixed Reality (Смешанная Реальность)

REST – Representational State Transfer (передача состояния представления)

SDK – Software Development Kit (набор средств разработки)

SLAM – Visual Simultaneous Localization and Mapping (одновременная локализация и построение карты)

UML – Unified Modeling Language (унифицированный язык моделирования)

VR - Virtual Reality (Виртуальная Реальность)

ИС – Информационная Система

СУБД – Система Управления Базой Данных.

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	9
ВВЕДЕНИЕ	15
1. Обзор VR/AR технологий.....	17
1.1 Применение VR/AR технологий.....	18
1.1.1 Корпоративный сегмент	18
1.1.2 Образовательный сегмент.....	21
1.1.3 Исследования о применимости VR/AR технологий.....	21
1.2 Платформы VR/AR.....	24
1.2.1 VR-тренажеры	24
1.2.2 Инструменты и онлайн редакторы для работы с дополненной реальностью.....	25
1.2.3 Платформа «ClassVR»	27
1.2.4 Платформа «Физикон»	29
1.2.5 Сравнение с разрабатываемой информационной системой	30
2. Обзор SDK дополненной реальности	32
2.1 Технологии распознавания целей дополненной реальности	32
2.1.1 Отслеживание изображений	33
2.1.2 Отслеживание объектов.....	34
2.1.3 Отслеживание поверхностей	34
2.1.4 VSLAM.....	35
2.2 SDK дополненной реальности.....	37
2.2.1 ARCore.....	37
2.2.2 ARKit	39
2.2.3 ARFoundation.....	39
2.2.4 8th Wall	40
2.2.5 Wikitude	41
2.2.6 Vuforia.....	41
2.2.7 EasyAR.....	43
2.2.8 Выбор AR SDK.....	45
3. Проектирование информационной системы.....	47
3.1 Инструментарий	49

3.2	Логическая структура базы данных.....	51
3.3	Описание процесса создания AR-изображения.....	53
3.4	Описание процесса отслеживания и дополнения AR изображения ..	55
3.5	Описание процесса сохранения пространственной карты.....	56
4.	Реализация информационной системы.....	57
4.1	Веб-приложение	57
4.2	Управление контентом дополненной реальности.....	58
4.3	Управление AR-изображениями.....	60
4.4	Управление пространственными картами.....	64
4.5	Управление лабораторными работами	65
4.6	Android-приложение для распознавания AR-целей.....	67
4.7	Android-приложение для построения пространственной карты	69
5.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	72
5.1	Организация и планирование работ.....	72
5.2	Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	76
5.2.1	Расчет затрат на материалы	76
5.2.2	Расчет заработной платы	77
5.2.3	Расчет затрат на социальный налог	78
5.2.4	Расчет затрат на электроэнергию.....	79
5.2.5	Расчет амортизационных расходов.....	80
5.2.6	Расчет прочих расходов.....	81
5.2.7	Расчет общей себестоимости разработки.....	81
5.2.8	Расчет прибыли.....	82
5.2.9	Расчет НДС.....	82
5.2.10	Цена разработки НИР	82
5.3	Оценка экономической эффективности проекта	82
6.	Социальная ответственность	84
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...	85
6.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства	85
6.1.2	Эргономические требования к рабочему месту исследователя.....	86
6.2	Производственная безопасность.....	87

6.2.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов	88
6.2.1.1	Отсутствие или недостаток естественного света.....	88
6.2.1.2	Отклонение показателей микроклимата	89
6.2.1.3	Превышение уровня шума.....	90
6.2.1.4	Повышенная напряженность магнитного поля	91
6.2.2	Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя	92
6.2.2.1	Отсутствие или недостаток естественного света.....	92
6.2.2.2	Отклонение показателей микроклимата	93
6.2.2.3	Превышение уровня шума.....	94
6.2.2.4	Повышенная напряженность магнитного поля	94
6.3	Экологическая безопасность	95
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	96
6.4.1	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при разработке и эксплуатации предмета исследования.....	96
6.4.2	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	97
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	99
	CONCLUSION.....	100
	Список источников.....	101
	Приложение А	105

ВВЕДЕНИЕ

Технологии виртуальной и дополненной реальности являются глобальным трендом. Они активно внедряются в крупных компаниях с целью улучшения рабочего процесса, выводя его на новый уровень.

Количество запросов на разработку проектов и контента виртуальной и дополненной реальности за 2019 год выросло в несколько раз в сравнении в 2018 годом. В том числе и в России появляются новые интересные стартапы и крупные государственные проекты.

Перспективным направлением является корпоративная сфера и образование. Уже сегодня в школах и университетах существуют проекты и тренажеры по хирургии, физике, химии, биологии. А исследования о применимости этих технологий доказывают их значимость: они оставляют положительный опыт и впечатление, а уровень вовлеченности мозговой активности возрастает. Особенно отмечается улучшение понимания сложных процессов технических и естественные наук.

Целью выпускной дипломной работы является проектирование и разработка информационной системы для лабораторных работ с применением технологий дополненной реальности.

Информационная система представляет собой «Гид-справочник» по лабораторным работам. Дополненная реальность позволяет расширить традиционные методы обучения, повысившая уровень вовлеченности и восприятие новой информации студентом.

Разработка информационной системы включает выполнение двух крупных задач:

- проектирование и разработка системы для генерации и управления объектами дополненной реальности.
- проектирование и разработка образовательного сервиса для преподавателей и студентов.

Система по управлению объектами дополненной реальности включает функционал, позволяющий сформировать и подготовить данные о виртуальных объектах, которые будут добавлены в реальный мир и выведены на экран мобильного устройства. Виртуальными объектами могут быть изображения, видео, текст и объемные модели.

Образовательный сервис включает функционал по управлению лабораторными работами и организации сценария для подготовки студента к лабораторной работе с использованием технологий дополненной реальности.

1. Обзор VR/AR технологий

Технологии виртуальной и дополненной реальностей предоставляют новые возможности для взаимодействия человека с цифровым миром. Обе технологии применяются на благо общественности во многих сферах жизнедеятельности. Они позволяют получать новые навыки и повысить жизненный опыт. Но стоит различать эти технологии, так как каждая из них имеет отличный подход и организацию для передачи информации и взаимодействия с пользователем.

Виртуальная реальность (VR) – технология, которая погружает человека в искусственно смоделированный мир, собственную реальность. Взаимодействие с виртуальным миром происходит с помощью специальных гаджетов, таких как очки, шлем, перчатки и контроллеры. Виртуальная реальность имитирует как воздействия, так и реакции на них [1].

Виртуальная реальность позволяет создать среду и условия реальной ситуации, чтобы человек мог приобретать и повышать определенные навыки. Примером подобных сценариев являются виртуальные тренажеры для пилотов, спасателей, врачей.

Дополненная реальность (AR) – технология, которая добавляет в реальный мир виртуальные объекты, расширяя область данных, воспринимаемых пользователем. Дополненная реальность формируется путем обработки данных, полученных с камеры устройства. Программное обеспечение дополняет картинку виртуальными объектами. Объектами дополненной реальности могут быть изображения, видео, текст, объемные модели и другие.

Смешанная реальность (MR) – технология, которая объединяет дополненную и виртуальную реальности. Данная технология позволяет не только дополнить реальный мир виртуальными объектами, но и обеспечить взаимодействие с ними, тем самым расширяя возможности дополненной реальности [2].

1.1 Применение VR/AR технологий

Сегодня VR/AR технологии активно используются в сферах развлечения и маркетинга. Но наиболее перспективными с точки зрения экономического эффекта являются продукты в сфере промышленного производства, образования, здравоохранения, потребительских сервисов.

Российский VR/AR рынок активно развивался весь 2019 год. По данным ассоциации AVRA, в России на конец 2019 года зарегистрировано более 400 VR/AR-компаний [3]. Большинство из них нацелены на развлекательную сферу, остальные – B2B-проекты для маркетинга, медицины, промышленности, культуры, ритейла, детского и корпоративного образования.

Особое внимание заслуживает VR/AR обучение. В России были утверждены проекты для внедрения VR/AR технологий в школьную программу.

1.1.1 Корпоративный сегмент

В ходе исследования по внедрению цифровых технологий в крупнейших российских компаниях аналитическое агентство KPMG выявило 8 ключевых технологий цифровой трансформации (Рисунок 1), среди которых выделяют и AR/VR. Согласно этим данным на конец 2019 года, 21% из этих компаний используют VR/AR технологии [5]. Большинство их проектов с этими технологиями являются первыми или пилотными для компаний. Но часть проектов, доказавшие свою эффективность в рамках апробации, перешли из разряда пилотных в крупные с постоянной поддержкой и финансированием.

В ходе исследования также было обнаружено, что во многих компаниях появляются собственные отделы, специализирующиеся на внедрении инновационных решений. В ряде компаний были сформированы отделы, занимающиеся VR/AR проектам, среди которых «Газпром Нефть», «Сбербанк», «Сибур» и другие.

Технология	В целом	Ритейл	Телеком	Фин. институты	Металлургия	ИТ	Нефть и газ	Транспорт
Big Data	68%	55%	100%	84%	67%	100%	50%	14%
Чат-боты	51%	50%	75%	60%	33%	40%	50%	29%
Роботизация	50%	40%	100%	56%	83%	20%	50%	14%
OCR	36%	20%	25%	56%	67%	1%	50%	14%
AI	28%	5%	75%	40%	17%	80%	25%	1%
IoT	24%	15%	100%	12%	50%	20%	25%	29%
VR/AR	21%	20%	25%	16%	33%	40%	25%	14%
Блокчейн	19%	20%	25%	32%	1%	20%	1%	1%

● Более 60% респондентов по индустрии используют цифровое решение
● От 20% до 60% респондентов по индустрии используют цифровое решение
● Менее 20% респондентов по индустрии используют цифровое решение

Рисунок 1. Технологии, используемые среди российских компаний [5]

Большую ставку компании делают на корпоративное обучение. Обучение с VR/AR оказывается финансово выгоднее и результативнее традиционных методов обучения.

«Нанять учителей для огромного количества человек в разных регионах, да еще и с учётом текучки кадров, очень дорого. Если бы компания оплачивала тренеров, это неизменно бы сказалось на стоимости конечного продукта. VR же позволяет компании оценить поведенческие особенности каждого сотрудника, которые было бы невозможно оценить традиционными методами – тестированием, опросником, собеседованием. Кроме того, VR/AR-решения прекрасно масштабируются», – говорит Инна Митина, руководитель G-Energy Academy [3].

Компании научились совмещать AR/VR технологии с другими технологичными форматами и даже выработали KPI к новым проектам. При этом технологии отлично работают в комплексе с другими инструментами.

Итальянская компания Drillmec - мировой лидер по разработке, производству и распространению буровых и ремонтных установок внедрила дополненную реальность в повседневную работу сотрудников, выполняющих задачи по техническому обслуживанию, контролю и ремонту оборудования в удалённых от предприятия районах.

Но ещё в начале 2014 года авиастроительная американская корпорация Boeing с помощью AR решила проблему установки компонентов бортовых систем самолетов, связанных между собой сложной системой проводов. Технология позволила ускорить процесс сборки жгутов на 25% и уменьшить вероятность возникновения ошибки при сборке почти до нуля. Сегодня AR-система продолжает подсказывать сотрудникам производства последовательность установки и соединения электроники в самолетах. Используя приложение, оператор производства или электрик отдает одну из голосовых команд, и в очках дополненной реальности воспроизводятся визуальные подсказки по сборке [6].

Авиастроительная американская компания Lockheed Martin и NASA используют AR для конструирования и строительства космических летательных аппаратов. Специалисты обеих компаний используют AR-гарнитуры для проектирования космических кораблей.

Российской компании «Технологии Энергосбережения Сибири» внедрение AR технологии позволило снизить «текучесть» персонала, сэкономить ресурсы, время и деньги. При помощи корпоративного приложения и смартфона сотрудники компании могут рассмотреть детали и схемы изделий, разобраться без особого труда в комплектующих. Внедрение упростило и разнообразило рутинные задачи многим сотрудникам без опыта, существенно сократив число увольнений [6].

Подводя итог, можно заметить, что внедрение VR/AR технологий в производстве обладает следующими достоинствами:

- Позволяет снизить или избежать ошибки во время проектирования и сборки.
- Ускоряет сборку продукции.
- Упрощает ремонт и содержание производства.
- Выводит обслуживание на новый уровень.

- Экономит на логистике.
- Обучает персонал быстрее и эффективнее людей.

1.1.2 Образовательный сегмент

Если в 2018 году в России VR/AR проекты были редкостью, то в 2019 году количество заказов на разработку подобных проектов для школ, ВУЗов, центров качества сильно выросло. В этом же году появился целый ряд федеральных программ по внедрению VR в школы. Например, в рамках федерального проекта «Современная школа» в сельских учебных заведениях начинают появляться шлемы виртуальной реальности. Закупки оборудования ведутся через инициативу «Точка роста». Сегодня VR-шлемами уже оснащено 2 тыс. школ, а к 2024 их количество вырастет до 16 тыс. [7]

Интерес к технологиям вполне обоснован: учёные считают, что цифровизация образования позволит упростить подачу сложного материала, облегчить процесс запоминания и мотивировать детей учиться усерднее. Внедрять VR/AR-технологии особенно релевантно для понимания технических и естественных наук, где визуализация очень важна для понимания многих процессов.

Китай, с крупнейшим рынком образования в мире, привел к росту инвестиций в образование в последние пять лет. В настоящее время на долю Китая приходится более 50% всех инвестиций в VR/AR-образование, в США – 20%, в Индии – 10%, в Европе – 8%.

1.1.3 Исследования о применимости VR/AR технологий

Компании Mindshare Futures и Zappar в 2018 году провели исследование о применимости дополненной реальности в обучении. Были проведены опрос пользователей, экспертное интервью и эксперименты с отслеживанием мозговой активности во время использования технологий дополненной реальности, чтобы определить ее эффективность.

В ходе исследования было обнаружено, что во всей серии измерений когнитивной функции дополненная реальность давала почти в два раза большие уровни вовлечённости по сравнению с эквивалентами, не связанными с AR [8].

Компания Microsoft провела исследование, в рамках которого выяснили, что VR/AR технологии помогают ученикам с низким уровнем успеваемости преодолевать проблемы и сократить разницу в успеваемости в сравнении с отличниками. В рамках этого исследования учителя отметили, что внедрение VR/AR в классе способствовало созданию более благоприятной среды в классе, которая позволила максимизировать возможности обучения, прививая большее чувство автономии.

Было установлено, что VR/AR технологии способствуют не только улучшению запоминаемости и повышению интереса к учёбе, но развивают креативное мышление. В Смоленске ученые сравнили показатели изобретательности при работе с VR-технологиями и сделали вывод, что трёхмерное изображение в виртуальной реальности оказывает воздействие на характер мыслительного процесса. Эксперименты доказали, что VR развивает формы мыслительной активности. Это влияние в итоге позитивно сказывается на решении испытуемым задач и на повышении креативности.

Психологи из Университета Варвика провели сравнительное исследование изучения биологии в формате виртуальной реальности по видеоурокам и по стандартному учебнику. После освоения материала каждый участник прошел тест на знание темы [8].

Были получены следующие результаты:

- Использование VR способствовало повышению результатов тестирования на 28%, учебник – на 24%, а видео - на 16%.
- Уверенность по шкале от 1 до 5 после VR выросла на 1.42, после обучения по видео – на 0.71, а после изучения учебника – на 1.18.

- VR существенно повысил количество положительных эмоций, а видео – существенно снизило.
- Уровень вовлечения в VR-обучение был существенно выше, чем при изучении учебника.

Российская компания Modum Lab провели исследование в рамках подготовки девятиклассников к ОГЭ по физике. Проект по физике состоит из теории, практики и проверочных заданий в виде небольших модулей. В рамках эксперимента девятиклассников разделили на основную и контрольную группы. Первая – занималась по классической программе, а вторая – готовилась в шлемах виртуальной реальности. При этом в группах равное распределение успеваемости до проведения эксперимента, также ученики одного учителя распределялись в разные группы для поддержания баланса. Результаты теста в среднем улучшились на 28,8%, или на 1,22 балла (при максимальном количестве баллов – 8). При этом различным оказалось влияние в преуспевающей группе, с более высоким средним баллом по физике до исследования, и отстающей. Среди преуспевающей половины основной группы результаты теста после VR-обучения улучшились на 28,2%. Среди отстающей половины основной группы результаты теста после VR-обучения улучшились на 46% [7].

Исследования доказали, что часть мозга, ответственная за кодирование памяти, показывает почти троекратное (2,9 раза) увеличение уровня активности при использовании дополненной реальности, по сравнению с традиционным обучением [7]. А это значит, что технология оказалась невероятно мощным и хорошо запоминающимся способом доставки сложной информации.

Технологии виртуальной и дополненной реальности уже сегодня способны вывести образование на новый уровень: сделать обучение одинаково сбалансированным в разных регионах, привить школьникам интерес к учёбе и упростить для понимания детей многие сложные процессы или явления. Дополненная и виртуальная реальности позволяют уменьшить неравенство между успеваемостью обучающихся.

Также стоит отметить исследования, проведенные с целью получения «Гибких навыков» (Soft Skills). В этих исследованиях VR используется, чтобы перенести пользователя на место другого человека для развития чувства эмпатии, сопереживания, сострадания, получения навыка распознавать эмоции. Обучение работе с клиентами в виртуальной реальности позволяет лучше понимать мотивы их поведения, причины выбора тех или иных товаров, повышает стрессоустойчивость сотрудников компании.

1.2 Платформы VR/AR

Уже сегодня компании-разработчики предлагают готовые проекты и решения для обучения по базовым темам химии, биологии, физике и другим дисциплинам, часть из которых даже распространяются бесплатно. Многие компании, в том числе и российские, предлагают услуги по созданию VR/AR приложений на заказ.

1.2.1 VR-тренажеры

В качестве примера готового проекта, который реализует обучающий процесс и контроль прохождения виртуальной симуляции, приведен VR-тренажер, разработанный российской компанией «Dreamport». Тренажер включает курс по правильной последовательности действий при газонефтеводопроявлении (ГНВП) в режиме мультиплеер. Все члены бригады могут совместно отработать правильную последовательность действий при ликвидации ГНВП в условиях максимально приближенных к реальным, но без человеческих жертв и потери сырья [9].

Преимущество многопользовательского решения – тесное взаимодействие обучающихся. Решая поставленную задачу, пользователи в реальном времени ведут переговоры, взаимодействуют с одними и теми же инструментами и предметами, например, передают их друг другу. Для реализации такого обучения нужен только интернет, а физическое месторасположение работников не имеет значения. Результаты обучения и прогресс каждого работника сохраняются в личном кабинете пользователя и преподавателя.

Таким образом, этот тренажер является отличным и показательным примером того, как можно организовать реальный обучающий процесс с применением VR/AR технологий и образовательного сервиса.

На рисунке 2 представлен пример работы описанного тренажера. На рисунке можно увидеть элемент мультимедиа: один сотрудник передает деталь другому.



Рисунок 2. Сцена VR-тренажера для нефтегазовой отрасли

1.2.2 Инструменты и онлайн редакторы для работы с дополненной реальностью

Многие разработчики SDK дополненной реальности, которые будут рассмотрены далее, предлагают готовые решения для размещения контента дополненной реальности.

Одним из таких приложений является Vuforia Studio, которое использует богатые возможности трехмерных моделей и аналитические данные Интернета вещей для создания сред дополненной реальности.

Vuforia Studio – это инструмент, позволяющий специалистам по разработке контента для промышленности [10]:

- Ускорить разработку контента – использовать существующие модели 3D CAD и анимированные последовательности.
- Повысить корпоративную масштабируемость – получить доступ и просмотр с помощью одного приложения.

На рисунке 3 представлен пример работы в Vuforia Studio.



Рисунок 3. Пример работы в Vuforia Studio

Другим примером подобных приложений является онлайн-студия от Wikitude (как и Vuforia, одна из известных компаний в области дополненной реальности) для наложения простых статических объектов дополненной реальности. Для этого нужно загрузить целевое изображение в студию, добавить объекты AR, сгенерировать JavaScript код и вставить в свой проект. Таким образом, весь рендеринг ложится на ArchitectView от Wikitude JS SDK [11]. Пример работы в редакторе представлен на рисунке 4

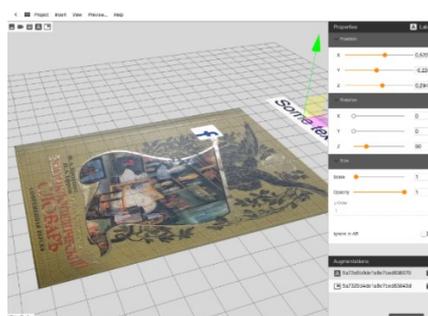


Рисунок 4. Пример работы в онлайн редакторе от Wikitude

Существуют и другие аналогичные инструменты, позволяющие создавать сцены дополненной и виртуальной реальности: Vlipar Studio, Re'Flect, Lens Studio, CoSpaces Edu и многие другие. Но все приведенные инструменты не позволяют создать полноценный обучающий сценарий.

Среди российских проектов следует отметить сравнительно новый онлайн редактор для дополненной реальности MyWebAR. Его разработчиком является Андрей Комиссаров - основатель компании DEVAR (книги с дополненной реальностью) [12]. Движок MyWebAR поддерживает распознавание изображений и SLAM.

1.2.3 Платформа «ClassVR»

Особую известность в Европе получил проект «ClassVR». Его создатели предлагают комплексное решение для проведения занятий в классах. В рамках проекта учителя могут самостоятельно с помощью адаптированного и понятного интерфейса формировать планы, разрабатывать программы и создавать визуальные элементы обучающего курса. Кроме того, учителям абсолютно не нужно обладать какими-либо навыками в программировании. Наглядные иллюстрации можно позаимствовать из базы разработанных сюжетов, в том числе загрузить дополнительный контент.

ClassVR – это полноценная экосистема, состоящая из гарнитур, онлайн-портала для учителей и кейсов, предназначенных для зарядки, хранения и транспортировки. Гарнитура ClassVR – полноценное автономное устройство со встроенной памятью 16 Гб и дисплеем, так что она работает без подключения к ПК или установки смартфона как экрана. Линзы с регулируемым фокусом, лицевая контактная панель и регулируемые крепежные ремни позволяют подстроить гарнитуру для комфортного использования, а Wi-Fi-подключение обеспечивает автоматические обновления, синхронизацию контента и дает возможность дистанционно управлять воспроизведением материалов урока [14].

Портал преподавателя ClassVR – это специализированный веб-ресурс с функциями разработки контента и управления гарнитурами. На портале можно найти множество готового контента для гарнитур, подобранные сообществом учителей или созданные компанией - изготовителем. Преподаватель также может самостоятельно отбирать контент из библиотеки портала и создавать свои списки воспроизведения. В любом случае, отдельный контент и списки воспроизведения можно с легкостью отсортировать по тематике, возрастной группе учащихся и типу файла (фото 360°, видео 360° или 3D модели объектов). Также присутствуют готовые раздаточные материалы, которые можно загрузить и распечатать. Любые материалы, опубликованные на портале, проходят модерацию.

Преподаватель может отслеживать каждые действия учеников в виртуальной среде с помощью веб-портала.

Стоимость комплекта из 8 гарнитур ClassVR и доступом к portalу преподавателя на 1 год составляет более 300 тыс. рублей. На рисунке 5 представлены два комплекта ClassVR на 8 и 4 гарнитур, а на рисунке 6 – портал преподавателя. Можно заметить, что веб-приложение поддерживает русскую локализацию.



Рисунок 5. Комплект ClassVR на 8 и 4 гарнитур [15]

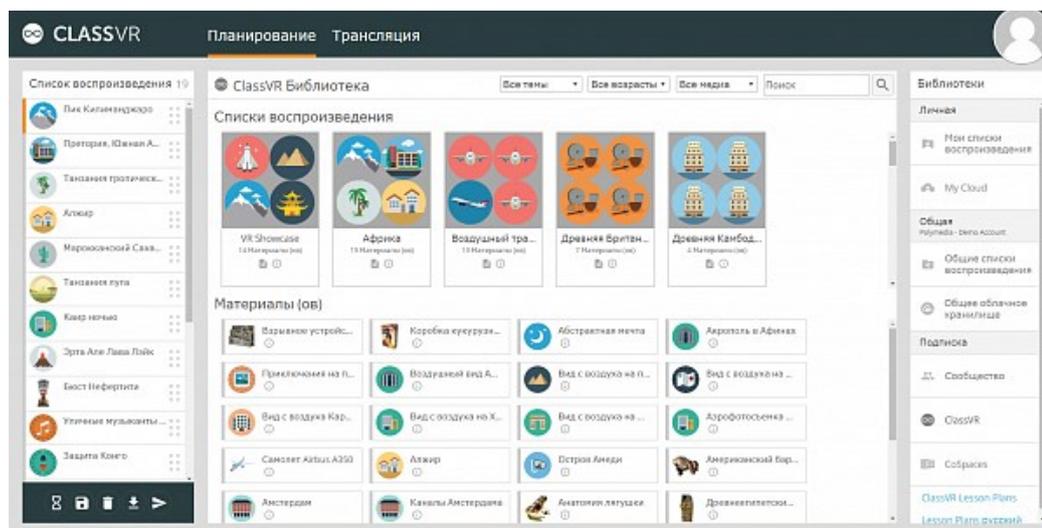


Рисунок 6. Портал преподавателя [15]

1.2.4 Платформа «Физикон»

С 2018 года Физикон является членом отраслевого союза «Нейронет», который занимается поддержкой и продвижением отечественных высокотехнологичных компаний. В 2018 году издательство цифрового контента «Физикон» выиграло грант Фонда содействия инновациям и получило средства на разработку образовательной среды для проведения в школах и ВУЗах занятий с использованием VR/AR технологий [16].

В начале 2020 года разработка завершилась, и проект готов к использованию. Проект является платформой, которая позволит преподавателям применять на практике VR/AR технологии и обеспечивает их образовательным контентом нового поколения.

В распоряжении учителя есть сервис, позволяющий создавать сцены виртуальной реальности самостоятельно или используя библиотеку готовых VR/AR-объектов. Его можно интегрировать в классно-урочную систему.

Платформа включает несколько модулей: конструктор сценариев, плеера, библиотека объектов и сценариев по школьным предметам, сервис назначения учебных активностей и сбора результатов учебной деятельности.

В качестве технологической базы для размещения модулей используется онлайн-сервис «Облако знаний». Для запуска платформы и работы с оборудованием VR/AR пользователю необходимо установить приложения на персональный компьютер.

На рисунке 7 приведена демонстрация работы с этой платформой. Слева на рисунке представлен конструктор для создания сценариев, а справа – его запуск.

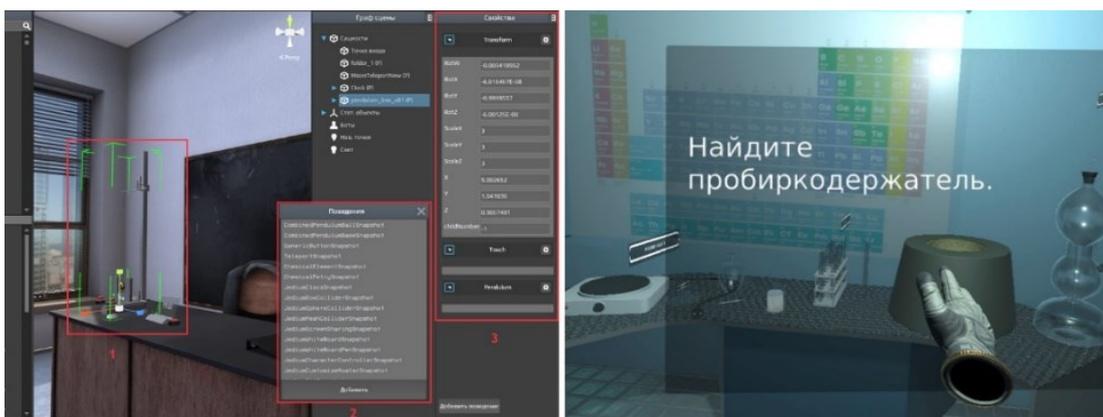


Рисунок 7. Демонстрация работы платформы «Физикон»

1.2.5 Сравнение с разрабатываемой информационной системой

Из рассмотренных выше платформ, платформы «ClassVR» и «Физикон» способны реализовать один из основных функционалов разрабатываемой системы – создание сценариев обучения. Но основное направление данных платформ прежде всего виртуальная реальность, поэтому накладываются расходы на приобретение дополнительного оборудования (очки виртуальной реальности и прочая техническая аппаратура).

Приложения «Vuforia Studio» и «Wikitude Studio», наоборот, предназначены для дополненной реальности, но не позволяют организовать сценарии обучения. Оба приложения в качестве целей распознавания используют изображения. А функционал «Vuforia Studio» также предлагает отслеживание реальных объектов из их базы.

Несмотря на то, что многие SDK дополненной реальности предлагают SLAM методы для построения карт и отслеживания устройства в пространстве, все еще нет решения, которое бы позволило сохранять карту и работать с ней аналогично добавлению контента дополненной реальности для изображений. Поэтому отличительной особенностью разрабатываемой системы является реализация функционала, который позволяет построить и удаленно дополнить пространственную карту виртуальными объектами.

Такой подход предоставляет большее пространство для размещения контента дополненной реальности, повышает реалистичность и интерактивность с пользователем.

Пространственные карты также можно использовать для навигации в помещениях и на улице.

2. Обзор SDK дополненной реальности

Уже сегодня разработчику предоставляется большой выбор SDK дополненной реальности, который во многом определяет возможности AR-приложения, поэтому нужно уметь выбрать правильную платформу в зависимости от требований к проекту.

В данном разделе описаны технологии отслеживания и распознавания AR объектов и приведен сравнительный анализ AR SDK.

2.1 Технологии распознавания целей дополненной реальности

Базовый упрощенный алгоритм работы дополненной реальности можно описать следующим образом:

1. Камера устройства считывает изображение реального объекта.
2. Программное обеспечение анализирует и обрабатывает полученные с камеры данные.
3. Осуществляется поиск в базе данных виртуального объекта, который соответствует обработанным с камеры данным. Если виртуальный объект найден, то он подготавливается для вывода на устройство визуализации.
4. Реальное изображение дополняется виртуальным объектом, и результат (итоговое изображение) выводится на устройство.

Описанный выше алгоритм представлен на рисунке 8, где оптическим сканером может выступать камера смартфона или планшета, веб-камера, датчики движения, очки дополненной реальности и другие устройства, способные сделать изображение реального мира.

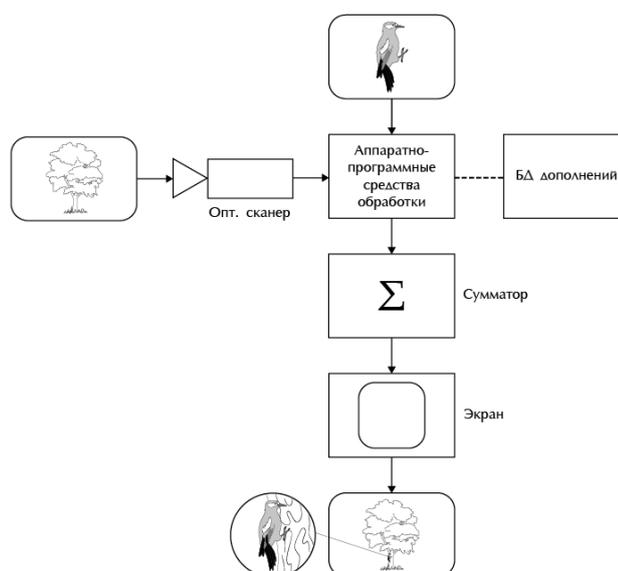


Рисунок 8. Базовый алгоритм работы AR [17]

2.1.1 Отслеживание изображений

Отслеживание изображений – технология, которая в качестве целей использует изображения. Для наилучшего распознавания изображение должно быть насыщено контрастными переходами между его элементами. Примером подобных целей являются фотографии, плакаты, иллюстрации, QR-подобные изображения. Как только изображение будет распознано, реальность будет дополнена виртуальными объектами.

Все популярные AR SDK предоставляют реализацию данного подхода. Он является наименее требовательным к аппаратным характеристикам устройства, поэтому без проблем доступен современным смартфонами. Требования к аппаратным составляющим возрастает со сложностью контента дополненной реальности. На рисунке 9 представлен вывод виртуальных объектов при распознавании изображения и QR-кода.

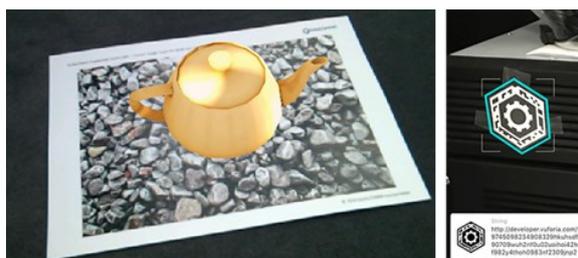


Рисунок 9. Пример отслеживания изображений

2.1.2 Отслеживание объектов

Отслеживание объектов – технология, которая в качестве целей использует реальные объекты. Данный подход требует смоделированный объект реального прототипа с помощью программного обеспечения для создания трехмерной компьютерной графики, САД или 3D-сканирования.

Основное требование к 3D модели – сохранение пропорций и деталей реального объекта. Некоторые AR SDK для повышения распознаваемости требуют модель с текстурой, а также фотографии (ракурсы), относительно которых будет осуществляться поиск отслеживаемого объекта.

Таким образом, данный подход прежде всего требователен к дизайнерам. Пример распознавания модели автомобиля и дополнение его виртуальным интерфейсом представлен на рисунке 10.



Рисунок 10. Пример отслеживания реального объекта

2.1.3 Отслеживание поверхностей

Отслеживание поверхностей – технология, которая осуществляет поиск плоских поверхностей для вывода на них виртуальных объектов. Большинство AR SDK имеют собственный алгоритм для реализации данного подхода с использованием SLAM и без него.

Построение пространственной карты (SLAM) требовательно к ресурсам мобильных устройств, поэтому раньше AR SDK представляли упрощенный алгоритм для поиска горизонтальной поверхности, который может быть описан следующим образом.

С помощью датчиков акселерометра и гироскопа определяется уровень наклона устройства. Если устройство наклонено, то в реальном времени сканируется поверхность и запоминается ее опознавательные элементы, которые будут использоваться для обнаружения и распознавания (аналогично отслеживанию изображений). Алгоритм не очень надежный, и с развитием мобильных устройств данный алгоритм стал менее актуальным, и многие AR SDK перешли на полноценный SLAM. На рисунке 11 представлен вывод модели астронавта при обнаружении горизонтальной поверхности.



Рисунок 11. Пример отслеживания горизонтальной поверхности

2.1.4 VSLAM

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) – метод, используемый для построения карты в неизвестном пространстве или для обновления карты в заранее известном пространстве с одновременным контролем текущего местоположения и пройденного пути. Автономные транспортные средства используют данный метод для перемещения, например, автомобили Tesla или марсоходы [18].

SLAM -Эта концепция, которая связывает два независимых процесса в непрерывный цикл последовательных вычислений, при котором результаты одного процесса участвуют в вычислениях другого процесса.

Главными аспектами в построении карты являются представление данных об окружающей среде и интерпретация данных датчиков.

Visual SLAM – реализация метода SLAM на основе компьютерного зрения. Метод основывается на отслеживании ключевых точек на изображении, которое поступает с камеры. Но стоит учитывать, что при высокой скорости передвижения камеры, может возникнуть размытие изображения, возможность для отслеживания ключевых точек теряется, а алгоритм перестаёт работать.

Таким образом, данный метод позволяет AR-приложениям распознавать реальные объекты и сцены, а также сканировать и запоминать окружающее пространство и накладывать виртуальные объекты. Пользователь может свободно перемещаться и изучать объекты дополненной реальности. Пример построения пространственной карты с помощью AR SDK EasyAR, который будет рассмотрен далее, представлен на рисунке 12.

Также стоит отметить компьютерное зрение и нейросети, которые активно используются для распознавания различных рукописных и печатных символов, отслеживания лица и тела человека и других реальных объектов. Существуют AR SDK и инструменты, основным назначением которых является распознавание лица, его отдельных частей, эмоций, отслеживание перемещения тела и рук, и дополнение распознанных элементов виртуальными объектами. К таким AR SDK относятся Spark AR, Lens Studio, Vanuba AR, DeepAR, Xzing и другие. Но в данной работе они не будут рассмотрены детально, так как нет требований в разрабатываемой системе.



Рисунок 12. Пример пространственной карты, полученной с помощью EasyAR SDK

2.2 SDK дополненной реальности

В данном разделе приведен обзор современных SDK дополненной реальности, описаны их преимущества и недостатки. Большая часть из описанных SDK были рассмотрены на практике.

2.2.1 ARCore

ARCore – SDK дополненной реальности от Google, который имеет ряд ключевых особенностей: отслеживание движения, пространственное понимание и оценку освещенности.

Для отслеживания перемещения пользователя используется реализация SLAM метода. Во время перемещения ARCore обнаруживает визуально различимые объекты (характерные точки) и строит пространственную карту, которая в дальнейшем позволяет определить положение и ориентацию устройства. Пользователь может указать местоположение виртуального объекта, который будет добавлен и зафиксирован. При добавлении виртуального объекта формируется «якорь», который запоминает и привязывает виртуальный объект к характерным ему точкам в реальном пространстве.

Сервис ARCore Cloud Anchor позволяет сохранить сформированный якорь и вернуть уникальный идентификатор другим пользователям, которые при обнаружении якоря смогут увидеть добавленный виртуальный объект. Но на данный момент, информация о якоря и виртуальном объекте хранится 24 часа. По истечению этого времени, он будет удален. В будущем Google планирует сделать этот функционал более масштабным и доступным, они привлекают разработчиков и тестировщиков [19].

ARCore позволяет определять размер и местоположение всех типов поверхностей: горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей, таких как земля, журнальный столик или стены. При добавлении виртуального объекта на наклонную плоскость, он тоже будет наклонен.

ARCore позволяет оценить текущие условия освещенности и применить эти данные для вывода виртуального объекта. Можно реализовать логику виртуального объекта при изменении освещенности. Например, виртуальный объект, расположенный в светлой комнате, будет иметь более насыщенные оттенки и отбрасывать тень.

ARCore также позволяет распознавать изображения, которые заранее добавлены в базу данных на устройстве или сделаны в реальном времени. Распознавать изображения можно во время построения карты. Распознавание изображений не было доступно в ранних версиях ARCore, и этот функционал немного уступает AR SDK, которые будут рассмотрены далее.

Так как Google давно занимается распознаванием лиц, частей тела, то этот функционал добавлен и в ARCore.

ARCore является прекрасным SDK дополненной реальности, а построение пространственной карты работает стабильно и впечатляюще. Многие разработчики AR SDK отказались от собственных SLAM алгоритмов и интегрировали ARCore. Но это решение имеет недостаток. Несмотря на то, что мощность современных смартфонов позволяет выполнять описанный выше функционал, ARCore требует сертификацию устройств от Google. Но есть компании, которые выпускают Android смартфоны без Google сервисов, и, соответственно без ARCore. Например, новая линейка крупного производителя смартфонов Huawei (Mate 30 Pro, P40 Lite, P40 Pro и другие) поставляются без Google сервисов, и использование ARCore затруднительно.

На рисунке 13 приведен пример работы приложения с ARCore от Google. Приложение полезно для разработчиков, оно демонстрирует хорошие практики добавления виртуальных объектов и интерфейса в реальный мир.



Рисунок 13. Демонстрация работы приложения от Google с ARCore

У ARCore есть отличная документация, примеры приложений с открытым кодом и возможность протестировать приложение на эмуляторе, что позволяет изучать данную платформу, даже если нет в наличии поддерживаемого устройства.

ARCore бесплатный и распространяется на Android, iOS. Разработку приложения также можно вести с помощью Unity и Unreal Engine.

2.2.2 ARKit

ARKit - SDK дополненной реальности от Apple. Во многом ARKit имеет схожий функционал с ARCore: распознавание изображений, создание пространственной карты, отслеживание лица и тела. Но ARCore является кроссплатформенным, а ARKit распространяется только на iOS [21].

2.2.3 ARFoundation

AR Foundation – решение для Unity, созданное специально для разработки AR. Фреймворк позволяет создать приложение, а затем выпустить его на всех целевых мобильных AR-устройствах и гарнитурах [22].

AR Foundation включает базовые функции ARKit, ARCore, Magic Leap и HoloLens, а также уникальные функции Unity, позволяя создавать надежные приложения, готовые к использованию сотрудниками компании или к выпуску в магазинах приложений.

Таким образом, весь функционал ARCore и ARKit доступен в Unity. Также есть отдельные решения для распознавания изображений, которые можно импортировать и использовать вместо оригинальной реализации.

2.2.4 8th Wall

8th Wall - SDK дополненной реальности для веб-приложений. Данный SDK реализован с помощью JavaScript и WebGL, и отлично работает на всех мобильных браузерах. Такое решение позволяет избежать проблемы с кроссплатформенностью и сделать дополненную реальность доступной многим.

8th Wall позволяет строить пространственные карты, распознавать изображения. А в начале 2020 года была добавлена возможность по отслеживанию лиц. Весь результат виден в браузере.

8th Wall имеет облачный редактор и встроенный хостинг. А концепция включения дополненной реальности в уже готовое веб-приложение оказалось по нраву заказчикам, поэтому этот SDK становится популярным и актуальным. Но 8th Wall требует опыта работы с WebGL и рекомендует знать такие 3D JS-фреймворки как A-Frame, Babylon.js, three.js. Пока нет возможности встроить 8th Wall в Unity, но у Unity есть возможность собрать проект для WebGL и также запускать дополненную реальность в браузерах (мобильные версии браузеров могут иметь ограничения).

На рисунке 14 приведены примеры веб-приложений с 8th Wall. Например, на рисунке слева на распознанную страницу журнала добавляется виртуальный автомобиль, у которого можно изменять цвет.

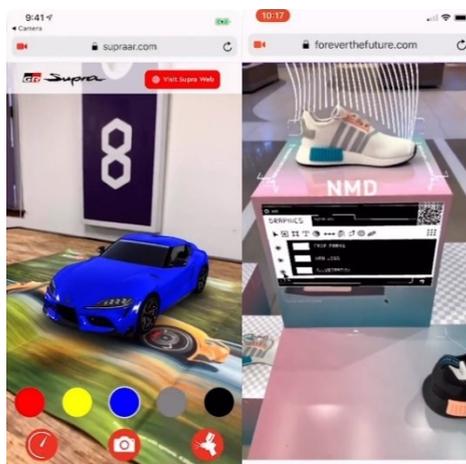


Рисунок 14. Демонстрация работы 8th Wall [23]

2.2.5 Wikitude

Wikitude SDK имеет в арсенале следующие функции: распознавание и отслеживание изображений и объектов, SLAM и GEO Data для географической привязки.

Wikitude имеет облачный сервис для хранения и распознавания изображений. Данный сервис отлично подходит для приложений, использующих много целей, которые необходимо часто обновлять.

Wikitude имеет API для работы с камерой: можно переключаться между передней и задней камерой, изменять разрешение камеры.

Wikitude имеет удобную документацию, которая написана отдельно для каждой платформы. Разработка под конкретную платформу, не используя готовые движки, удобна. Например, написание простого Android приложения для отслеживания изображений и наложения простых объектов дополненной реальности, не доставляет проблем.

Из недостатков стоит отметить очень высокую стоимость продукта: 2490/2990/4490€ за лицензию.

Wikitude имеет собственную реализацию SLAM и ARCore, при этом разработчик сам может выбрать которую из них использовать.

Wikitude распространяется на Android, iOS и Windows и имеет плагин для Unity.

2.2.6 Vuforia

Vuforia как и Wikitude является мощным SDK и охватывает весь функционал, перечисленный выше. Он способен распознавать изображения и объекты, создавать пространственные карты.

Ранее у Vuforia была собственная реализация SLAM, но в отличие от Wikitude они полностью отказались от своего решения и используют ARCore без возможности выбора для разработчика.

Vuforia разделяет распознавание обычных и QR-подобных изображений. Последние называются VuMark и имеют отдельную облачную БД. Vuforia выдвигает ряд требований к дизайну подобных маркеров (Рисунок 15). Нужно загрузить скрипт для Adobe Illustrator: шаблон для создания метки со всеми необходимыми слоями, валидация метки, и формирование векторного изображения, которое будет загружено в облако. Удобность такого подхода заключается в том, что после загрузки исходного изображения Vuforia может самостоятельно генерировать маркеры и предоставлять их идентификаторы. Но если использовать эти маркеры при обычном распознавании изображений, Vuforia не сможет их различить и неправильно идентифицирует. Поэтому распознавание QR-подобных изображений требует отдельной реализации.

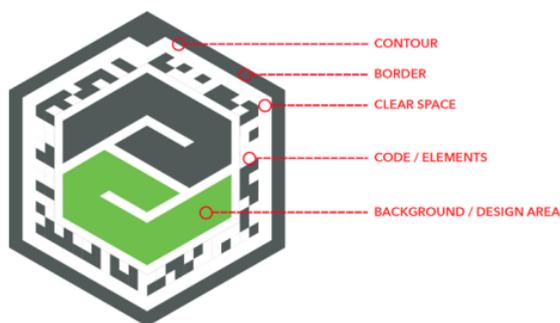


Рисунок 15. Пример VuMark [24]

У Vuforia есть уникальный инструмент. Приложение Vuforia Chalk позволяет создавать и смотреть графические подсказки для совершения относительно простых действий, таких как управление электроникой. Нарисованные от руки подсказки закрепляются на предметах и поверхностях и доступны любому другому пользователю. Этот инструмент позволяет удаленно консультировать сотрудников, указывая ему о необходимых действиях с помощью дополненной реальности. Пример работы этого приложения представлен на рисунке 16

Vuforia распространяется на Android, iOS, Windows. Раннее между Unity и Vuforia было сотрудничество, и Vuforia сразу была встроена в Unity. С появлением ARFoundation в 2019 году Vuforia поставляется отдельным плагином.

Стоимость базовой лицензии составляет 99\$ в месяц.



Рисунок 16. Пример работы приложения Vuforia Chalk AR [24]

2.2.7 EasyAR

Последний из изученных AR SDK является EasyAR, разработанный в Китае. Он не уступает по функционалу Vuforia и Wikitude. Разработчик может выбрать между собственной реализацией SLAM и ARCore.

EasyAR распространяется на Android, iOS, Windows и имеет плагин для Unity. Поддержка облачного распознавания составляет 99\$ в месяц.

EasyAR как и Wikitude удобен для написания Android приложений без использования Unity. В то время как у Vuforia данный процесс может вызвать затруднения.

EasyAR быстро развивается и набирает популярность. Главной отличительной особенностью данного SDK является то, что помимо облачного распознавания изображений имеется возможность распознавать пространственные карты. Пользователь может сохранять сгенерированные карты в облаке. EasyAR предлагает API для взаимодействия с ними. Такой функционал стал доступен в конце 2019 года, и он продолжает развиваться. Этот функционал можно сравнить с сервисом ARCore Cloud Anchor, описанным выше.

Сохраненную карту можно использовать для распознавания объектов и навигации. А также удаленно расставлять объекты дополненной реальности.

Несмотря на то, что можно построить карту всего помещения, для успешного сохранения карты в облако выдвигается ряд требований:

- Стоит выбрать исходную позицию и последовательно сканировать область спереди. Не нужно делать полный оборот вокруг себя, как при работе с 360 панорамами.
- Не строить карту в местах с отражающими материалами (например, зеркала и стекла).
- Расстояние между целевой средой и устройством должно быть не более 10 метров.

При построении также стоит учитывать уровень освещенности. Например карта, построенная в светлое время суток при естественном освещении, может отличаться от карты, построенной в темное время суток при искусственном освещении.

EasyAR различает «Редкую» (Sparse Spatial Map) и «Плотную» (Dense Spatial Map) пространственные карты. Первая используется для поиска характерных точек в пространстве, именно она сохраняется в облако. Вторая позволяет полностью построить и покрыть сеткой исследуемую область. Эта сетка в свою очередь позволяет добавлять эффект столкновения и видимости виртуальных объектов [25]. Например, если виртуальный объект расположить за реальным объектом, то будет видна только часть виртуального объекта. Таким образом, виртуальный объект становится максимально реалистичным.

EasyAR имеет функционал для записи экрана, позволяя выбрать качество и формат записи. Построение карты можно совместить с записью экрана, такой прием может оказаться полезным при удаленной работе с картой.

2.2.8 Выбор AR SDK

Каждый из изученных AR SDK способен распознать и отслеживать изображения. Так как система постоянно развивается, а количество изображений постоянно растет, то необходимо использовать облачное решение. К сожалению, ARCore не имеет подобный функционал.

8th Wall, используемый для добавления дополненной реальности в браузер, предлагает полностью облачное решение, т.е. все изображения по умолчанию хранятся в облаке. Также за счет того, что не имеется отдельного режима между распознаванием изображений и SLAM, качество изображения с камеры уменьшено, чтобы обеспечить стабильную производительность.

Wikitude, Vuforia и EasyAR мощные SDK, которые объединили лучшие решения. Wikitude и Vuforia уже долго на рынке, и успели набрать аудиторию. Также эти SDK имеют дополнительные инструменты, которые могут оказаться полезными для создания контента дополненной реальности. Easy AR сравнительно новый SDK, но не уступает по функционалу и удобности использования.

Wikitude является дороже и не предоставляет возможности оплаты по месяцам, как у Vuforia и EasyAR.

Все три SDK имеют облачное распознавание и расширенное слежение изображений. Под расширенным слежением понимается возможность сохранения вывода виртуальных объектов при потере изображения из кадра. Такой функционал отлично работает при статичных изображениях, у которых контент дополненной реальности масштабный и не помещается на экран.

Небольшой минус Vuforia в том, что она предлагает только ARCore для SLAM, тем самым ограничивая устройства без сервисов Google. EasyAR и Wikitude сохранили собственные решения SLAM и предлагают разработчику выбор.

Как отмечалось выше, Vuforia и Wikitude имеют дополнительные инструменты, которые позволяют создать решения для отслеживания реальных объектов. Но SLAM позволяет создать карту реального объекта и использовать ее для распознавания. А EasyAR имеет возможность сохранять карту в облаке, что является уникальностью и достоинством данного SDK.

Все три SDK имеют отдельные и совместные режимы для работы с изображениями и пространственными картами. При работе с изображениями используется FullHD разрешение.

По функционалу и удобству использования все три SDK примерно равны. Но Wikitude стоит дороже. А у Vuforia во время использования обнаружились небольшие проблемы с приобретением лицензии в России. Easy AR в свою очередь для новых клиентов при первой покупке лицензии предлагает бесплатное облако на два месяца.

Таким образом, при равных возможностях все трех SDK, решающим критерием выбора стала возможность сохранять пространственные карты в облаке, поэтому в качестве AR SDK был выбран EasyAR.

Сравнительный анализ всех рассмотрен SDK представлен в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение AR SDK

	8th Wall	ARCore	ARFoundation	Wikitude	Vuforia	EasyAR
Платформы разработки	Веб	Android, iOS, Windows, Unity, Unreal	Unity	Android, iOS, Windows, Unity	Android, iOS, Windows, Unity	Android, iOS, Windows, Unity
Распознавание лиц	+	+	+	-	-	-
Распознавание тела и рук	-	+	+	-	-	-
Раздельный режим для отслеживания изображений и SLAM	-	-	-	+	+	+
Облачное распознавание изображений	+	-	-	+	+	+
Облачное распознавание карт	-	- / +	-	-	-	+
Стоимость базовой лицензии	99 \$/мес.	-	-	2490 € (единоразовая плата)	99 \$/мес.	99 \$/мес.

3. Проектирование информационной системы

Информационная система реализует клиент-серверную архитектуру и включает следующий программный комплекс:

- Веб-приложение для управления контентом дополненной реальности и лабораторными работами.
- Клиент-приложение для ОС Android для подготовки к лабораторной работе с элементами дополненной реальности.
- Вспомогательный инструмент для сканирования необходимой области и загрузки сгенерированной пространственной карты на сервер.

Для информационной системы кроме администратора, который имеет полный контроль над системой, выделены две роли (для каждой требуется авторизация):

- Учитель – пользователь, способный добавлять лабораторные работы и управлять контентом дополненной реальности для нее.
- Студент – пользователь, который способен выбрать лабораторную работу и подготовиться к ней, используя контент дополненной реальности, размещенный преподавателем.

На рисунке 17 приведена диаграмма вариантов использования, где для каждой из ролей указан основной функционал. Роль учителя наследует возможности студента.

Управление контентом дополненной реальности включает создание, редактирование и удаление целевых изображений и пространственных карт, синхронизируя их с облачной базой EasyAR Cloud.

В качестве элементов дополненной реальности используются следующие объекты: изображения, видео, текстовая информация, ссылки на веб-ресурсы, объемные модели и специальный формат данных AssetBundle для Unity.

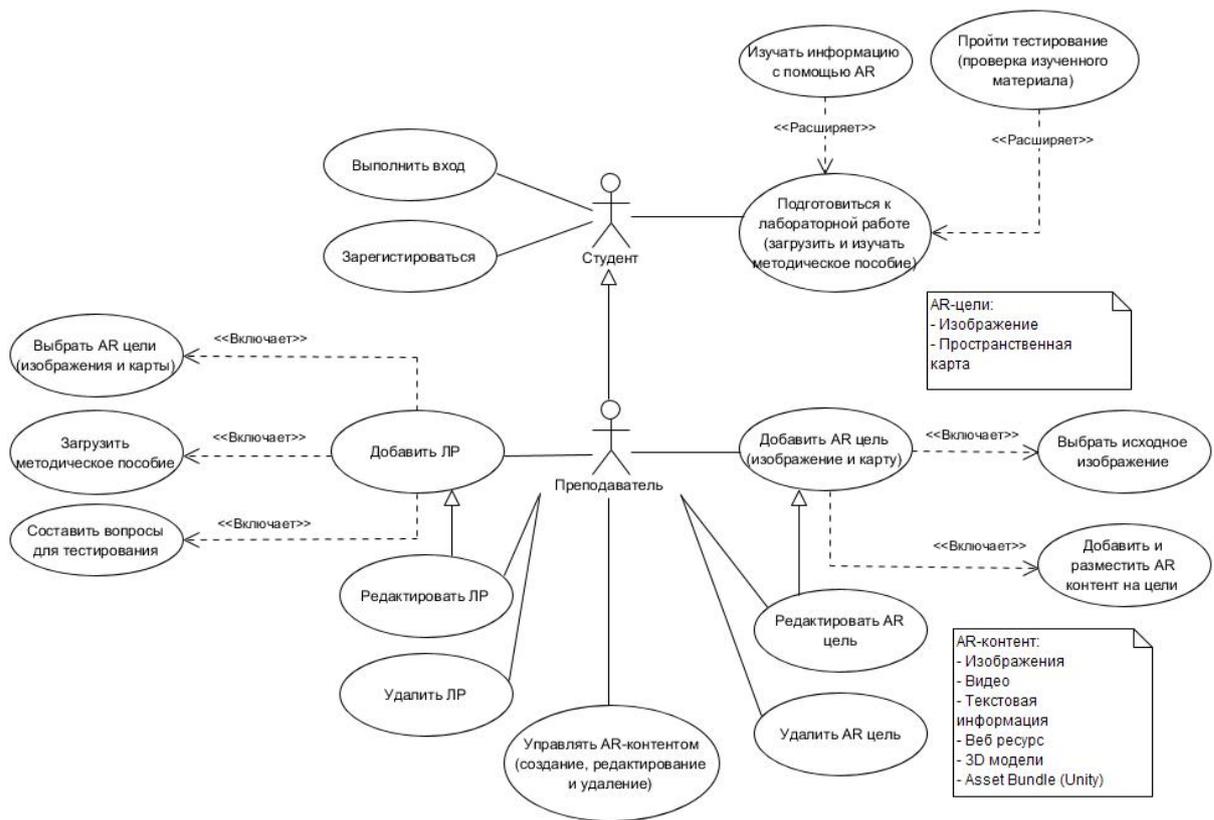


Рисунок 17. Описание пользователей информационной системы с помощью UML диаграммы

Кроме явной загрузки видео, предусмотрена возможность указать ссылку на YouTube.

Вывод ссылки на веб-ресурс имеет два режима: стандартный (переход по ссылке в браузер после нажатия на нее пользователем) и расширенный (ссылка открывается в браузере дополненной реальности, который размещается вместе с остальными виртуальными объектами).

Объемные модели поддерживают загрузку 3D моделей формата Wavefront (obj), FBX (только Binary, ASCII не поддерживается) и STL (Binary и ASCII). Если модель имеет материалы с текстурами, то она и ее текстуры должны быть упакованы в zip формат. Клиент-приложение загрузит, при необходимости распакует и преобразует модель в нужный формат. Обеспечить корректный импорт модели во время выполнения работы приложения на разных платформах трудная задача.

Выбраны наиболее популярные форматы моделей, имеющие хорошую документацию и дополнительные вспомогательные библиотеки для импорта в конкретную платформу. На данный момент реализация и поддержка анимации моделей не предусмотрена, но планируется добавление этой возможности вместе с расширением поддерживаемых форматов.

Вышеописанные проблемы призваны сгладить AssetBundle - специальный формат данных для Unity, который представляет собой упакованный Asset (модель, текстуры, скрипты, музыка, анимация и прочее). Используя AssetBundle, можно загрузить полноценные сценарии и даже игру на метку дополненной реальности. Но стоит учитывать, что скрипты должны быть заранее скомпилированы в оригинальном приложении. Сторонние скрипты не будут работать. AssetBundle уникален для каждой из платформ: Android, iOS, Windows, WebGL и т.д. Это означает, что для одной метки дополненной реальности нужно хранить AssetBundle для каждой из платформ.

Выбрав исходное изображение или карту, преподаватель может добавлять контент дополненной реальности и размещать его в трехмерном пространстве: изменять позицию, вращение и масштаб – относительно исходной цели.

3.1 Инструментарий

Для реализации серверной стороны информационной системы выбран фреймворк Spring Boot и СУБД MySQL. Одним из критерием выбора является опыт работы на Java и Kotlin. Spring является популярным фреймворком на Java, а Spring Boot представляет его более удобную вариацию, которая позволяет автоматизировать процедуру настройки и ускорить процесс создания и развертывания веб-приложений. Spring Boot использует MVC паттерн и имеет реализацию REST архитектуры.

В качестве JS фреймворка выбран Vue.js, который удобен для динамического построения страниц и выполнения асинхронных запросов.

Для обеспечения адаптивности веб приложения выбран фреймворк Bootstrap. Адаптивный дизайн позволяет веб-странице или приложению определять размер и автоматически адаптировать дисплей соответствующим образом.

Для реализации дополненной реальности с помощью EasyAR SDK выбран движок Unity. Наличие разного и специфичного AR контента, такого как 3D объекты разных форматов, затруднит разработку и отладку для Android на Native. Также для работы на Native требуется знать OpenGL ES и уметь писать шейдеры. Многие AR SDK, в том числе рассмотренные ранее, предоставляют плагин для Unity, так как тот имеет большие возможности, чтобы сделать разработку комфортной. Например, для распознавания изображения и отладки виртуального контента на нем можно использовать веб-камеру в редакторе, избегая необходимости компилировать проект для конкретной платформы.

Unity позволяет вести разработку для нескольких платформ сразу.

Также в Unity разрабатывается модуль для административной панели, которая позволяет управлять и размещать AR контент в трехмерном пространстве. Этот модуль нацелен на WebGL, чтобы интегрировать его в веб-приложение. Обмен данными между веб страницей и WebGL осуществляется с помощью JS.

Еще одной особенностью Unity является возможность собрать проект как библиотеку и внедрить в платформу. Например, модуль дополненной реальности, разработанный в Unity, можно интегрировать в Android проект в Android Studio. Такой подход позволяет контролировать особенности Android архитектуры (работа с сетью, смена и сохранения состояний, локализация и другие аспекты) и делать разметку с помощью Material Design, а библиотеку Unity вызывать при необходимости. При этом возможен обмен сообщениями между Android и библиотекой Unity.

3.2 Логическая структура базы данных

На рисунке 18 приведена логическая структура базы данных с основными сущностями.

Пользователями являются преподаватели и студенты. Преподаватель может создавать лабораторные работы, при этом он фиксируется как ее владелец. Студент может выполнять лабораторную, а поле «status» хранит прогресс выполнения ЛР (не активна, выполняется или завершена).

Сущность «question» хранит вопросы, варианты ответов и правильный из них для ЛР. Если поле вариантов ответов пусто, то пользователю потребуется самостоятельно ввести ответ. При наличии вариантов ответов пользователю предлагается выбрать один или несколько ответов. Таким образом, можно создать следующие вариации тестирования: ввод ответа пользователем, выбор одного или нескольких вариантов ответа.

Для лабораторной работы можно указать несколько целей дополненной реальности. Сущность «target_lab» обеспечивает связь М:М между AR-целями и ЛР.

Сущность «target» представляет собой AR-цель (метку). Сущность имеет собственный идентификатор в системе и идентификатор, присвоенный в облачной БД EasyAR. Сущность объединяет изображения и карты, а поле «type_target» хранит тип AR-цели.

Сущности «image», «video», «text», «web», «model», «asset_bundle» представляют AR контент (виртуальные объекты). Связь между AR-контентом и AR-целью М:М, так как один и тот же виртуальный объект может использоваться в разных целях. Промежуточные таблицы, обеспечивающие связь М:М имеют суррогатный ключ, так как один и тот же элемент может быть несколько раз задействован в одной AR-цели. Например, 3D модель стрелки, используемая для навигации, может быть выведена один

и более раз для одной цели, но каждая из них имеет разное положение и ориентацию.

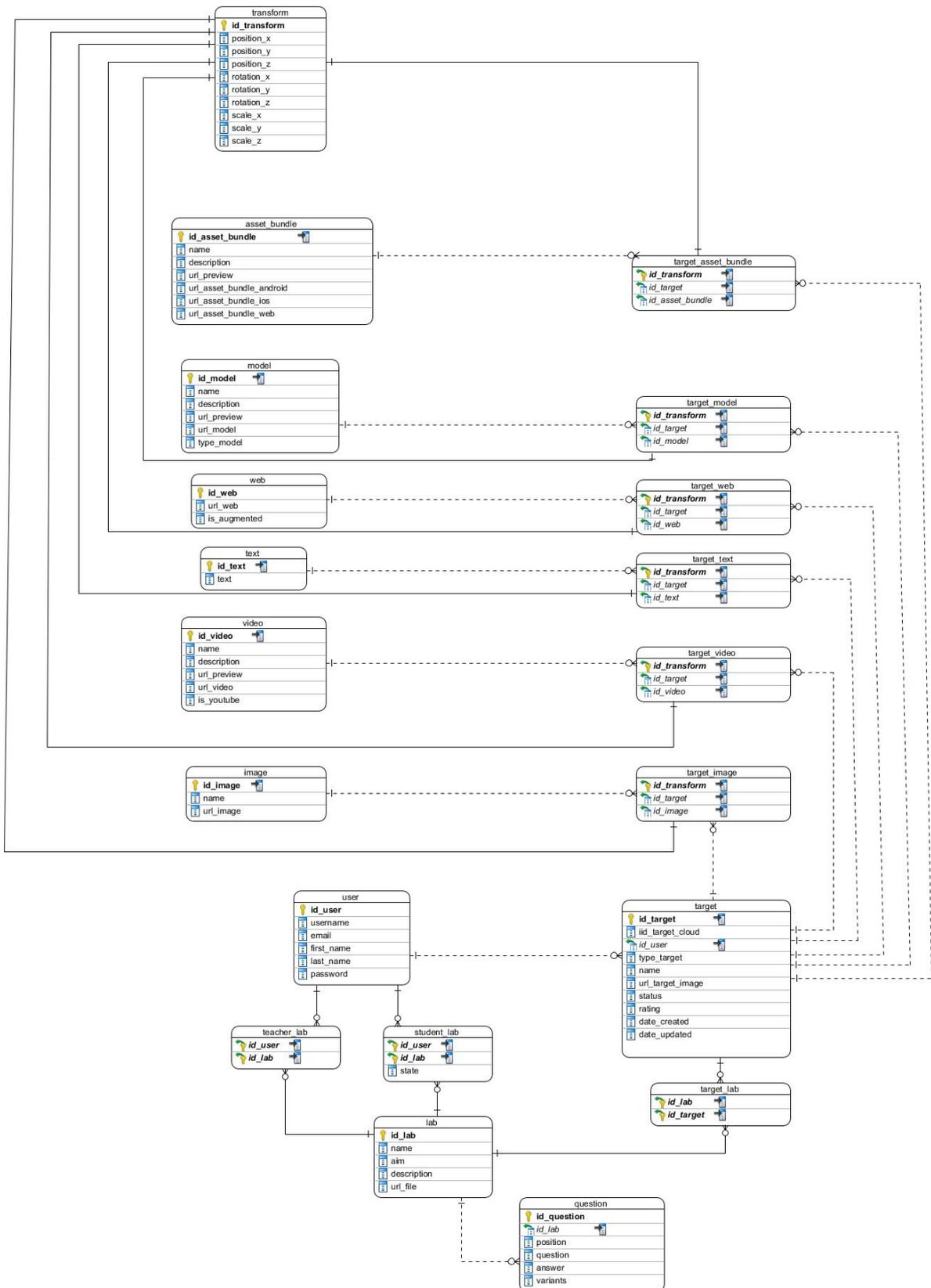


Рисунок 18. Логическая структура базы данных

Сущность «transform» хранит информацию о положении, вращении и масштабе виртуального объекта относительно цели.

Сущность «video» имеет логическое поле «is_youtube», чтобы идентифицировать, откуда загружать видео.

Сущность «web» имеет логическое поле «is_augmented», чтобы определить, как следует выводить веб-ресурс: как обычное текстовое поле с возможностью перехода в браузер при взаимодействии с ним или открытие страницы в браузере дополненной реальности.

Как отмечалось выше, AssetBundle уникален для каждой из платформ, поэтому в сущности «asset_bundle» хранятся ссылки на платформы Android, iOS и WebGL. Но обязательным является только загрузка AssetBundle для Android. Загрузка AssetBundle для WebGL позволяет наглядно расположить объект в сцене администрирования, если же ссылка на WebGL отсутствует, то будет выведен базовый объект (имитация), чтобы все равно можно было настроить его координаты, вращение и масштаб.

3.3 Описание процесса создания AR-изображения

На рисунке 19 представлен процесс добавления нового AR-изображения. Первым этапом является ввод названия цели и выбор исходного изображения. Если поля формы заполнены, то исходное изображение отправляется облачному серверу EasyAR, где происходит поиск схожих изображений. Если добавляемое изображение уже существует в базе данных, то вернется отрицательный результат. Пользователю (преподавателю) потребуется выбрать другое изображение, и процедура проверки повторится.

После успешного добавления исходного изображения, открывается форма выбора или создания виртуальных объектов. Каждый тип AR-контента расположен в отдельной вкладке, а форма создания каждого из них проверяет необходимые поля.

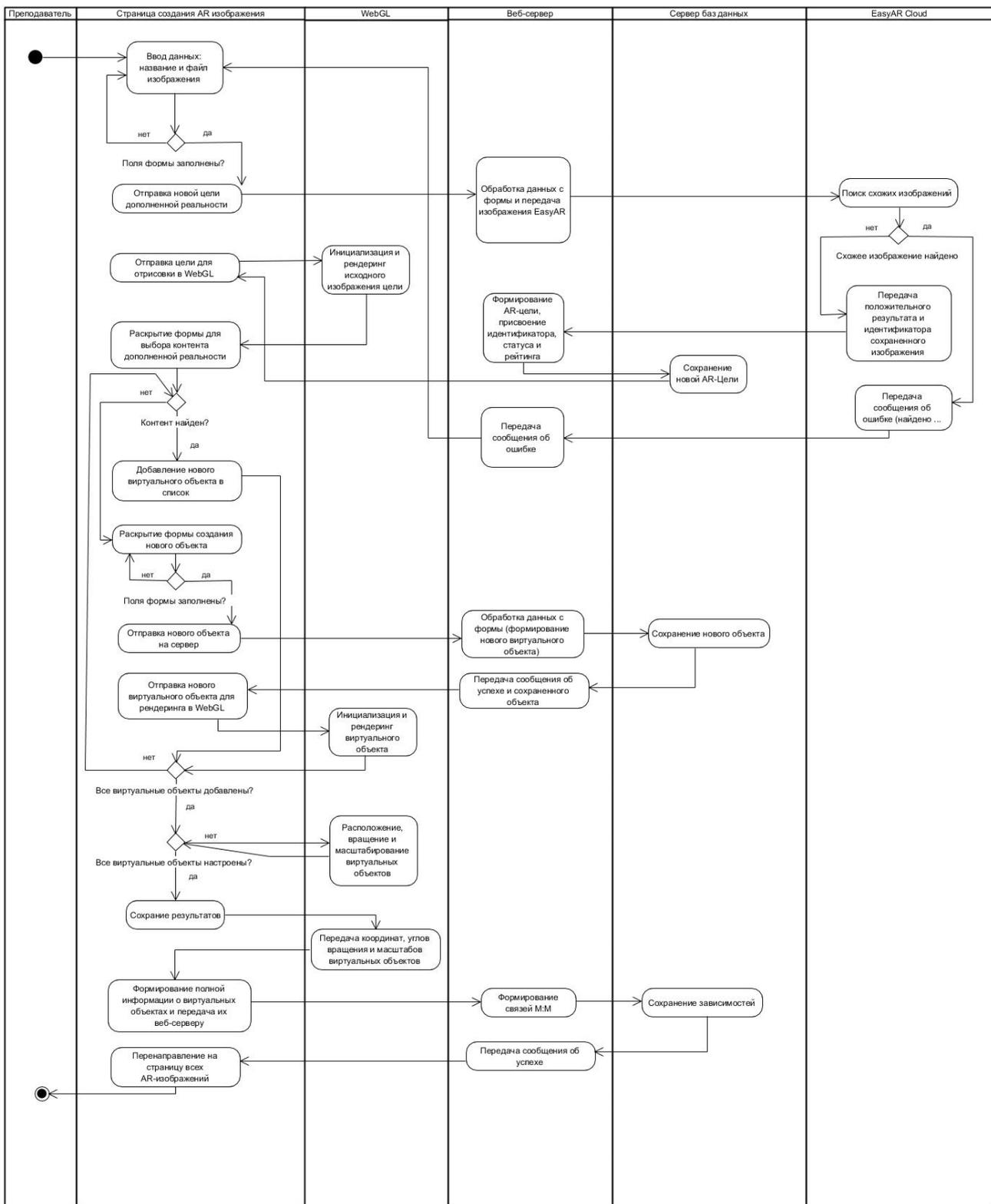


Рисунок 19. Описание процесса создания AR-изображения

При добавлении виртуального объекта в список, он отправляется WebGL, который инициализирует его и располагает в начале координат. Например, если передано видео, то WebGL загрузит и воспроизведет видео. Аналогично с моделями и AssetBundle.

Пользователь может изменять координаты, вращать и масштабировать объекты. Все изменения фиксируются.

Как только все объекты настроены, их можно сохранять. WebGL возвращает все трехмерные данные, формируется полная информация о виртуальных объектах, и они передаются серверу.

При редактировании AR-целей, все ее виртуальные объекты передаются в WebGL и восстанавливаются их координаты, углы вращения и масштаб.

3.4 Описание процесса отслеживания и дополнения AR изображения

На рисунке 20 представлен процесс отслеживания и дополнения AR изображения. SDK EasyAR начинает работать при запуске приложения. Камера устройства ищет характерные (опознавательные) точки в пространстве, а SDK осуществляет поиск на соответствие. Если изображение найдено, то передается его идентификатор, который используется для формирования запроса к серверу и получения полной информации об AR-изображении и зависимых от него виртуальных объектов.

Как только вся информация будет получена, поочередно будет добавляться каждый из объектов, восстанавливая его позицию, вращение и масштаб относительно родительского AR изображения.

Пока изображение находится в поле зрения, все его виртуальные объекты активны: модели анимированы, видео проигрывается. При потере изображения из кадра, его виртуальные объекты деактивируются и снова восстановятся при его возврате в кадр без повторной загрузки. AssetBundle сохраняется, и при последующих запросах он может быть изъят из кэша.

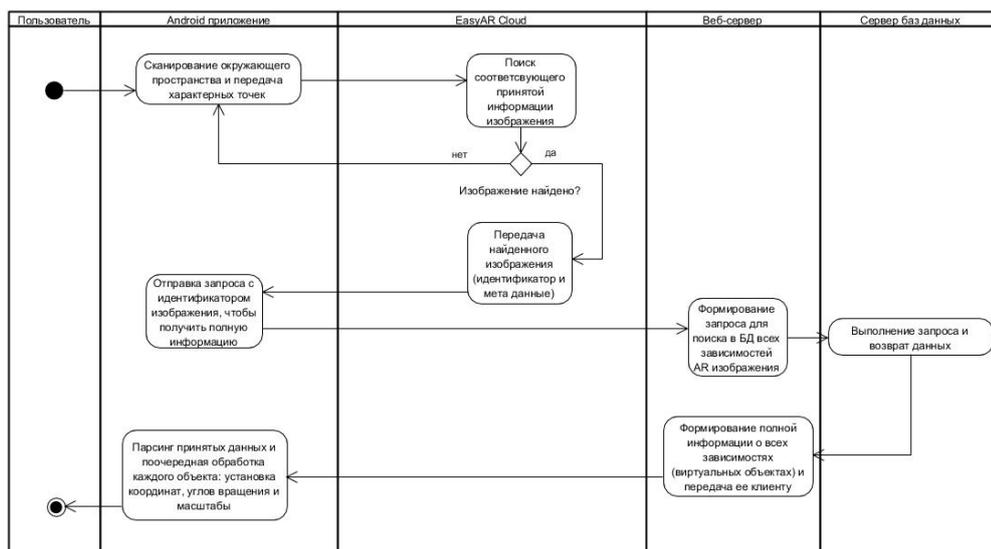


Рисунок 20. Описание процесса отслеживания и дополнения AR изображения

3.5 Описание процесса сохранения пространственной карты

Для создания карты используется отдельное Android приложение, в котором реализованы методы Sparse Spatial Map и Dense Spatial Map. Первая карта представляет собой совокупность опорных точек в пространстве, с помощью которых будет распознаваться карта. Именно она сохраняется в облачную БД EasyAR. Вторая карта является сеткой, которая накладывается на реальные объекты. Она сохраняется на сервере, и ее можно использовать, чтобы добавлять виртуальные объекты.

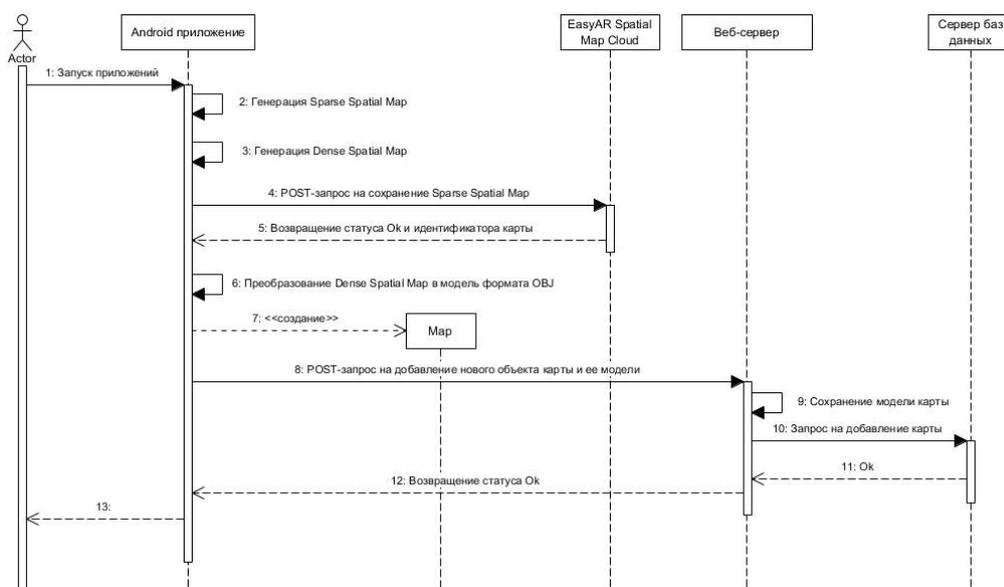


Рисунок 21. Описание процесса добавления карты

4. Реализация информационной системы

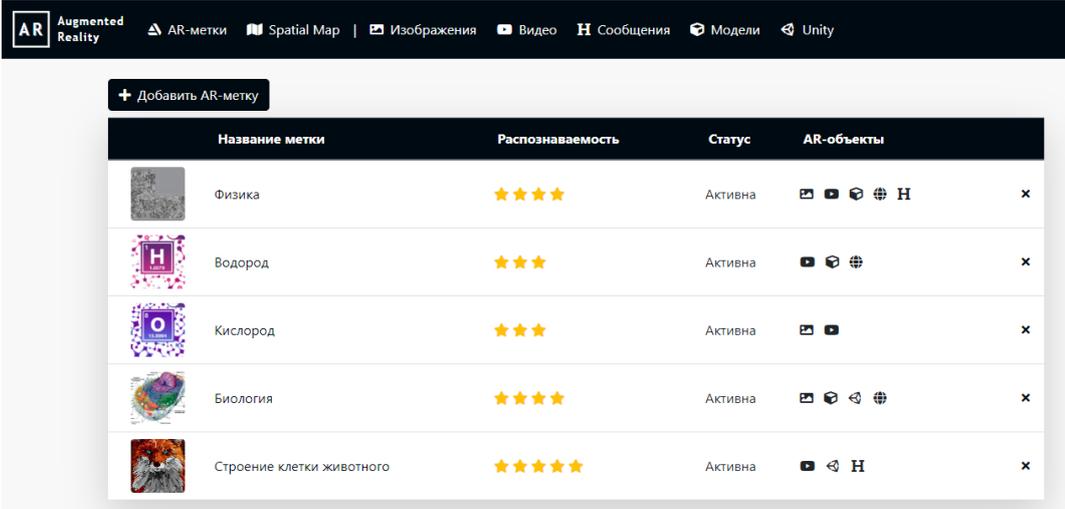
В данном разделе приведены результаты уже готового функционала информационной системы.

4.1 Веб-приложение

Основным функционалом веб-приложения является управление контентом дополненной реальности и лабораторными работами.

На рисунке 22 представлен основной интерфейс для административной панели по управлению контентом дополненной реальности. Контент содержит материалы по небольшим урокам физики и биологии: знакомство с лабораторными приборами (осциллограф, амперметр, мультиметр, микроскоп) и строение клеток живых организмов.

На рисунке 22 можно увидеть, что каждая из меток имеет оценку распознаваемости, статус, и какой тип объектов она использует. Например, метка «Физика» имеет рейтинг распознаваемости 4 из 5, а ее виртуальными объектами являются изображение, видео, модели, веб-ресурс и текст. На практике изображения с рейтингом меньше 3 распознаются медленнее, а вывод виртуальных объектов относительно распознанной цели может быть некорректным. Стоит заранее подготовить и обработать изображения для повышения качества отслеживания.



Название метки	Распознаваемость	Статус	AR-объекты
Физика	★★★★	Активна	🖼️ 📺 📄 🌐 📄
Водород	★★★	Активна	📺 📄 🌐
Кислород	★★★	Активна	🖼️ 📺
Биология	★★★★	Активна	🖼️ 📺 📄 🌐
Строение клетки животного	★★★★★	Активна	📺 📄 🌐

Рисунок 22. Список AR-изображений

Метка имеет три статуса: обрабатывается (небольшой промежуток времени, пока EasyAR проверяет изображение и проводит поиск схожих), активна и неактивна. В последнем случае, метка не будет распознаваться. Статус метки можно изменить во время редактирования.

4.2 Управление контентом дополненной реальности

На рисунке 23 представлена страница изображений, сформированных в виде списка. А на рисунке 24 - форма для их добавления и редактирования.

Каждая страница контента представлена в виде списка объектов и предоставляет поиск по ним. Формы имеют валидацию и информируют пользователя при некорректности его действий.

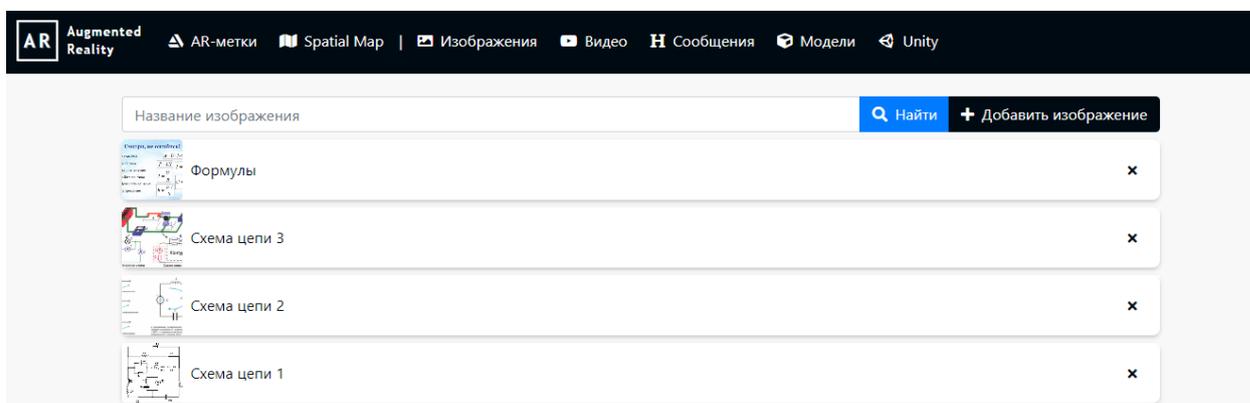


Рисунок 23. Страница изображений

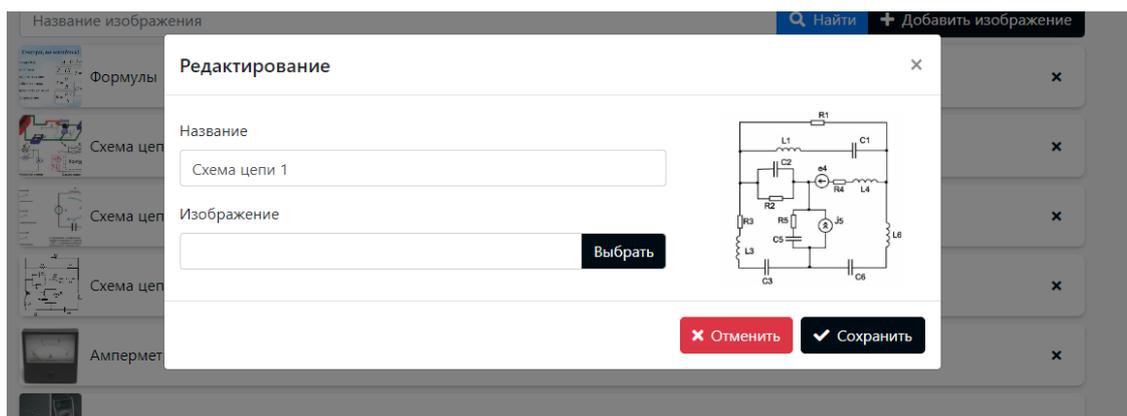


Рисунок 24. Форма создания и редактирования изображений

На рисунке 25 представлена форма создания и редактирования видео. Видео, 3D модели и AssetBundle имеют превью-изображения, они нужны для того, чтобы можно было легче идентифицировать объект в системе. Во время загрузки контента сначала загружаются превью-изображения, а затем сами объекты. Например, для загрузки и преобразования модели может потребоваться некоторое время, но пользователь будет проинформирован, что на месте превью будет размещен виртуальный объект.

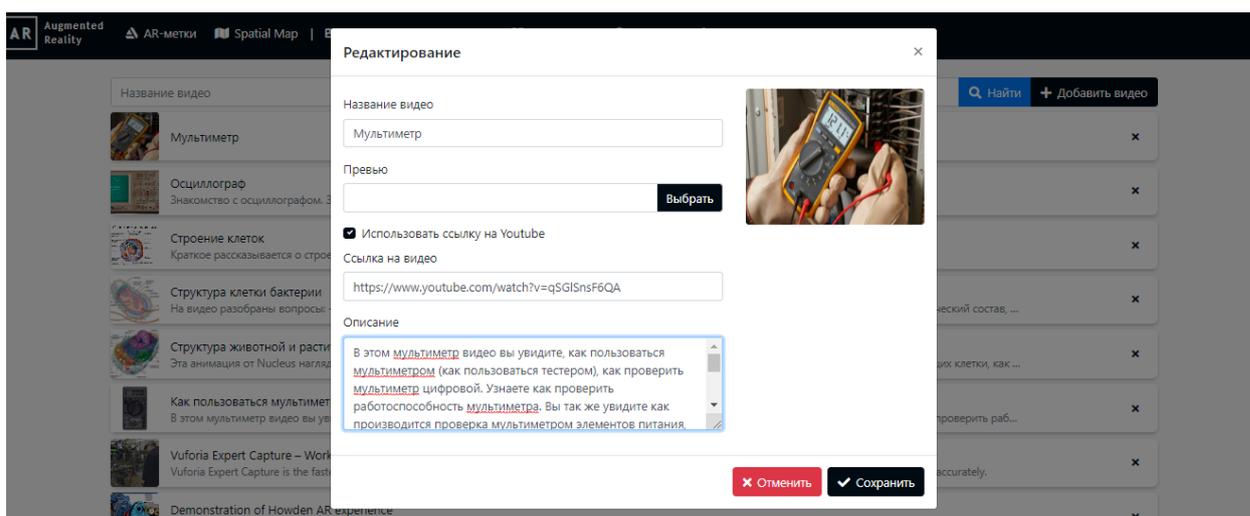


Рисунок 25. Форма создания и редактирования видео

На рисунке 26 представлена форма создания и редактирования 3D моделей (obj, fbx, stl, zip).

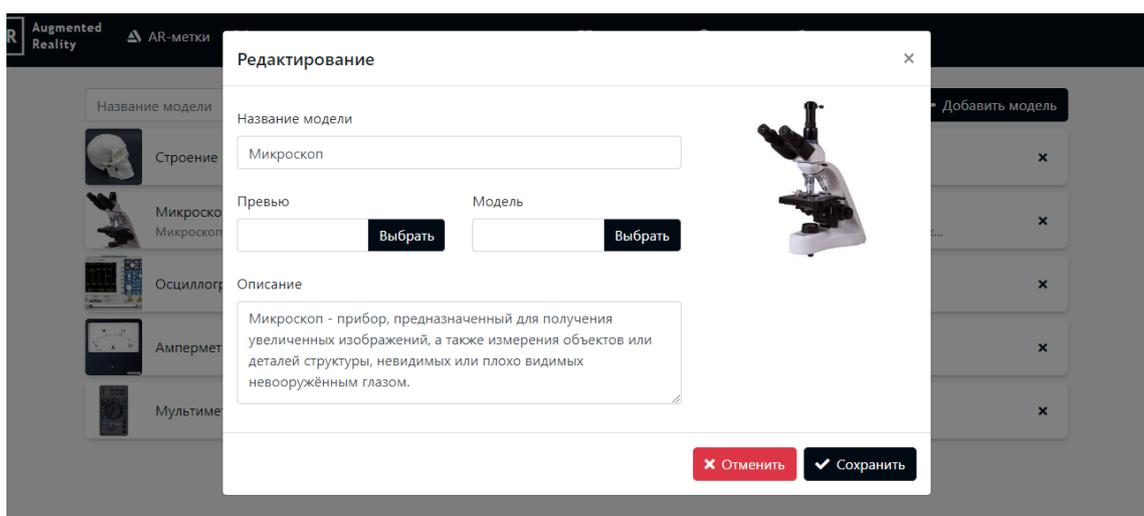


Рисунок 26. Форма создания и редактирования 3D моделей

На рисунке 27 представлена форма создания и редактирования AssetBundle. Форма требует обязательную загрузку AssetBundle для Android. Но также рекомендуется загружать этот формат и для WebGL, чтобы этой моделью можно было воспользоваться при расположении контента на AR-цели.

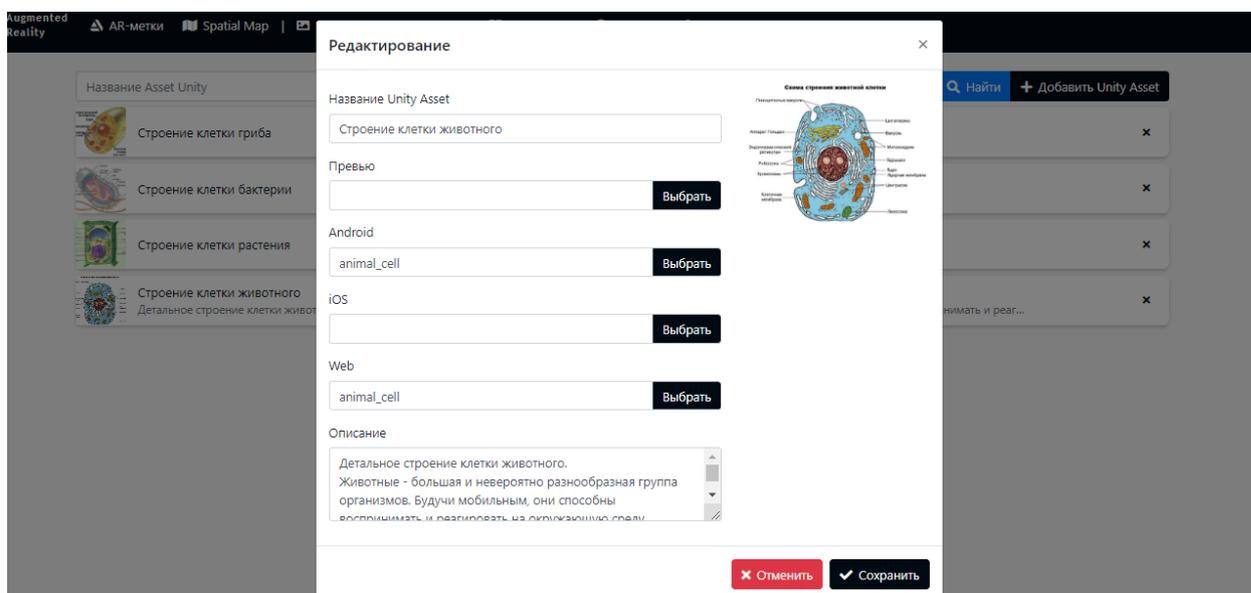


Рисунок 27. Форма создания и редактирования AssetBundle

4.3 Управление AR-изображениями

Создание цели дополненной реальности разделено на два этапа. На первом этапе необходимо ввести название и выбрать изображение. После успешного сохранения нового изображения доступна форма добавления AR-контента с помощью WebGL. На рисунке 28 представлена основная обязательная форма, а на рисунке 29 - форма с WebGL. WebGL полностью подгружается в течении нескольких секунд и становится доступен.

Форма для добавления AR-контента представлена следующим образом:

- Слева располагается сортированный список виртуальных объектов, которые можно добавлять и удалять. При добавлении пользователь может создать новый виртуальный объект, используя формы, описанные выше, или выбрать объект из уже опубликованных.

- Справа расположен WebGL для управления контентом в 3D пространстве.

При добавлении, удалении объектов в WebGL отправляется сообщение для синхронизации объектов.

Основная форма также позволяет изменять активность метки. Если метка не активна, она не будет распознаваться.

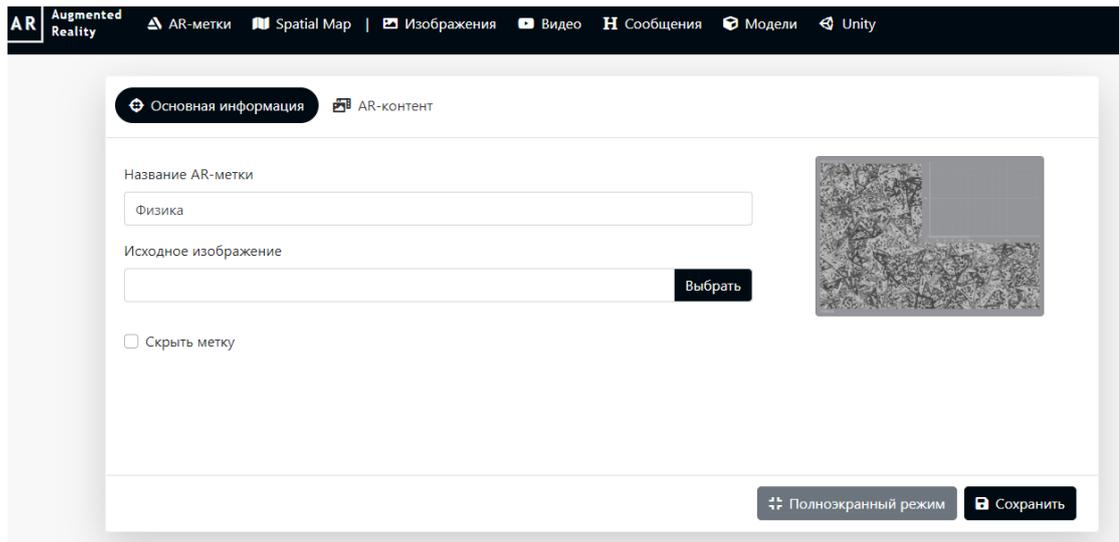


Рисунок 28. Обязательная форма заполнения AR-изображения

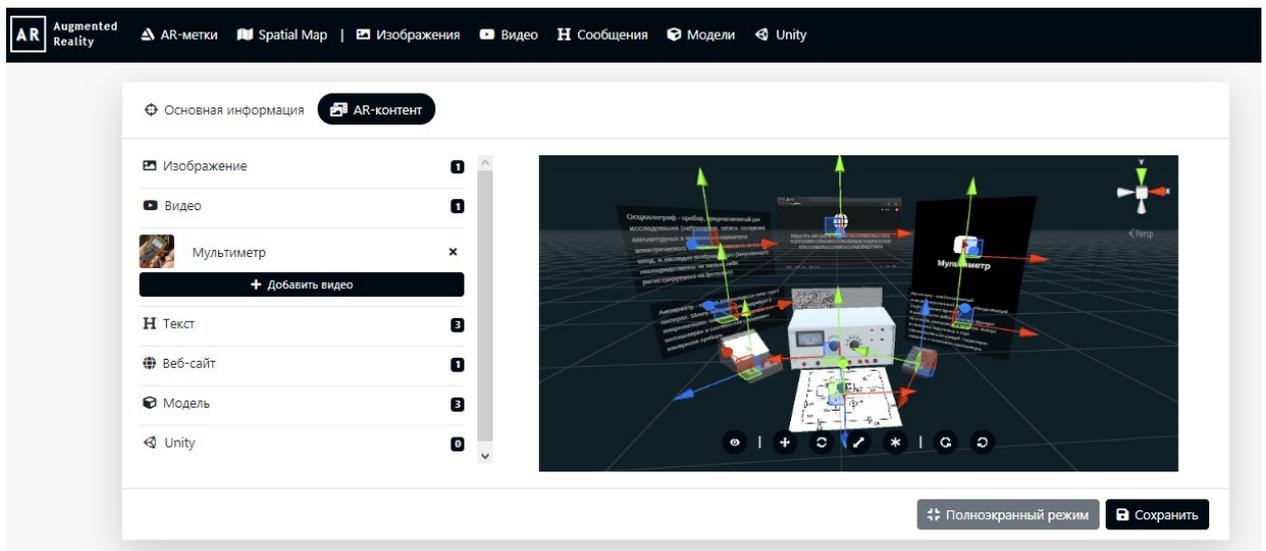


Рисунок 29. Форма добавления AR-контента

Рисунки 30 и 31 демонстрируют формы для выбора уже опубликованных объектов. При этом есть возможность выбрать и добавить сразу несколько объектов (Рисунок 31).

Для удобства работы можно перейти в полноэкранный режим (Рисунок 32). Интерфейс WebGL имеет несколько кнопок, которые реализуют следующий функционал (слева направо):

- Скрытие вспомогательных элементов.
- Перемещение объектов.
- Вращение объектов.
- Масштабирование объектов.
- Мультирежим, активирующий все три режима работы с объектом одновременно.
- Отменить действие.
- Повторить действие.

В полноэкранном режиме WebGL доступны «горячие» клавиши.

На рисунке 32 можно заметить уже размещенные объекты: 3D модели (осциллограф, амперметр и мультиметр), текстовая информация, видео (инструкция для мультиметра), изображение (схема цепи) и веб-браузер дополненной реальности. Для браузера в WebGL используется его условное обозначение.

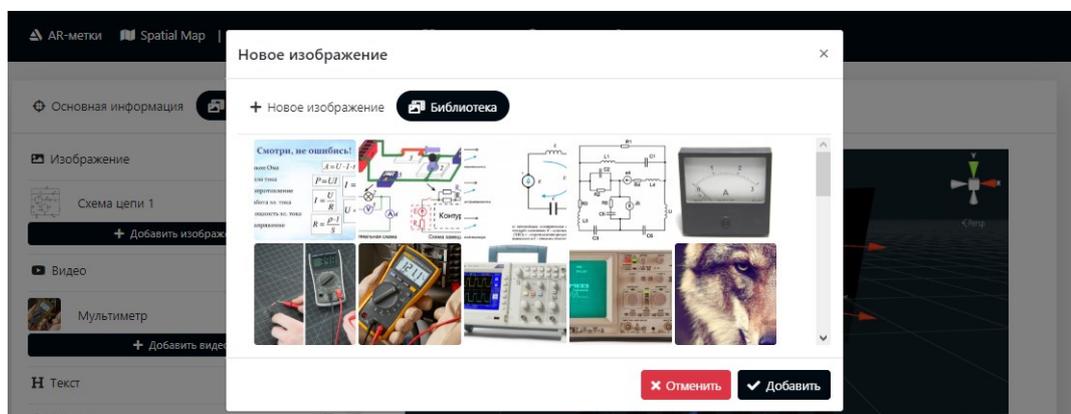


Рисунок 30. Форма выбора изображения

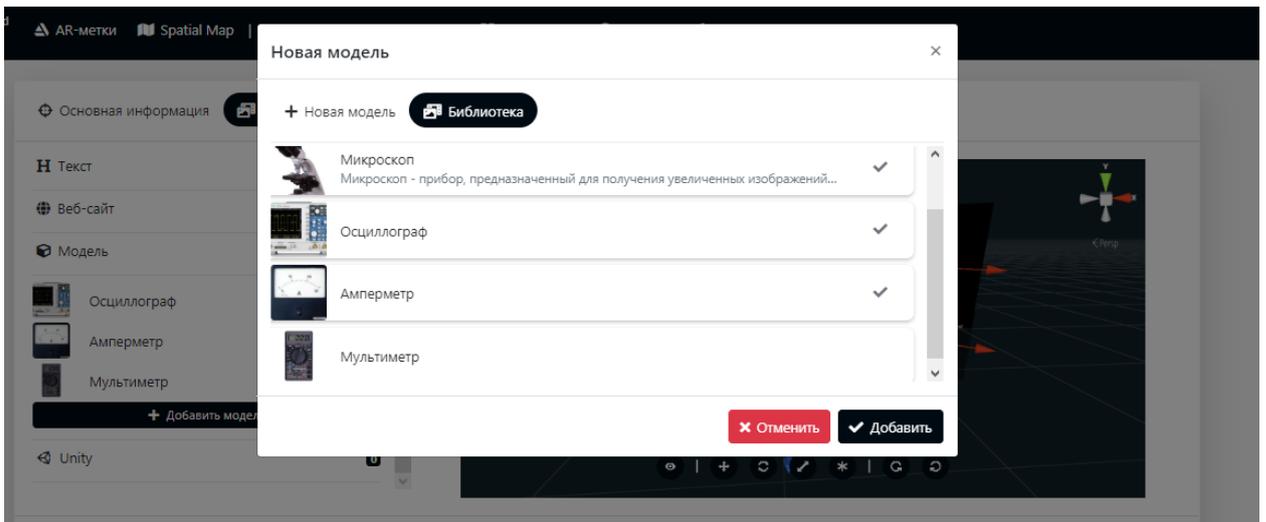


Рисунок 31. Форма выбора 3D модели

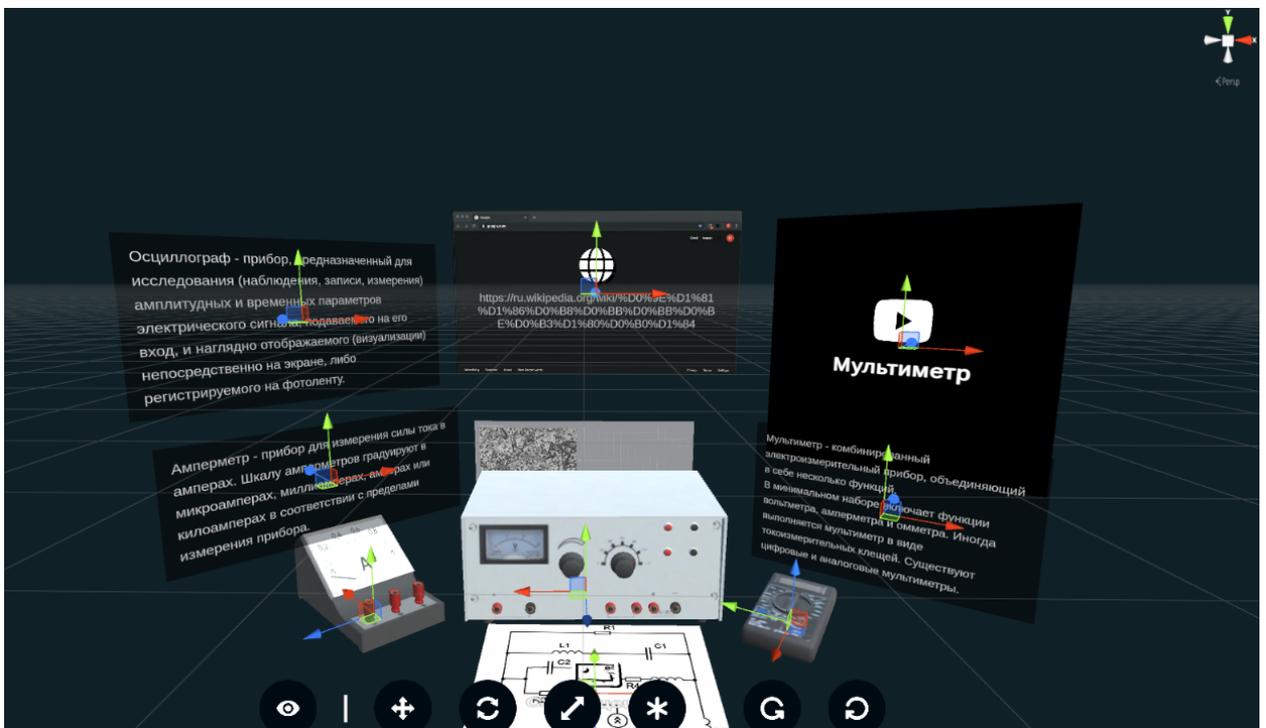
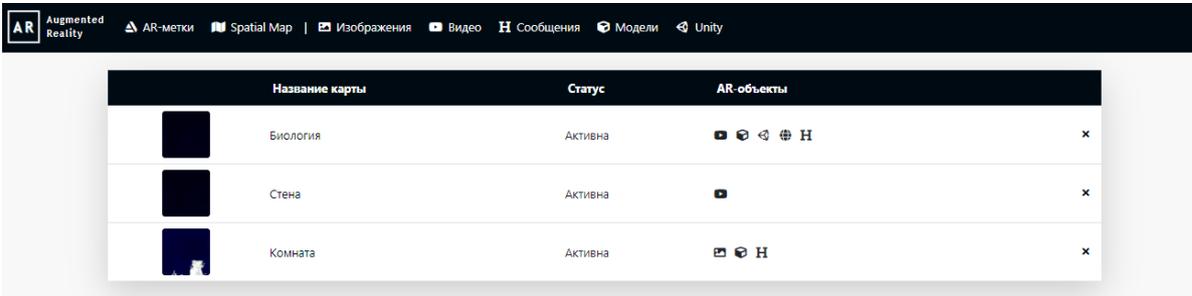


Рисунок 32. Полноэкранный режим WebGL

После успешного сохранения изображение дополненной реальности готово к использованию на Android. Как только изображение будет распознано облачным сервисом EasyAR, будет выполнен запрос на сервер, чтобы получить весь список, зависящих от него виртуальных объектов, которые будут выведены в реальный мир относительно цели.

4.4 Управление пространственными картами

Интерфейс по управлению картами схож с интерфейсом по управлению AR-изображениями. Но вместо изображения загружается пространственная карта. Список сгенерированных карт представлен на рисунке 33, пример карты (ее оригинальный вид, вид с сеткой и модель) – на рисунке 34, а карта с виртуальными объектами – на рисунке 35. В качестве сканируемого объекта использовался стол. Стол дополняют 3D модель микроскопа, видео (материал по цитологии), текст, браузер дополненной реальности и AssetBundle (строение животной клетки).



Название карты	Статус	AR-объекты
Биология	Активна	📹 📷 📺 📄 📖
Стена	Активна	📹
Комната	Активна	📹 📷 📺 📄 📖

Рисунок 33. Список пространственных карт

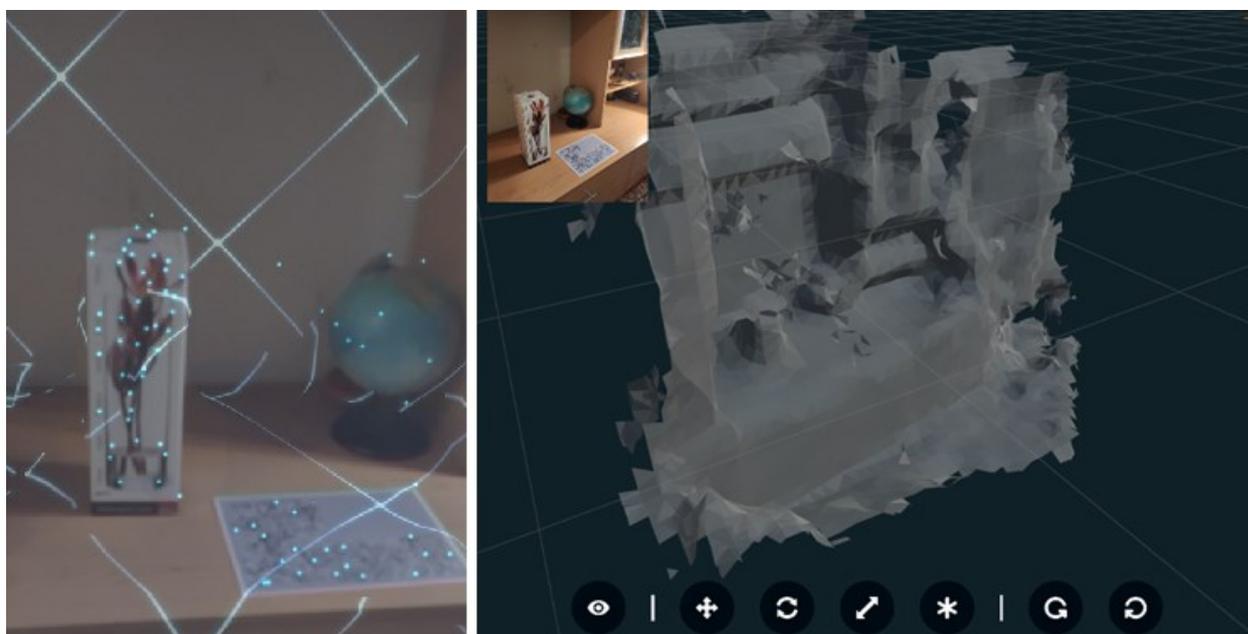


Рисунок 34. Пространственная карта

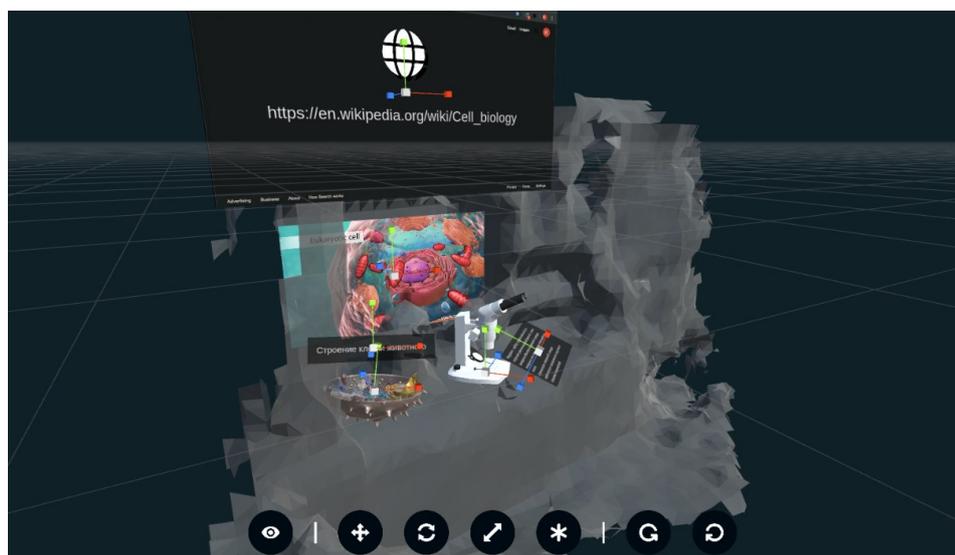


Рисунок 35. Пространственная карта с виртуальными объектами

4.5 Управление лабораторными работами

На данный момент управление лабораторными работами имеет только базовый функционал: загрузку ЛР, создание тестирования и выбор целей дополненной реальности.

Каждому авторизованному пользователю доступен список лабораторных работ и возможность скачать методическое пособие (Рисунок 37).

Если пользователь имеет роль «Преподаватель», то он может создавать лабораторные работы, тестирование и выбирать AR-цели.

При создании и редактировании лабораторной работы требуется заполнить все необходимые поля и добавить файл методического пособия (Рисунок 36). Проходит проверка размера файла и его расширения.

Редактирование лабораторной работы

Название

Цель

Описание

Загрузить новый файл

Выберите файл:

Рисунок 36. Форма создания и редактирования лабораторной работы

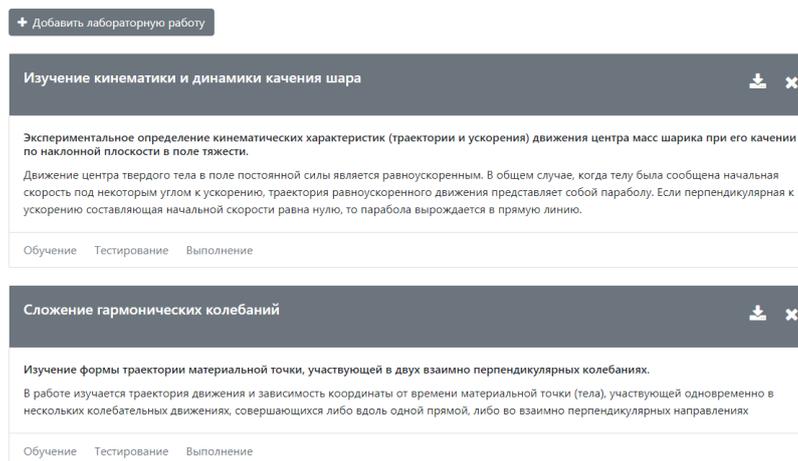


Рисунок 37. Список лабораторных работ

Преподаватель создает список вопросов, правильные и неправильные варианты ответов (Рисунок 38). Клиент (Android приложение) загружает список вопросов и формирует случайный список.

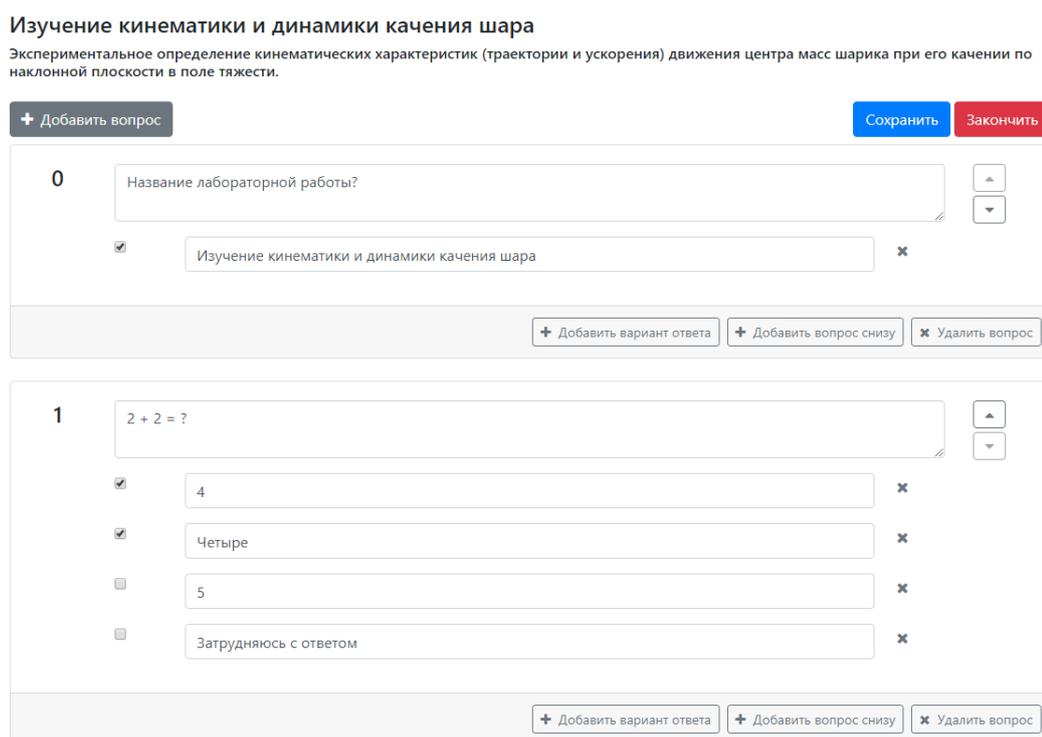


Рисунок 38. Форма создания теста

Чтобы создать последовательное обучение преподаватель выбирает ЛР, добавляет шаг, и, если нужно, выбирает цель дополненной реальности. Если указать метку дополненной реальности, то на этом шаге студенту потребуется найти метку и получить виртуальный объект и информацию (Рисунок 39).

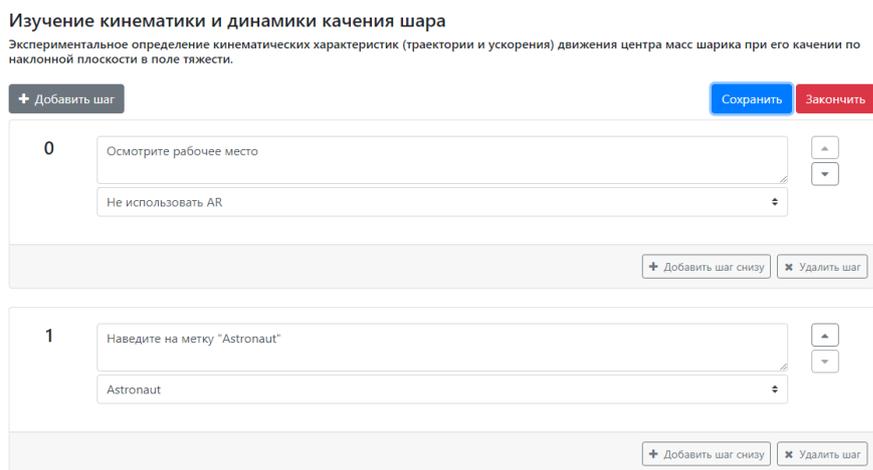


Рисунок 39. Список шагов для обучения по лабораторной работе

4.6 Android-приложение для распознавания AR-целей

Как только цель дополненной реальности опубликована, она становится доступна для распознавания и отслеживания Android приложением.

Пример сканирования AR-изображения «Физика», которое представлено выше, демонстрируется на рисунке 40. Пример сканирования пространственной карты «Биология» на рисунке 41.

Браузер дополненной реальности отлично работает на Android. С ним можно взаимодействовать и делать все, что доступно в обычном браузере. Для видео есть возможность поставить на паузу и воспроизвести сначала.

Весь контент дополненной реальности загружается асинхронно, не вызывая удержания главного потока.

При работе с пространственными картами можно свободно перемещаться и изучать виртуальные объекты более детально. Уровень погружения и возможностей взаимодействия с виртуальными объектами намного выше, чем при использовании изображений, так как SLAM постоянно ведет построение карты и учитывает местоположение и ориентацию устройства в пространстве.

Пример размещения виртуальных объектов для изображения, представленный на рисунке 40, демонстрирует функционал организации AR контента для AR-цели с помощью административной панели. Но, на практике, не рекомендуется размещать виртуальные объекты за пределами изображения, чтобы оно не пропадало из кадра для достижения его стабильного отслеживания в пространстве.

Возможно отслеживание нескольких изображений (в том числе одинаковых) и карт. Используя карты, можно организовать навигацию по помещению. Но так как пока имеется ограничение на сохранение карты в облаке, которое не рекомендует изменять угол поворота устройства в момент построения карты более чем на 45 градусов, то для одного помещения требуется сохранение несколько карт, но для комнат и рабочих мест достаточно одной.

На рисунке 42 приведен пример работы веб-браузера в дополненной реальности, где продемонстрированы прокрутка страницы и просмотр изображений.



Рисунок 40. Распознавание метки «Физика»

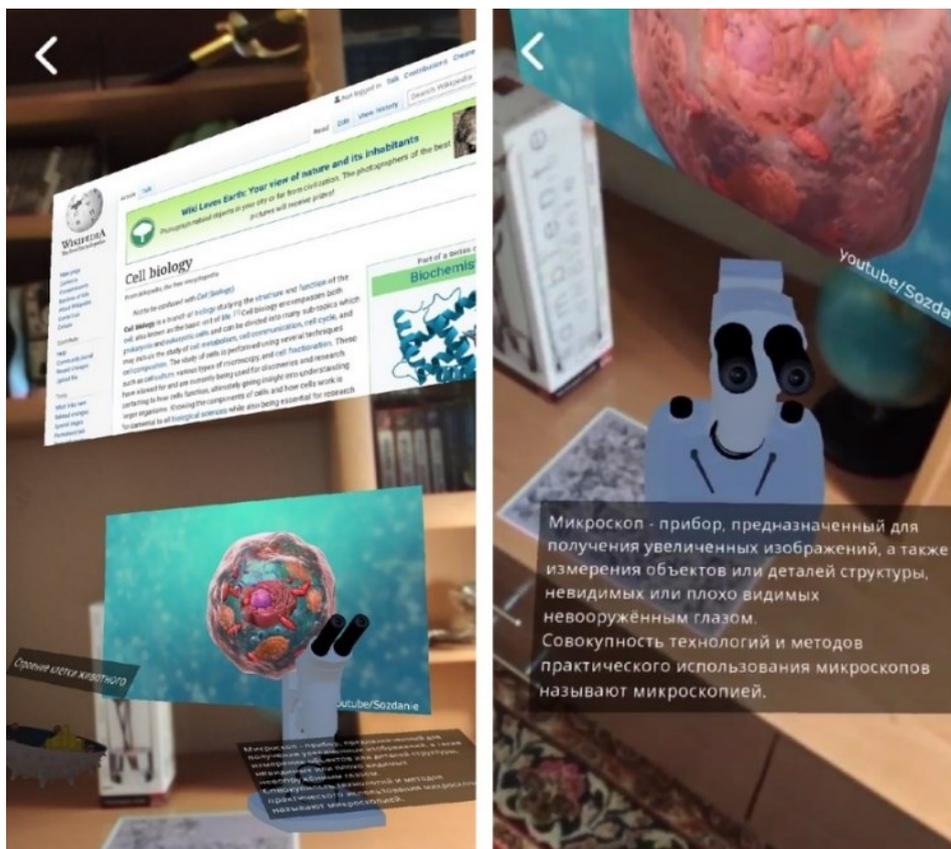


Рисунок 41. Распознавание пространственной карты «Биология»

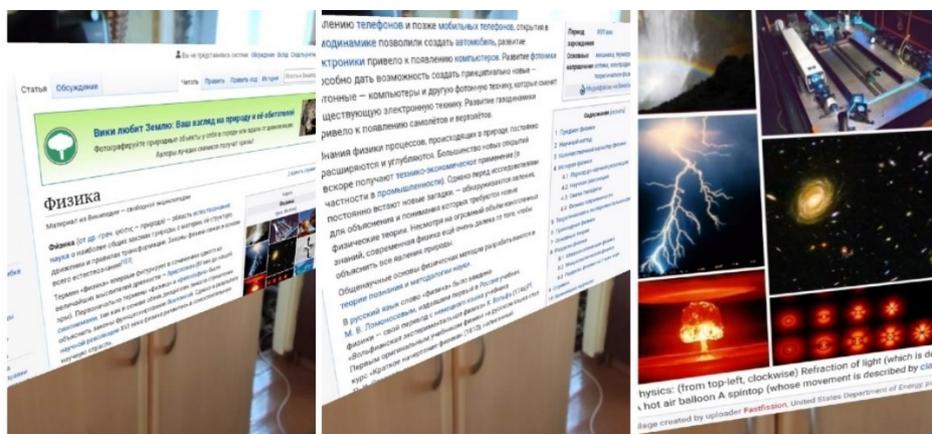


Рисунок 42. Пример работы веб-браузера в дополненной реальности

4.7 Android-приложение для построения пространственной карты

На рисунке 43 представлен пример работы приложения для сканирования исследуемой области (стола). Карта строится по мере перемещения пользователя и изменения угла ориентации устройства.



Рисунок 43. Пример работы приложения для генерации пространственных карт

Одновременно строятся две карты. Генерация Sparse Spatial Map сопровождается выводом голубых точек, характеризующих отличительные элементы окружающей среды. А генерация Dense Spatial Map рассчитывает сеть (Mesh) пространственной области и накладывает прозрачный материал. Как отмечалось выше, Sparse Spatial Map используется для распознавания, а Dense Spatial Map для загрузки модели карты на сервер, чтобы наглядно видеть оцифрованную область и расположить в ней виртуальные объекты. Пример отслеживания сгенерированной карты с ее виртуальными объектами представлен на рисунке 44.

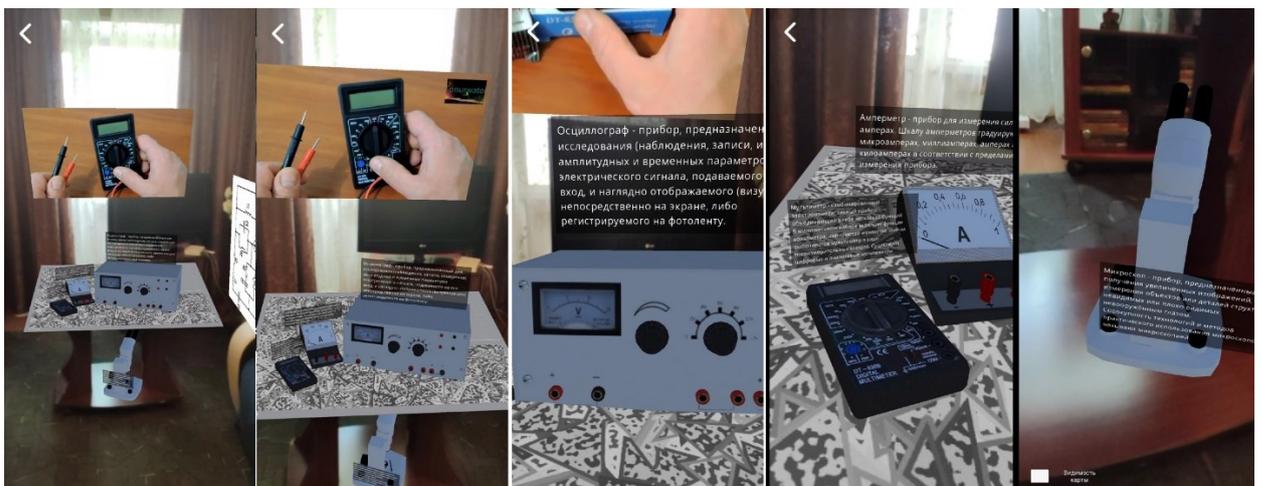


Рисунок 44. Распознавание пространственной карты «Физика»

Стоит отметить, что ведется разработка функционала, с помощью которого можно располагать виртуальные объекты при построении карты, это позволяет получить больший контроль над организацией виртуальных объектов в пространстве и сразу наблюдать результат. Уже есть возможность располагать тестовый объект, перемещать, вращать и масштабировать его, но взаимодействие с API разработанной информационной системы, пока не добавлено.

Карты отлично строятся и вне помещений. Но на открытом пространстве стоит учитывать уровень освещенности: существуют вероятность, что в светлое и темное время суток будут сгенерированы разные карты.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью экономической части ВКР является комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы.

Целью ВКР является разработка информационной системы для лабораторных работ с применением технологий дополненной реальности.

5.1 Организация и планирование работ

При организации процесса был определен полный перечень необходимых работ, а также их исполнители и рациональная продолжительность, представленные в таблице 2

Таблица 2. Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Занятость исполнителей
Постановка целей и задач	НР	НР – 100% И – 10%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 20%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 80% И – 10%
Анализ исследуемой области	И	И – 100%
Изучение технологий дополненной реальности	И	НР – 20% И – 100%
Проектирование архитектуры ПО	НР, И	НР – 20% И – 100%
Проектирование базы данных	НР, И	НР – 20% И – 100%
Выбор SDK дополненной реальности	И	И – 100%
Выбор инструментов для разработки информационной системы	И	И – 100%
Разработка веб-приложения	И	И – 100%
Разработка Android приложения	И	И – 100%
Оценка эффективности полученных результатов	НР, И	НР – 50% И – 100%
Оформление пояснительной записки	И	И – 100%
Примечание: НР – научный руководитель, И – инженер		

5.1.1 Продолжительность этапов работ

Для расчета продолжительности этапов работ был выбран экспертный опытно-статистический метод, так как в ходе работы не было достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, и у разрабатываемой системы нет аналогов в открытом доступе.

Определение вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ вычисляется по формуле (1):

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5}, \quad (1)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Продолжительность этапа в рабочих днях вычисляется по формуле (2):

$$T_{\text{РД}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{ВН}}} \cdot K_{\text{Д}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{ВН}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;

$K_{\text{Д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Были присвоены следующие коэффициенты:

- $K_{\text{ВН}} = 1$ (влияние отсутствует)
- $K_{\text{Д}} = 1.1$.

Продолжительности этапа в календарных днях рассчитываются по формуле (3):

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле (4):

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни, дн.;

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни, дн.;

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни, дн.

При шестидневной рабочей неделе в високосном 2020 году количество праздников и выходных равно 66 дням, соответственно коэффициент календарности равен:

$$T_{\text{К}} = \frac{366}{366 - 66} = 1,22$$

Полученные результаты трудозатрат на выполнение проекта представлены в таблице 3, а линейный график работ – на рисунке 45. Для удобства расчета в таблицу была добавлена информация о занятости исполнителей. Самым продолжительным этапом является разработка информационной системы, включающая реализацию веб приложения и Android приложения. Не менее важным этапом является выбор SDK дополненной реальности и покупки для него лицензии. Уже сегодня разработчику предоставляется большой выбор SDK, который во многом определяет возможности AR-приложения, поэтому нужно уметь выбрать правильную платформу в зависимости от требований к проекту и бюджету.

Таблица 3. Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Загрузка исполнителей		Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям, чел-дни.			
						Трд		Ткд	
	НР	И	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Постановка целей и задач	100	10	2	3	2,40	2,64	0,26	3,22	0,32
Составление и утверждение ТЗ	100	20	3	4	3,40	3,74	0,75	4,56	0,91
Разработка календарного плана	80	10	2	3	2,40	2,11	0,26	2,58	0,32
Анализ исследуемой области	0	100	4	6	4,80	0,00	5,28	0,00	6,44
Изучение технологий дополненной реальности	20	100	4	6	4,80	1,06	5,28	1,29	6,44
Проектирование архитектуры ПО	20	100	6	10	7,60	1,67	8,36	2,04	10,20
Проектирование базы данных	20	100	4	6	4,80	1,06	5,28	1,29	6,44
Выбор SDK дополненной реальности	0	100	10	12	10,80	0,00	11,88	0,00	14,49
Выбор инструментов для разработки информационной системы	0	100	2	3	2,40	0,00	2,64	0,00	3,22
Разработка веб-приложения	0	100	20	24	21,60	0,00	23,76	0,00	28,99
Разработка Android приложения	0	100	16	20	17,60	0,00	19,36	0,00	23,62
Оценка эффективности полученных результатов	50	100	2	3	2,40	1,32	2,64	1,61	3,22
Оформление пояснительной записки	0	100	4	6	4,80	0,00	5,28	0,00	6,44
Итого:					89,80	13,60	91,04	16,59	111,06

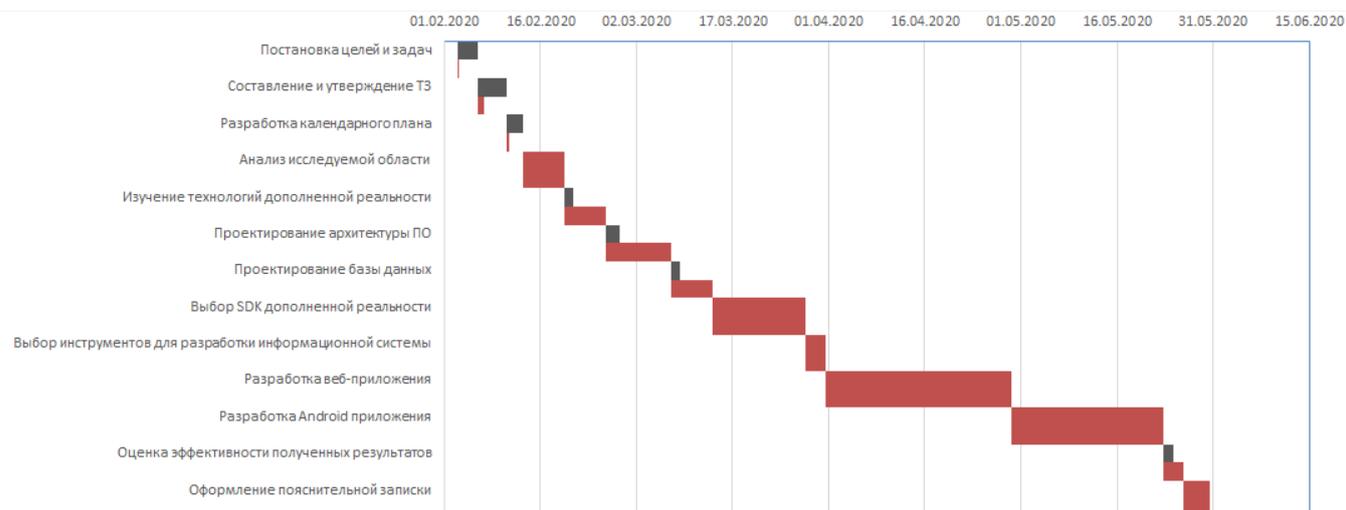


Рисунок 45. Линейный график работ, где черным цветом выделены работы научного руководителя, а красным – инженера

5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание информационной системы включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производился по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- прочие (накладные расходы) расходы.

5.2.1 Расчет затрат на материалы

Данная статья включает стоимость материалов, используемых при разработке проекта.

Многие из рассмотренных SDK дополненной реальности предлагают бесплатную версию своего продукта, но с ограничениями.

Обязательный функционал, который требуется для системы это облачное распознавание изображений, стоимость использования такого сервиса у EasyAR составляет 99\$ в месяц. Но для новых пользователей EasyAR предлагает базовую лицензию за 39\$ в месяц и один месяц бесплатного облачного распознавания. Таким образом, была приобретена базовая лицензия и активировано бесплатное облачное распознавание на один месяц. Полная стоимость лицензии на один продукт составляет 1299 \$, при этом есть возможность связаться с разработчиками и составить цену на лицензию только за желаемый функционал.

Для Unity была приобретена лицензия продукта «TriLib - Model loader package», который необходим для загрузки 3D объектов разных форматов для Android и WebGL. Стоимость лицензии составляет единоразовую плату в 25\$ (1800 рублей).

Список материалов и затраты на них отображены в таблице 4. Цены в таблице актуальны на 20.05.2020.

Таблица 4. Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Базовая лицензия EasyAR для одного продукта на один месяц	2700	1	2700
Постоянная лицензия «TriLib - Model loader package» для одного продукта	1800	1	1800
Итого:			4500

5.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и исполнителя проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы.

Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле (5):

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25}, \quad (5)$$

где МО – месячный оклад сотрудника.

Учитывая, что в 2020 году 300 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе, в каждом месяце имеется приблизительно 25 рабочих дней.

Величина месячного оклада для научного руководителя принимается равной 33664 рублей, а для инженера – 12663 рублей.

Для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка сотрудника, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{н}}$, который равен 1,699 при шестидневной рабочей неделе. Расчет затрат на полную заработную плату представлен в таблице 5.

Таблица 5. Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. дн.	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд заработной платы, руб.
НР	33664	1346,56	14	1,699	32029,28
И	12663	506,52	92	1,699	79173,13
Итого:					111202,40

5.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту.

Для текущего проекта затраты на социальный налог равны:

$$C_{\text{соц.}} = 111202,40 \cdot 0,3 = 33360,72 \text{ руб.}$$

5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования. Расчет затрат на электроэнергию рассчитывается по формуле (6):

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}} \quad (6)$$

где: $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ принято $Ц_{\text{э}} = 6,59$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 для инженера ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов (формула 7):

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t, \quad (7)$$

где K_t – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле (8):

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} \cdot K_c \quad (8)$$

где:

$P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

K_c – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Работа проводилась на ноутбуке с потреблением не более 0,1 кВт и $K_c = 1$.

Расчет затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 6.

Таблица 6. Расчет затрат на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования, час	Потребляемая мощность, кВт	Затраты, руб.
Ноутбук	655,46	0,1	431,95

5.2.5 Расчет амортизационных расходов

Амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта. рассчитывается по формуле (9):

$$C_{AM} = \frac{N_A \cdot C_{OB} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D}, \quad (9)$$

где: N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

C_{OB} – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Для реализации проекта использовался ноутбук стоимостью 39990. При шестидневной рабочей неделе в 2020 году имеется 300 рабочих дней, соответственно, $F_D = 300 \cdot 8 = 2400$ часа. N_A принята 0,4.

Таким образом, при реализации проекта амортизация оборудования составила:

$$C_{AM} = \frac{0,4 \cdot 39990 \cdot 728 \cdot 1}{2400} = 4854,03 \text{ руб.}$$

5.2.6 Расчет прочих расходов

В разделе «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих разделах. Их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов (10):

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1 \quad (10)$$

Таким образом, прочие расходы на реализацию проекта составили:

$$\begin{aligned} C_{\text{проч.}} &= (4500,00 + 111202,40 + 33360,72 + 431,95 + 4854,03) \cdot 0,1 \\ &= 15434,91 \text{ руб.} \end{aligned}$$

5.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Разработка информационной системы для лабораторных работ с применение технологий дополненной реальности» (таблица 7).

Таблица 7. Расчет себестоимости разработки проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	4500,00
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	111202,40
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	33360,72
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	431,95
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	4854,04
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	15434,91
Итого:		169784,02

5.2.8 Расчет прибыли

Так как текущих данных недостаточно для применения методов для расчета прибыли, она была принята в размере 20 % от полной себестоимости проекта и составила:

$$C_{\text{пр}} = 169784,02 \cdot 0,2 = 33956,80 \text{ руб.}$$

5.2.9 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$C_{\text{НДС}} = (169784,02 + 33956,80) \cdot 0,2 = 40748,16 \text{ руб.}$$

5.2.10 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 169784,02 + 33956,80 + 40748,16 = 244488,99 \text{ руб.}$$

5.3 Оценка экономической эффективности проекта

Результатом ВКР является веб-приложение для управления контентом дополненной реальности и Android приложение для вывода виртуальных объектов на экран мобильного устройства при обнаружении изображений и пространственных карт, добавленных в систему.

Веб-приложение предлагает редактор для добавления виртуальных объектов и их расположение в пространстве относительно выбранной AR-цели. Уже сегодня существуют ряд систем, которые частично предоставляет схожий функционал, но используя в качестве целей только изображения. Разработанная система позволяет в качестве целей использовать пространственные карты, которые сгенерированы с помощью Android приложения и загружены в систему. Пространственная карта может являться оцифровкой реального объекта или небольшого помещения. Например, пользователь может оцифровать свое помещение, загрузить его в систему и использовать редактор, чтобы расположить в нем виртуальные объекты. На данный момент это является уникальностью системы, и аналогичный функционал еще никем не представлен.

Система по управлению контентом дополненной реальности реализована таким образом, что ее можно встраивать и в другие проекты. Ее областями применения могут быть образование, наука, маркетинг, корпоративная и развлекательные сферы. Таким образом, данный проект можно коммерциализировать. Оценка экономической эффективности разработки на данный момент невозможна ввиду ее неполной завершенности с точки зрения требований потенциальных потребителей.

Подсчитанные затраты и преимущества от выполнения проекта позволяют доказать экономическую целесообразность проекта при благополучном исходе. В рамках работы были подсчитаны приблизительные затраты на выполнение проекта, которые в сумме составили 244488,99 рублей.

6. Социальная ответственность

Целью выпускной работы является разработка информационной системы для лабораторных работ с применением технологий дополненной реальности. Информационная система представляет собой «Гид-справочник» по лабораторным работам. А дополненная реальность позволяет расширить традиционные методы обучения, повысив уровень вовлеченности и восприятие новой информации студентом.

Система по управлению объектами дополненной реальности включает функционал, позволяющий сформировать и подготовить данные о виртуальных объектах, которые будут добавлены в реальный мир и выведены на экран мобильного устройства. Виртуальными объектами могут быть изображения, видео, текст и объемные модели.

В проектной деятельности необходимо учитывать безопасность труда и окружающей среды. Под понятием «социальная ответственность» понимается состояние рабочего места и помещения, режим трудовой деятельности и обеспечение мероприятий по защите трудящихся в моменты чрезвычайных ситуаций.

Все выше перечисленное регламентируется в соответствии с международным стандартом ICCSR26000:2011 «Социальная ответственность организации», целью которого является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи на производстве и негативные воздействия на окружающую среду.

Основная проектная деятельность по разработке информационной системы выполнялась в десятом корпусе ТПУ на кафедре информационных технологий (117 аудитория).

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Нормативное регулирование охраны труда осуществляется посредством трудового кодекса РФ, согласно которому работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда [26];
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов [26];
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом [26];
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра [26];
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности [26].

В соответствии с государственными стандартами и правовыми нормами обеспечения безопасности предусмотрена рациональная организация труда в течение смены, которая предусматривает:

- длительность рабочей смены не более 8 часов;
- установление двух регламентируемых перерывов (не менее 20 минут после 1-2 часов работы, не менее 30 минут после 2 часов работы);

- обеденный перерыв не менее 40 минут.

Организация-работодатель выплачивает заработную плату работникам. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней, работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя [26].

Обработка персональных данных работника может осуществляться исключительно в целях обеспечения соблюдения законов и иных нормативных правовых актов, содействия работникам в трудоустройстве, получении образования и продвижении по службе, обеспечения личной безопасности работников, контроля количества и качества выполняемой работы и обеспечения сохранности имущества [26].

Все персональные данные следует получать непосредственно у работника. Если персональные данные работника возможно получить только у третьей стороны, то работник должен быть уведомлен об этом заранее и от него должно быть получено письменное согласие. Работодатель должен сообщить работнику о целях, предполагаемых источниках и способах получения персональных данных, а также о характере подлежащих получению персональных данных и последствиях отказа работника дать письменное согласие на их получение [26].

Перед приемом на работу каждый сотрудник должен пройти инструктаж по технике безопасности, по электробезопасности и охране труда.

6.1.2 Эргономические требования к рабочему месту исследователя

Рабочие места с ПЭВМ требуют значительного умственного напряжения и высокой концентрации внимания. Организация рабочего места любого сотрудника, выполняющего длительную работу за ПЭВМ, регламентируется несколькими нормативными документами: ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ, ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и рядом других.

Основными элементами рабочего места программиста являются стол, кресло, монитор. А основное рабочее положение – сидя.

Экран монитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Дизайн ПЭВМ должен предусматривать окраску корпуса в спокойные мягкие тона с диффузным рассеиванием света [27].

Корпус ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны иметь матовую поверхность с коэффициентом отражения 0,4-0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы [27].

Высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники. А его поверхность должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения работника [27].

Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПК, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейноплечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего кресла следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Помещение должно быть оборудовано системами вентиляции, кондиционирования и отопления.

Рабочее место в аудитории 117 десятого корпуса ТПУ удовлетворяет вышеперечисленным требованиям.

6.2 Производственная безопасность

В данном разделе анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

Используя ГОСТ 12.0.003-74, можно выделить ряд факторов, приведенных в таблице 7. Также приведены источники факторов и нормативные документы, регламентирующие действие каждого фактора.

Таблица 7. Опасные и вредные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Проектирование	Разработка	Эксплуатация	
Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	СанПиН 2.2.2.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, ПЭВМ и организации работ
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
Превышение уровня шума	+	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
Повышенная напряженность магнитного поля	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы

6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

6.2.1.1 Отсутствие или недостаток естественного света

С точки зрения безопасности труда зрительная способность и комфорт имеют большое значение. Недостаточное освещение рабочего места может привести к повышенной утомляемости, головным болям и снижению работоспособности.

В помещении при работе с ПК должно быть естественное и искусственное освещение. Естественное освещение обеспечивается через оконные проемы с коэффициентом естественного освещения КЕО не ниже 1,2% в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5% на остальной территории. Световой поток из оконного проема должен падать на рабочее место оператора с левой стороны.

В качестве источников света при искусственном освещении должны применяться преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ. Следует применять светильники серии ЛПО36 с зеркализированными решетками, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами. Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается [28]

6.2.1.2 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Данные параметры микроклимата влияют на теплообмен, и необходимо учитывать их комплексное воздействие. Нарушение теплообмена вызывает тепловую гипертермию или перегрев.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548–96, показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха производственных помещений для работ, производимых сидя и не требующих систематического физического напряжения (категория Ia), приведены в таблице 8.

Таблица 8. Нормы температуры относительно влажности и скорости воздуха для категории работы Ia [29]

Период года	Температура воздуха, С	Относительная влаж. воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более м/с
Холодный	22-24	40-60	0,1
Теплый	23-25	40-60	0,1

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах представлены в таблице 9.

Таблица 9. Допустимые величины показателей микроклимата для категории работы Ia [29]

Период года	Температура воздуха, С	Относительная влаж. воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более м/с
Холодный	20-25	15-75	0,1
Теплый	21-28	15-75	0,1-0,2

6.2.1.3 Превышение уровня шума

Шум – это совокупность различных звуков, возникающих в процессе производства и неблагоприятно воздействующих на организм. Воздействие повышенных уровней шума (как прямое – на орган слуха, так и

опосредованное – через высшие регуляторные системы) вызывает нарушение нервной и сердечно-сосудистой систем, органов пищеварения, нарушение регуляции мозгового кровообращения и др.

Уровень звука на рабочих местах, связанных с творческой деятельностью, научной деятельностью, программированием, преподаванием и обучением не должен превышать 50 дБА [30].

6.2.1.4 Повышенная напряженность магнитного поля

Источниками повышенной напряженности электромагнитного поля в данном случае является персональный компьютер. Объясняется это тем, что ПК оснащают сетевыми фильтрами, источниками бесперебойного питания и другим оборудованием, что в совокупности формирует сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя.

Ряд исследователей связывают электромагнитные излучения, создаваемые монитором ПК, с развитием функциональных расстройств и даже патологических состояний, таких как головные боли, снижение способности к концентрации внимания, снижение артериального давления, функциональные нарушения зрения, развитие катаракты, кожные поражения.

Предельно допустимые значения излучений от ПК приведены в таблице 10

Таблица 10. Временные допустимые уровни электромагнитных излучений, создаваемые ПК [31]

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500

6.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

6.2.2.1 Отсутствие или недостаток естественного света

Неудовлетворение показателям освещения может привести к напряжению зрения, ослаблению внимания, раздражению, головной боли и утомлению. Основным документом, регламентирующим нормы освещенности, является СНиП 23-05-95.

Расчет искусственного освещения рабочей зоны проводился с помощью методического пособия для выполнения лабораторной работы «Расчет искусственного освещения» [32].

Основным показателем качества освещения является освещенность E - поверхностная плотность светового потока.

Рабочим местом является компьютерный класс 107А в десятом корпусе ТПУ длиной – 7 м., шириной – 6 м. и высотой – 3 м. Естественное освещение кабинета осуществляется посредством двух окон размером 2,2 м. и 1,5 м. Дверь – деревянная, ее высота равна 2 м., а ширина - 1 м.

Высота рабочей поверхности $h_{рп} = 0,8$. Лампы установлены в уровень с потолком, поэтому высота подвеса светильников $h_c = 2,2$ м.

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м.}$$

Расчёт индекса помещения осуществляется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)},$$

где S – площадь помещения (m^2); h – высота подвеса светильников (м); A и B – длина и ширина помещения (м).

$$i = \frac{30}{2,2 \cdot (6 + 5)} = 1,24$$

Стены кабинета окрашены водоэмульсионной краской бежевого цвета. Потолок подвесной, плиточный. Пол покрыт линолеумом. Поэтому коэффициентам отражения от стен и потолка присвоены значение

$\rho_c = 50\%$ и $\rho_{\Pi} = 50\%$. Учитывая эти коэффициенты и индекс помещения, подбирается коэффициент использования светового потока $\eta = 0,4$ [33].

В кабинете 9 источников света по 4 лампы в каждом. Используются люминесцентные лампы ЛВО 4×18 CSVТ со световым потоком $F = 1200$ лм.

Освещенность кабинета рассчитывается по следующей формуле:

$$E_{\text{факт}} = \frac{N * n * \Phi_{\text{ст}} * \eta}{S * K_3 * Z}$$

где N – число светильников в помещении;

n – число ламп в светильнике;

$\Phi_{\text{ст}}$ – величина стандартного светового потока, лм;

η – коэффициент использования светового потока;

S – площадь помещения;

K_3 – коэффициент запаса (для помещения с малым выделением пыли равен 1,5);

Z – коэффициент неравномерности освещения (1).

$$E_{\text{факт}} = \frac{9 * 4 * 1200 * 0,4}{30 * 1,5 * 1} = 384 \text{ лк}$$

Таким образом фактическая освещенность, равная 384 лк, что удовлетворяет нормам СанПиН 2.2.2.542-96 для работы в компьютерных классах и офисах.

6.2.2.2 Отклонение показателей микроклимата

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль за влажностью воздуха.

В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования. В холодное время года предусматривается система отопления. Для отопления помещений используются водяные системы центрального отопления.

6.2.2.3 Превышение уровня шума

В компьютерной аудитории основными источниками шумов являются составляющие ПК. Методы для уменьшения воздействий шума представлены в

СНиП 23-03-2003:

- экранирование рабочих мест, то есть установка перегородок между рабочими местами;
- установка оборудования, производящего минимальный шум.
- применение звукопоглощающих материалов.

Для обеспечения снижения уровня шума персональных компьютеров, необходимо регулярно проводить чистку от пыли, замену смазывающих веществ и прочее техническое обслуживание.

6.2.2.4 Повышенная напряженность магнитного поля

Для уменьшения уровня электромагнитного поля от персонального компьютера рекомендуется включать в одну розетку не более двух компьютеров, сделать защитное заземление, подключать компьютер к розетке через нейтрализатор электрического поля.

Помимо этого, для обеспечения более низкого уровня электромагнитного излучения на рабочем месте следует использовать жидкокристаллический монитор.

Методы защиты от воздействия статического электричества:

- влажная уборка, чтобы уменьшить количество пылинок в воздухе и на предметах офиса;
- использование увлажнителей воздуха;
- защитное заземление;

- применение средств индивидуальной защиты, таких как
- антистатические спреи и браслеты

6.3 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность и охрана окружающей среды являются одними из важнейших факторов при выполнении работ любого характера. Но при работе в офисном помещении за ПК отсутствуют выбросы в окружающую среду и нет влияния на жилищную зону.

В соответствии с требованиями закона все отходы, образованные в соответствии с их классами опасности, передаются на специализированные предприятия для переработки, утилизации или захоронения. Отходы, которые не подлежат переработке или повторному использованию, должны быть утилизированы на полигонах или в почве.

В нормативном документе СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, даются следующие общие рекомендации по снижению опасности для окружающей среды, исходящей от компьютерной техники:

- применять оборудование, соответствующее санитарным нормам и стандартам экологической безопасности;
- применять расходные материалы с высоким коэффициентом использования и возможностью их полной или частичной регенерации;
- отходы в виде компьютерного лома утилизировать;
- использовать экономичные режимы работы оборудования.

Одним из самых распространенных источников ртутного загрязнения являются вышедшие из эксплуатации люминесцентные лампы. Каждая такая лампа, кроме стекла и алюминия, содержит около 60 мг ртути. Поэтому отслужившие свой срок люминесцентные лампы, а также другие приборы, содержащие ртуть, представляют собой опасный источник токсичных веществ [34].

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при разработке и эксплуатации предмета исследования

Наиболее характерной ЧС для помещения, оборудованных ЭВМ, является пожар.

Пожары на промышленных предприятиях, на транспорте, в быту представляют большую опасность для людей и причиняют огромный материальный ущерб. Поэтому вопросы обеспечения пожарной и взрывной безопасности имеют государственное значение.

Пожары на производстве возникают по определенным причинам, устранение которых составляет основу всех мероприятий по пожарной безопасности. Возникновение пожара может произойти по нескольким факторам:

- возникновением короткого замыкания в электропроводке вследствие неисправности самой проводки или электросоединений и электрораспределительных щитов;
- возгоранием устройств вычислительной аппаратуры вследствие нарушения изоляции или неисправности самой аппаратуры;
- возгоранием мебели или пола по причине нарушения правил пожарной безопасности, а также неправильного использования дополнительных бытовых электроприборов и электроустановок;
- возгоранием устройств искусственного освещения.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения [35]:

- огнетушащие вещества (вода, песок, земля);
- огнетушащие материалы (грубошерстные куски материи – кошмы, асбестовые полотна, металлические сетки с малыми ячейками ит. п.);
- немеханизированный ручной пожарный инструмент (багры, крюки, ломы, лопаты и т. п.);

- пожарный инвентарь (бочки и чаны с водой, пожарные ведра, ящики и песочницы с песком);
- пожарные краны на внутреннем водопроводе противопожарного водоснабжения в сборе с пожарным стволом и пожарным рукавом;
- огнетушители.

6.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями. Пожарная защита должна обеспечиваться применением средств пожаротушения, а также применением автоматических установок пожарной сигнализации.

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности [35]:

- обеспечение эффективного удаления дыма, т.к. в помещениях, имеющих оргтехнику, содержится большое количество пластиковых веществ, выделяющих при горении летучие ядовитые вещества и едкий дым;
- обеспечение правильных путей эвакуации;
- наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;
- соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

Необходимыми действиями со стороны работников в результате возникшей ЧС и мерами по ликвидации ее последствий являются [35]:

- незамедлительно сообщить в пожарную охрану;
- принять меры по эвакуации людей, каких-либо материальных ценностей согласно плану эвакуации;
- отключить электроэнергию, приступить к тушению пожара первичными средствами пожаротушения.

Учебные аудитории 10 корпуса ТПУ оснащены ручными углекислотными огнетушителями ОУ-2 по одному на аудиторию, а также аптечками первой помощи согласно требованиям ГОСТ Р 51057-01.

Рабочее место располагается в 10 корпусе ТПУ в 117 аудитории. План эвакуации предоставлен на рисунке 46.

Для тушения пожаров необходимо применять углекислотные (ОУ-5 или ОУ-10) и порошковые огнетушители (например, типа ОП-10), которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнем.

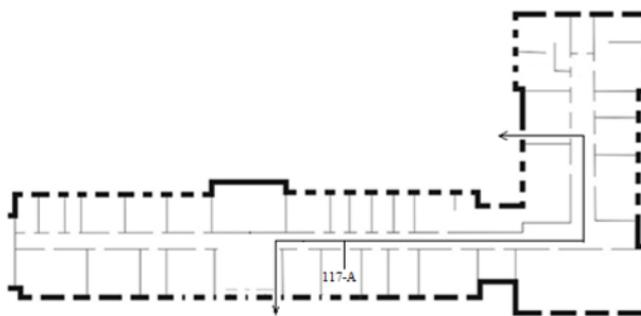


Рисунок 46. План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса №10

Ответственность за нарушение Правил пожарной безопасности, согласно действующему федеральному законодательству, несет руководитель объекта.

Выводы по разделу

В данном разделе были рассмотрены основные вопросы соблюдения прав работника на труд, выполнения правил к безопасности труда, промышленной безопасности, экологии и ресурсосбережения.

Установлено, что рабочее место в компьютерном классе 117 десятого корпуса ТПУ на кафедре информационных технологий удовлетворяет требованиям безопасности и гигиены труда во время реализации проекта, а вредное воздействие объекта исследования на окружающую среду не превышает норму.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации были изучены SDK дополненной реальности, проведен их сравнительный анализ. Многие из них были применены на практике, что позволило более детально изучить их особенности и различия.

Сегодня имеется информационная система по управлению объектами дополненной реальности и реализован базовый функционал по управлению лабораторными работами. С помощью веб приложения пользователь может выбрать изображение или пространственную карту в качестве цели дополненной реальности, и расположить относительно нее виртуальные объекты: изображения, видео, текст, ссылки и объемные модели. А используя Android приложение, пользователь осуществляет поиск добавленных в систему целей, и при их обнаружении загружаются и выводятся зависимые от нее виртуальные объекты. Такой функционал уже позволяет организовать простой сценарий подготовки к лабораторной работе или учебному занятию.

Работа над системой продолжается:

- В Android приложение добавляется возможность компоновки виртуальных объектов при создании пространственных карт, предоставляя функционал, аналогичный в веб-приложении.
- В веб-приложение при компоновке виртуальных объектов реализуется выделение и обработка нескольких объектов одновременно с возможностью ввода значений их позиции, углов вращения и масштаба через пользовательский интерфейс.

CONCLUSION

In master's thesis the analytical analysis SDK of augmented reality was conducted. Every AR SDK has unique features and determines the functionality of the application.

Today the information system offers extensive functionality for managing of augmented reality objects and the common functionality for managing of laboratory work. Using a web application, a user can select an image or spatial map as the target of augmented reality, and locate virtual objects relative to target. The virtual objects include: images, video, text, links and 3D models.

Using the Android application, a user searches for AR-targets. When AR-target is detected, virtual objects will be downloaded and rendered on display of device.

The current functionality allows to organize a simple scene of preparation for laboratory work

The system is developing. Will be added the next features:

- Managing of virtual objects and saving of the result to server in Android application.
- Input data for the position, rotation and scale for the virtual objects using UI in web application.

Список источников

1. Все, что нужно знать про VR/AR-технологии [Электронный ресурс] rusbase. URL: <https://rb.ru/story/vsyo-o-vr-ar/> Дата обращения: 20.05.2020.
2. Смешанная реальность: к чему приведёт объединение виртуальных и дополненных миров? [Электронный ресурс] Моноклер. URL: <https://monocler.ru/smeshannaya-realnost/> Дата обращения: 20.05.2020.
3. Рынок VR/AR: что было в 2019 году и чего ждать от 2020-го [Электронный ресурс] vc.ru. URL: <https://vc.ru/future/99226-rynok-vr-ar-cto-bylo-v-2019-godu-i-chego-zhdet-ot-2020-go> Дата обращения: 20.05.2020.
4. Виртуальная и дополненная реальность для российской экономики [Электронный ресурс] cnews. URL: https://www.cnews.ru/articles/2019-12-15_virtualnaya_i_dopolnennaya_realnost Дата обращения: 20.05.2020.
5. Цифровые технологии в Российских компаниях [Электронный ресурс] KPMG. URL: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2019/01/ru-ru-digital-technologies-in-russian-companies.pdf> Дата обращения: 20.05.2020.
6. AR в промышленном производстве: что нужно знать о технологии [Электронный ресурс] ModiumLab. URL: <https://medium.com/modium-lab/ar-v-promyshlennom-proizvodstve-cto-nuzhno-znat-o-tekhnologii-1d6bdc41982> Дата обращения: 20.05.2020.
7. VR/AR в детском образовании: зачем технологии нужны школам? [Электронный ресурс] ModiumLab. URL: <https://medium.com/modium-lab/vr-ar-v-detskom-obrazovanii-zachem-tekhnologii-nuzhny-shkolam-803b06245eeb> Дата обращения: 20.05.2020.
8. Влияние дополненной реальности на мозг — Layered [Электронный ресурс] Holographica. URL: <https://holographica.space/articles/layered-16753> Дата обращения: 20.05.2020.
9. VR-тренажер: для нефтегазовой отрасли [Электронный ресурс] DreamPort. URL: <https://dreamport.pro/project/vr-gas-oil-and-water-shows/> Дата обращения: 20.05.2020.

10. Vuforia Studio [Электронный ресурс] PTC. URL: <https://www.ptc.com/ru/products/augmented-reality/vuforia-studio> Дата обращения: 20.05.2020.
11. Wikitude Studio [Электронный ресурс] Wikitude. URL: <https://www.wikitude.com/products/studio/> Дата обращения: 20.05.2020.
12. Основатель DEVAR представил сервис MyWebAR для создания веб-контента дополненной реальности [Электронный ресурс] Holographica. URL: <https://holographica.space/news/mywebar-23493> Дата обращения: 20.05.2020.
13. Дополненная реальность в браузере [Электронный ресурс] MyWebAR. URL: <https://mywebar.com/> Дата обращения: 20.05.2020.
14. Системы виртуальной реальности ClassVR [Электронный ресурс] Polymedia. URL: <https://www.polymedia.ru/oborudovanie/virtualnaya-realnost/classvr/> Дата обращения: 20.05.2020.
15. ClassVR [Электронный ресурс] ClassVR. URL: <https://www.classvr.com/> Дата обращения: 20.05.2020.
16. Инструментальная платформа для разработки VR/AR-курсов [Электронный ресурс] Физикон. URL: <https://physicon.ru/key-projects/vr-ar-platforma> Дата обращения: 20.05.2020.
17. A Guide to Augmented Reality [Электронный ресурс] Augbrite. URL: <https://augbrite.com/blog/a-guide-to-augmented-reality/> Дата обращения: 20.05.2020.
18. SLAM [Электронный ресурс] Robocraft. URL: <http://robocraft.ru/blog/technology/724.html> Дата обращения: 20.05.2020.
19. Share AR Experiences with Cloud Anchors [Электронный ресурс] Google ARCore. URL: <https://developers.google.com/ar/develop/java/cloud-anchors/overview-android> Дата обращения: 20.05.2020.
20. How is ARCore better than ARKit? Anchors [Электронный ресурс] Medium URL: <https://medium.com/6d-ai/how-is-arcore-better-than-arkit-5223e6b3e79d> Дата обращения: 20.05.2020.

21. ARKit [Электронный ресурс] Apple URL: <https://developer.apple.com/augmented-reality/> Дата обращения: 20.05.2020.
22. AR Foundation [Электронный ресурс] Unity URL: <https://unity.com/ru/unity/features/arfoundation/> Дата обращения: 20.05.2020.
23. 8th Wall [Электронный ресурс] 8th Wall. URL: <https://www.8thwall.com/> Дата обращения: 20.05.2020.
24. Vuforia Development Portal [Электронный ресурс] PTC. URL: <https://developer.vuforia.com/> Дата обращения: 20.05.2020.
25. EasyAR Developer Center [Электронный ресурс] EasyAR. URL: <https://www.easyar.com/view/support.html> Дата обращения: 20.05.2020.
26. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) // Собрание законодательства РФ. – 2002. – № 1 (ч. 1).
27. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
28. СанПиН 2.2.2.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ.
29. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
30. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
31. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
32. Безопасность жизнедеятельности. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 20 с.

33. Пособие к МГСН 2.06-99 Расчет и проектирование искусственного освещения помещений общественных зданий
34. ГОСТ 17.4.3.04-85 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения»
35. ППБ 01-03 Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Chapter 2 Review SDK of Augmented Reality

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ВМ81	Пономарев Игорь Владиславович		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Кочегурова Е. А.	к.т.н., доцент		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Т. В.	к.п.н.		

7. Review of AR SDK

The augmented reality (AR) SDK determines the functionality of the application. The developer should know the features of each of them and be able to choose the right one depending on the requirements of the project.

This section includes a description of AR object tracking and recognition technologies and an analytical review of AR SDK.

7.1 The tracking technologies of AR targets

The common algorithm of AR creation can be described by next steps:

1. The optical scanner (camera) of the device reads (scans) the image of a real item.
2. Special software performs identification and examination of the received image.
3. Chooses and computes the visible add-on correlating with image.
4. Combines the real image with augmented part and shows the final image on the visualization device.

Figure 1 shows this algorithm.

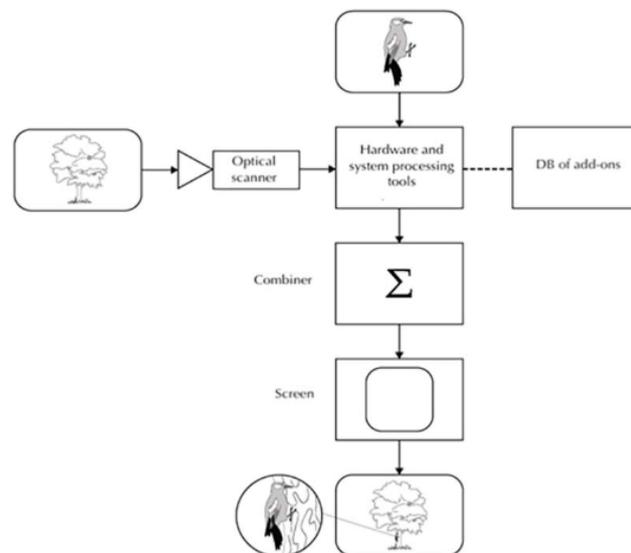


Figure 1. The common algorithm of AR creation

7.1.1 Image Tracking

Image tracking is a technology that tracks and recognizes images, photos, illustrations and QR-markers. All AR SDK provides it. When the image is recognized, the virtual object will complement it. This technology does not require powerful computing and is available to all modern smartphones.

The quality of the image that is being used as an AR target is very important. Important aspects are the contrast, number of lines, texture changes etc. The quality of the image depends on the number of key points that are found when pre-processing the image. The more visual details an image has, the better it is going to work. The image tracking example is shown in Figure 2.



Figure 2. Image tracking example

7.1.2 Object Tracking

Object tracking is a technology that tracks and recognizes real objects. This technology requires a high-quality 3D model of a real object, that is created by software for computer graphics, CAD or 3D scanning. Figure 3 shows the scanning and recognizing of toy car.



Figure 3. The object tracking example

7.1.3 Instant Tracking

Instant Tracking is a technology which allows for AR applications to overlay interactive digital content onto physical surfaces without requiring the use of a preload image. Figure 4 shows a recognition of horizontal surface and rendering of virtual object for it.



Figure 4. Instant Tracking Example

7.1.4 VSLAM

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) - is a technology to recognize a surrounding environment that can construct or update a map of an unknown environment while simultaneously keeping track of an agent's location within it. SLAM algorithms are employed in self-driving cars, unmanned aerial vehicles, autonomous underwater vehicles, planetary rovers, robots and even inside the human body.

Visual SLAM is a specific type of SLAM system that uses 3D vision to perform location and mapping functions. Visual SLAM technology comes in different forms, but the overall concept functions the same way in all visual SLAM systems.

Visual SLAM makes it possible for AR applications to recognize real objects and scenes, as well as to instantly track the world, and to overlay digital interactive augmentations.

The SLAM example in AR is presented in Figure 5. This result of SLAM was created using SDK EasyAR which will be described in this section below.

There are AR SDKs and tools which recognizes hand-written and printed text, a face, parts of face, emotions, track the movement of the body and hands, and complement the recognized elements with virtual objects. Such AR SDKs include Spark AR, Lens Studio, Banuba AR, DeepAR, Xzing and others. But in this work, they are not described, because the developed system does not require this functionality.



Figure 5. The map generating in Easy AR

7.2 AR SDK

This section includes analytical review of AR SDK, their advantages and disadvantages are described. Most of the AR SDK were reviewed in practice.

7.2.1 ARCore

ARCore is AR SDK from Google. ARCore allows for smartphone to sense its environment, understand the world and interact with information.

ARCore uses next key capabilities to integrate virtual content with the real world as seen through a smartphone's camera:

- Motion tracking allows the smartphone to understand and track its position relative to the world. It is VSLAM implementation.
- Environmental understanding allows the smartphone to detect the size and location of all type of surfaces: horizontal, vertical and angled surfaces like the ground, a coffee table or walls. ARCore can also determine each plane's boundary and make that information available to app.
- Light estimation allows the smartphone to estimate the environment's current lighting conditions.

When a phone moves through the world, ARCore uses SLAM, to understand where the phone is relative to the world around it. ARCore detects visually distinct features in the captured camera image called feature points and uses these points to compute its change in location. The visual information is combined with inertial measurements from the device's IMU to estimate the pose (position and orientation) of the camera relative to the world over time.

ARCore can recognize images. Images can be compiled offline to create an image database, or individual images can be added in real time from the device. Once registered, ARCore will detect these images, the images' boundaries, and return a corresponding. Also ARCore can recognize a face and a body of human.

Poses can change as ARCore improves its understanding of its own position and its environment. When user wants to place a virtual object, he needs to define an «Anchor» to ensure that ARCore tracks the object's position over time. Often times create an anchor based on the pose returned by a hit test, as described in user interaction.

The fact that poses can change means that ARCore may update the position of environmental objects like planes and feature points over time. Planes and points are a special type of object called a trackable. Like the name suggests, these are objects that ARCore will track over time. To use anchor virtual objects to specific trackables to ensure that the relationship between your virtual object and the trackable remains stable even as the device moves around. This means that if place a virtual object on a desk, if ARCore later adjusts the pose of the plane associated with the desk, the virtual object will still appear to stay on top of the table. Information about the anchor and virtual object is stored 24 hours in ARCore Anchor Cloud. After it will be deleted.

ARCore is an excellent AR SDK, and building of spatial map is stable and impressive. Many AR SDK developers removed their own SLAM algorithms and integrated ARCore. But this solution has a disadvantage. ARCore requires Google certification devices and installing Google Play Services. For example, the last

models Huawei (Mate 30 Pro, P40 Lite, P40 Pro and other) have not preinstall Google Play Service, so ARCore is not available for their.

ARCore is free and available on Android, iOS, Unity and Unreal Engine.

Figure 6 shows an example of the application with Google's ARCore. The application is useful for developers, it demonstrates good practices for adding virtual objects and an interface to the real world.



Figure 6. Google app with ARCore

7.2.2 ARKit

ARKit - is AR SDK from Apple. It has similar functionality, but ARKit is only available for iOS.

7.2.3 ARFoundation

AR Foundation is AR SDK that allows to work with augmented AR platforms in a multi-platform way within Unity.

AR Foundation includes core features from ARKit, ARCore, Magic Leap, and HoloLens, as well as unique Unity features to build robust apps that are ready to ship to internal stakeholders or on any app store. This framework enables you to take advantage of all of these features in a unified workflow.

AR Foundation is a set of MonoBehaviours and APIs for dealing with devices that support following concepts:

- World tracking: track the device's position and orientation in physical space (SLAM).
- Plane detection: detect horizontal and vertical surfaces.

- Point clouds, also known as feature points.
- Reference points: an arbitrary position and orientation that the device tracks.
- Light estimation: estimates for average color temperature and brightness in physical space.
- Environment probes: a means for generating a cube map to represent a particular area of the physical environment.
- Face tracking: detect and track human faces.
- Image tracking: detect and track 2D images.
- Object tracking: detect 3D objects

7.2.4 8th Wall

8th Wall is Web AR SDK that implemented by JS and WebGL. It powers World Tracking, Face Effects and Image Target AR experiences on the web.

8th Wall supports all mobile browser. SDK includes develop AR projects using fully featured cloud Editor. Cloud-based text editor includes auto-complete, an asset viewer, developer keybindings and support for popular frameworks such as React and Vue.js. This SDK requires working experience with WebGL and such 3D JS frameworks as A-Frame, Babylon.js, three.js.

The example of application in web with 8th Wall is presented in Figure 7.

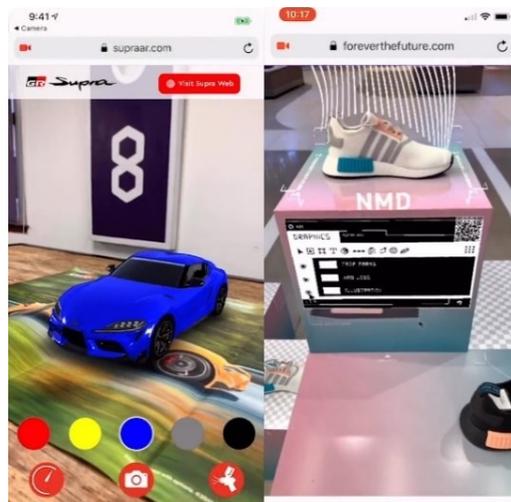


Figure 7. Application of 8th Wall

7.2.5 Wikitude

Wikitude is a mobile AR technology provider. Wikitude was founded in 2008. It has all features listed above. Wikitude saved own SLAM and added ARCore. Developer can choose a desired SLAM variant.

Cloud Recognition is the online recognition solution for large-scale augmented reality projects. The Wikitude SDK includes on-device or offline recognition, meaning, app has the ability to recognize up to 1,000 images without a network connection. When AR projects surpass that number, cloud-based image tracking service offers target collection storage of up to 100.000 thousand images by default.

Wikitude allows to manage camera using Camera API. A user can set resolution and switch between front and back cameras.

Wikitude is available on Android, iOS, Windows, Unity. It has a good documentation for every platform. Development for a specific platform without Unity is convenient. For example, implementing of a simple Android application for tracking images and overlaying simple objects of augmented reality does not cause problems.

The disadvantage of this SDK is high cost of license, that is equal to 2490/2990/4490€.

Wikitude has support tools for controls AR objects. Wikitude Studio is an easy “drag and drop” tool, making it possible to add, delete, edit and maintain target images, objects, and scenes more efficiently. Figure 8 shows an interface of this tool.



Figure 8. Wikitude Studio

7.2.6 Vuforia

Vuforia is AR big brand like the Wikitude. Vuforia was founded 2008. It has all features listed above with some difference.

Vuforia splits the recognition of standard images and QR-images. The QR-images are called VuMark and have a separate cloud database. The VuMarks can present millions of uniquely identifiable instances.

VuMark designs can be created in Adobe Illustrator using the VuMark Designer tool. There are a few basic rules for designing VuMarks that are explained in the VuMark Design Guide. Design Elements VuMarks have five primary design components that contribute to their uniqueness, detectability, and data encoding capabilities. The example of VuMark is shown in Figure 9.

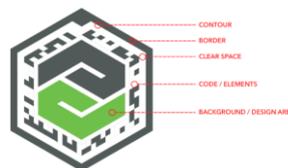


Figure 9. VuMark

Vuforia has the next tools:

- Vuforia Studio is tool like Wikitude. Vuforia Studio can transform existing CAD and IoT data into detailed AR experiences that provide information to workers when and where they need it most.
- Vuforia Chalk is tool for AR remote assistance. It brings technicians and experts together to solve problems faster and more effectively. Vuforia Chalk makes it easy when troubleshooting or expert guidance is needed for situations not covered in training or service manuals.

Vuforia removed own SLAM implementation and uses ARCore.

Vuforia is available on Android, iOS, Windows, Unity. There was a collaboration between Unity and Vuforia until 2019. Now the main AR framework in Unity is ARFoundation, but Vuforia is loaded by separate plugin.

The cost of cloud image recognition is equal to 99 \$/month.

7.2.7 EasyAR

EasyAR is modern AR SDK, which can compete with Vuforia and Wikitude.

EasyAR is available on Android, iOS, Windows, Unity. The implementation of a simple Android application does not cause problems.

EasyAR saved own SLAM and added ARCore.

EasyAR is developing rapidly and gaining popularity. The main advantage of this SDK is possibility to save not only images, but also spatial map to the cloud database. This feature has appeared recently (December, 2019). A saved map can be used for object recognition, navigation and remoting control AR objects.

When building Spatial map, try to make translational motion relative to the scanned environment. Do not need to deliberately hold device still, walk around the environment.

For successfully saving of spatial map to the cloud a user should follow the next rules:

- Build in static area with rich visual features.
- Do not build in textureless areas such as white walls.
- Do not build in areas with many reflective materials such as mirrors.
- Do not build in areas with many repetitive textures.

The illumination when performing localization should be similar to the illumination when building the map. For example, performing localization during night using the map built during the day will hardly succeed.

EasyAR uses Sparse Spatial Map and Dense Spatial Map.

Sparse Spatial Map can be saved or shared among different devices in real-time. When other devices revisit the same space, they can obtain their pose with regard to the map accurately. This enables developers to build persistent AR experience as well as multi-player AR experience.

Currently Sparse Spatial Map requires metric 6 DOF motion tracking module (eg. EasyAR Motion Tracking, ARKit, ARCore) to provide poses. During map building process, the Sparse Spatial Map uses the input pose as well as camera images to build metric-scale visual map. During localization process, once the visual localization succeeds, the relative pose between the device and the map is continuously tracked by motion tracking module.

DenseSpatialMap generates 3D mesh of the environment by performing 3D reconstruction using RGB input. The mesh created by DenseSpatialMap makes virtual objects interact seamlessly with the physical world. The example of DenseSpatialMap is shown in figure 5.

EasyAR allows to control camera. The map building can be combined with screen recording. This method is useful for remote working with a map.

7.2.8 Conclusion

All AR SDK can track and recognize images. The developed system stores a large number of images, so cloud image recognition is required. Unfortunately, ARCore and ARFoundation do not provide a similar service.

8th Wall offers hosting and cloud recognition by default, because this SDK is used for web. But 8th Wall doesn't offer split mode for image tracking and world tracking (SLAM). A camera of device uses lower resolution to increase productivity.

Wikitude, Vuforia and EasyAR are powerful SDKs that combine the best solutions. Wikitude and Vuforia have long been on the market, and have consumers. These SDKs have additional tools that can help create augmented reality content.

Easy AR is a new SDK, but has equal functionality and usability.

All three SDKs have cloud recognition and extended image tracking. The extended Tracking is the concept that a target's pose information will be available even when the image target is no longer in the field of view of the camera or cannot directly be tracked for other reasons.

Vuforia offers only ARCore for SLAM and limits devices without Google services.

All three SDKs have split and combined modes for working with image tracking and world tracking. A camera of device use FullHD resolution in image tracking mode.

The storing and working with spatial map in the cloud is a main advantage of EasyAR. For developed system will be used EasyAR SDK.

The results of analytical review of AR SDK are presented in Table 1.

Table 1. The results of analytical review of AR SDK

	8th Wall	ARCore	ARFoundation	Wikitude	Vuforia	EasyAR
Platform	Web	Android, iOS, Windows, Unity, Unreal	Unity	Android, iOS, Windows, Unity	Android, iOS, Windows, Unity	Android, iOS, Windows, Unity
Face Tracking	+	+	+	-	-	-
Body and Hand Tracking	-	+	+	-	-	-
Split mode for Image and World Tracking	-	-	-	+	+	+
Cloud Image Recognition	+	-	-	+	+	+
Cloud Spatial Map Recognition	-	- / +	-	-	-	+
Price of base license	99 \$/mon.	-	-	2490 €	99 \$/mon.	99 \$/mon.