

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

На правах рукописи

УДК 004.8

Кугуракова Влада Владимировна

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ТРЕНАЖЕРОВ С ПОГРУЖЕНИЕМ
В ИММЕРСИВНЫЕ ВИРТУАЛЬНЫЕ СРЕДЫ**

Специальность 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
профессор, заслуженный деятель науки Республики Татарстан,
Елизаров Александр Михайлович

Казань – 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ И ТРЕНАЖЁРЫ	19
1.1 Виртуальная реальность	19
1.2 Обзор существующих решений среди виртуальных тренажеров	24
1.3 Типы и свойства виртуальной реальности	30
1.4 Иммерсивность виртуальных сред	32
1.5 Новейшие иммерсивные устройства	38
Выводы	39
ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРЕНАЖЁРОВ С ИММЕРСИВНЫМИ ОБУЧАЮЩИМИ СРЕДАМИ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ	41
2.1 Модель конструктора сценариев виртуальных лабораторий	41
2.2 Модель обучения в виртуальной лаборатории	60
2.3 Принципы вовлеченности	62
2.4 Модель тренажера с использованием виртуальной реальности	64
2.5 Модель операции оценки качества виртуального тренажера	67
2.6 Определение эмоционального состояния оператора	69
2.7 Прогнозирование уровней нейромедиаторов для вычисления эмоций пользователя, погруженного в виртуальную среду	74
2.8 Параметры, влияющие на иммерсивность среды	75
Выводы	82
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЁРОВ И ИХ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ	84
3.1 Принципы разработки автоматизированной системы	84
3.1.1 Методология разработки автоматизированной системы	85
3.1.2 Технология проектирования автоматизированной системы	89
3.1.3 Выбор среды разработки автоматизированной системы	90
3.2 Функциональная структура автоматизированной системы	92
3.3 Многопользовательский режим	95
3.4 Диаграмма состояний сценария	96
3.5 Диаграмма прецедентов сценария	96
3.6 Диаграмма прецедентов тренинга	97
Выводы	98

ГЛАВА 4. АПРОБАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЁРОВ И ИХ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ	99
4.1 Виртуальная биотехнологическая лаборатория	99
4.1.1 Применение методики создания виртуальной лаборатории	99
4.1.1.1 Основные механики	99
4.1.1.2 Виртуальное окружение	101
4.1.1.3 Звуковое сопровождение	105
4.1.1.4 Сценарий виртуального эксперимента	108
4.1.2 Применение методики обучения в виртуальной лаборатории	108
4.2 Виртуальный полигон осмотра места происшествия	109
4.2.1 Применение методики создания виртуального полигона	109
4.2.2 Применение методики обучения в виртуальном полигоне	110
4.3 Виртуальная хирургическая операционная	111
4.3.1 Применение методики создания виртуальной операционной	112
4.3.1.1 Основные механики	112
4.3.1.2 Виртуальное окружение	114
4.3.1.3 Звуковое сопровождение	115
4.3.2 Применение методики обучения в виртуальной операционной	116
4.3.3 Многопользовательский режим в виртуальной операционной	117
Выводы	117
ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ	118
5.1 Оценка эффективности использования автоматизированной системы	119
5.2 Гомоморфная редукция физических моделей в виртуальные	121
Выводы	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	123
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ, УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, ТЕРМИНОВ	125
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ	126
СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ	147
СПИСОК ТАБЛИЦ	150
ПРИЛОЖЕНИЯ	151
Приложение А. Акты об апробации, акты о внедрении, дипломы	151
Приложение В. Копии свидетельств регистрации программ для ЭВМ	156
Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611733	156
Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611797	157

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619724	158
Приложение С. Детальная структура классов	159
Приложение D. Интерактивные 3D объекты	160
Приложение D.1. Объекты виртуальной биотехнологической лаборатории	160
Приложение D.2. Объекты виртуального осмотра места происшествия	163
Приложение D.3. Объекты виртуальной хирургической операционной	164
Приложение E. Иллюстрации виртуальных тренажёров	165
Приложение E.1. Виртуальный полигон осмотра места происшествия	165
Приложение E.2. Виртуальная хирургическая операционная	166
Приложение F. Сценарии виртуальных тренажёров	167
Приложение F.1. Протокол прохождения эксперимента ИФА	167
Приложение F.2. Части сценария ИФА (в списочном представлении)	169
Приложение F.3. Сценарий аппендэктомии в виртуальной операционной	174
Приложение F.4. Концепция VR-полигона осмотра места происшествия	181

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования определяется общим вызовом общества к разработке новых подходов в проектировании эффективных систем профессиональной подготовки высококвалифицированных специалистов, готовых к деятельности со сложным оборудованием или в сложных средах [11; 40; 44; 51]. Использование для такой подготовки иммерсивных виртуальных сред [32], построенных на основе редукции исходных моделей физических систем до гомоморфных им виртуальных моделей [9; 10; 45], обеспечивает эффективное профессиональное обучение [21; 42]. Включение многоролевых взаимодействий в виртуальной среде повышает степень соответствия реальным технологическим процессам и коллективной работе. Технологический прорыв в области развития алгоритмов визуализации, программного обеспечения для моделирования 3D-объектов, игровых движков для программирования их полимодального поведения, а также появление новых устройств обратной связи позволяют создавать искусственные среды, не отличимые от физической реальности по своему воздействию на органы чувств человека. Успешное развитие новых концепций эргономики иммерсивных сред [61] и использование инженерной психологии, базирующейся на адекватной интерпретации биосигналов человека, находящегося в обучающей среде [112], дают возможность организации эффективных эргатических систем, где обязательным субъектом являются оператор или коллектив из группы людей.

Эффективность обучения и приобретения обучающимися практических навыков в рамках учебного процесса с использованием виртуальных тренажеров, которые могут предложить любые сложные, недоступные или дорогостоящие в реальной жизни оборудование и материалы, неограниченное время для попыток и осознания исследуемых процессов, без опасности для жизни – неоспорима.

На данный момент времени уже разработано много эффективных аппаратно-программных тренажёрных комплексов, например, авиационные тренажёры от

ОАО «Корпорация «Аэрокосмическое оборудование»» (Санкт-Петербург) [49], совместная разработка хирургов университетской клиники Гётеборга, компании Сёджелиал Сайенс (Швеция) и Иммершн (США) – виртуальный симулятор для обучения эндохирургии “LapSim” [170], автомобильные тренажёры (см., например, [5]), тренажерные системы “LabView” [24], тренажёры финской фирмы PONSSE для обучения будущих операторов работе с основными функциями лесозаготовительной машины [134], тренажёр виртуальной реальности для обучения вождению боевой техники “Military Vehicle Simulator” (французской компании ECA Group) [172], многопользовательский VR-тренажер экипажей субмарин для Королевского военно-морского флота, представляющий собой детально воссозданный интерьер субмарины с работающими дисплеями и приборами для тренировки и отработки действий во внештатных ситуациях без подвергания риску жизни экипажа [169] и т. д., как видно из представленных примеров, – очень широка сфера их применения.

Важным фактором востребованности виртуальных тренажеров является способ их создания, что, в свою очередь, порождает задачу формирования особой среды для их быстрого проектирования, главным образом экспертами конкретной предметной области, не имеющими глубоких навыков программирования.

Важную роль играют границы контакта человека с искусственным миром, обеспечивающие включение и погружение в его содержание, дающие возможность эффективного и безопасного взаимодействия с ним.

Когда речь идет о многопользовательском человеко-машинном интерфейсе, возникают новые аспекты взаимодействия участников в процессе управления – поэтому важно учитывать при проектировании виртуальных тренажеров как будет функционировать многопользовательский режим, как выстроить процесс обучения с учётом разных ролей, тренировки слаженной работы коллектива в целом.

В соответствии с представленными тенденциями в настоящей работе описана разработанная автоматизированная система, состоящая из нескольких подсистем:

- 1) подсистемы создания виртуальных тренажеров, использующих виртуальную реальность;
- 2) подсистемы воспроизведения виртуальных тренажеров с погружением в иммерсивную виртуальную среду;
- 3) подсистемы снятия биосигналов человека, погруженного в обучающую среду, – предложен способ интерпретации этих биосигналов для оценки степени иммерсивности созданной виртуальной среды и оценки вовлеченности в процесс обучения.

Целью диссертационной работы является создание математического и программного обеспечения автоматизированной системы (АС) проектирования и воспроизведения интерактивных многопользовательских тренажеров с погружением в виртуальные иммерсивные среды. Такая АС обеспечит повышение эффективности создания новых иммерсивных тренажеров для профессиональной подготовки специалистов, включая снижение сроков разработки, качественную оценку иммерсивности созданных виртуальных сред, оценку степени погружения пользователей и вовлеченности их в процесс обучения и, как следствие, снижение трудовых и финансовых затрат.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие **задачи**:

1. исследовать предметную область, связанную с разработкой и применением виртуальных тренажеров с использованием виртуальной реальности, для определения потребности в создании автоматизированной системы создания и воспроизведения виртуальных тренажеров, а также формирования ключевых требований к ней;

2. построить модель интерактивного виртуального тренажера, сформировав методики его создания и обучения в нём;
3. разработать автоматизированную систему создания и воспроизведения виртуальных тренажеров;
4. предложить интерпретацию биосигналов человека, погруженного в виртуальную среду, оценку степени её иммерсивности и оценку уровня вовлеченности пользователя в процесс обучения.

Объект исследования – виртуальные тренажеры.

Предмет исследования – процессы создания и воспроизведения виртуальных тренажеров.

Методы исследования. В диссертации использованы методы системного анализа, объектно-ориентированного проектирования программных систем, компьютерного моделирования, а также технологии искусственного интеллекта и логического программирования, программирования в ограничениях; специальные методы (3D-моделирование); экспериментальные методы (метод наблюдений, проведение экспериментов).

Теоретической и методологической основой диссертационной работы являются разработки отечественных и зарубежных ученых в области гомоморфных преобразований, философии виртуальной реальности, нейробиологии, программной инженерии и инженерной психологии.

Научная новизна диссертационной работы состоит в решении следующих научных и технологических задач:

- разработана модель виртуального тренажера, позволяющая описывать сценарии действий в различных предметных областях в структурированной форме, удобной для автогенерации виртуальных тренажеров;
- предложен подход к созданию многоролевых взаимодействий в виртуальной реальности для обучения решению проблем, требующих ситуаци-

онного управления в коллективе;

- спроектирован, разработан и внедрен инструментарий для создания многоцелевых многопользовательских обучающих тренажеров с использованием виртуальной реальности.

Для эффективного создания виртуальных тренажеров и обучения с их использованием:

- разработана и апробирована методика, позволяющая создавать виртуальные тренажеры на основе проектирования сценариев без участия технических специалистов;
- апробирована методика обучения с использованием виртуальных тренажеров, позволяющих заменить реальные физические объекты и системы гомоморфными виртуальными;
- спроектирована и разработана подсистема для снятия и интерпретации биосигналов человека, погруженного в иммерсивную виртуальную обучающую среду;
- проведено анкетирование на тестовой группе для оценки релевантности полученных результатов.

На основе решенных технологических задач созданы комплексы:

- для обучения основам биотехнологических анализов в виртуальной реальности;
- для обучения проведению хирургических операций в виртуальной реальности;
- для проведения криминалистических осмотров мест происшествия в виртуальной реальности.

Предложены подходы к интерпретации поведения пользователя, находящегося в виртуальной среде, при оценке:

- бионейросигналов человека, погруженного в иммерсивную виртуальную

обучающую среду;

- степени иммерсивности виртуальной обучающей среды для конкретных пользователей;
- вовлеченности в процесс обучения пользователя, находящегося в иммерсивной виртуальной среде.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Созданная модель описания виртуального тренажера;
2. Разработанная автоматизированная система создания виртуальных тренажеров;
3. Разработанная система снятия и интерпретации биосигналов человека, находящегося в виртуальной среде;
4. Результаты апробации использования автоматизированной системы создания обучающих тренажеров в выбранных областях знаний.

Практическая значимость и реализация результатов работы. Автоматизированная система создания и воспроизведения обучающих тренажеров в виртуальной реальности, разработанная в рамках диссертации, имеет значимый практический характер, позволяя специалисту конкретной предметной области, не имеющему специальных навыков программирования, самостоятельно конструировать сценарии по специализированным учебным темам в рамках созданной виртуальной среды. Идея работы вызвана желанием ответить на вызов общества использовать виртуальные среды, созданные, в том числе, методами гомоморфной редукции, для профессионального обучения с последующей интерпретацией реакций пользователей, погруженных в виртуальные обучающие среды, и, как следствие, необходимостью быстрого создания таких высокореалистичных миров с высокой степенью погружения в них.

Автоматизированная система создания и воспроизведения виртуальных тренажеров внесена в Реестр программ для ЭВМ в Федеральной службе по интеллек-

туальной собственности, патентам и товарным знакам [56–58]. Эта АС прошла апробацию в учебном процессе Казанского (Приволжского) федерального университета (далее КФУ) [36] (см. Приложение А).

Разработанная автоматизированная система может использоваться преподавателями общеобразовательных, средних специальных и высших учебных заведений для разработки и создания виртуальных лабораторий с использованием погружения в виртуальную реальность. Система может быть полезной для подготовки учебных курсов с высокой степенью погружения в виртуальные среды как для высших образовательных, так и для средних специальных профессиональных заведений, а также учебных центров повышения квалификации сотрудников промышленных организаций.

По материалам работы диссертантом получены дипломы программы “УМНИК” Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, Инвестиционного фонда Республики Татарстан (ИВФ РТ) и Фонда развития интернет-инициатив (ФРИИ).

Теоретические и экспериментальные данные, полученные при выполнении диссертационной работы, используются для выполнения государственного задания КФУ в сфере научной деятельности (проекты “Развитие моторных навыков с помощью интерфейсов обратной связи в виртуальной реальности” № 0211/02.11.10122.001; “Экосистема Ontomath как составляющая всемирной цифровой математической библиотеки“ № 1.2368.2017/ПЧ), которое реализуется в рамках участия подведомственных образовательных организаций в реализации Национальной технологической инициативы.

Обоснованность и достоверность полученных научных и практических результатов диссертации, разработанных подходов и рекомендаций базируются на корректной постановке общих и частных рассмотренных задач, использовании известных фундаментальных теоретических положений, достаточном для стати-

стической обработки объёме данных с необходимым количеством повторных испытаний; сопоставлением результатов, полученных разными методами, и экспериментальной проверкой создания виртуальных тренажеров различными пользователями.

Таблица 1 – Сопоставление направлений исследований, предусмотренных специальностью 05.13.11, и результатов, полученных в диссертации

Направление исследования	Результат работы
Языки программирования и системы программирования, семантика программ.	Разработана семантическая модель организации хранения сценариев обучающих тренажёров.
Системы управления базами данных и знаний.	Разработана система хранения сценариев, которая была испытана на разных реализациях обучающих тренажёров.
Человеко-машинные интерфейсы; модели, методы, алгоритмы и программные средства машинной графики, визуализации, обработки изображений, систем виртуальной реальности, мультимедийного общения.	Разработана система воспроизведения обучающих тренажёров с использованием виртуальной реальности.
	Разработаны человеко-машинные интерфейсы для комфортного погружения в виртуальную среду.
Модели, методы, алгоритмы и программная инфраструктура для организации глобально распределенной обработки данных.	Разработаны методы для создания многопользовательских тренажёров с использованием в виртуальной реальности.
Оценка качества, стандартизация и сопровождение программных систем.	Разработаны методы интерпретирования биосигналов человека для оценки степени погружения и вовлеченности в процесс обучения в виртуальных тренажёрах.

Исследования, проведенные в диссертации, соответствуют паспорту специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, сопоставление приведено в таблице 1.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены и доложены на научных, научно-практических конференциях и семинарах: международной научно-практической конференции “Эффективное управление устойчивым развитием территорий” в 2013 году; 7-ой международной конференции биоинспирированных когнитивных архитектур (ВІСА) в 2016 году; IV международной научно-практической конференции “Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: Интеллектуальные транспортные системы” в 2016 году; Итоговых научных конференциях КФУ 2016 и 2017 годов; 5-ой национальной выставке технических и технологических достижений науки ВУЗПРОМЭКСПО в 2017 году; международной научной конференции по развитию в области инжиниринга электронных систем (DeSE) в 2017 году; 22-ой и 23-ей международных научных конференциях искусственной жизни и робототехники (ICAROB) в 2017 и 2018 годах; научном семинаре в Института RIKEN (Япония) в 2018 году; саммите передовых научных исследований THE – Research Excellence Summit: Eurasia в 2018 году; 16-ой международной конференции дизайна и тестирования (EWDTS) в 2018 году; 52-ой международной конференции европейского сообщества клинических исследований (ESCI) в 2018 году; XX Всероссийской научной конференции “Научный сервис в сети Интернет” в 2018 году.

Практическая апробация результатов работы осуществлена в нескольких коммерческих, промышленных (“Зарница” [41], GDC [99]) и образовательных организациях (в КФУ – для создания обучающих тренажеров с погружением в виртуальную реальность с целью получения долабораторного опыта по курсу “Методы анализа, применимые в биотехнологических лабораториях”; для создания обу-

чающих тренажеров с погружением в виртуальную реальность с целью получения навыков по базовым хирургическим операциям; для подготовки студентов следственной практике с использованием обучающих полигонов с погружением в виртуальную реальность [36]), а также в ряде строительных компаний (“Уни-Строй” [67]) для увеличения конверсии продаж апартаментов строящихся зданий за счёт высокореалистичного погружения с выбором различных интерьерных решений.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ [1; 2; 7; 17; 18; 43; 47; 54; 71; 81; 110–116; 150; 159; 167], которые отражают основные положения диссертации, в том числе 12 статей [18; 81; 110–116; 150; 159; 167], входящих в Перечень рецензируемых научных журналов ВАК РФ. Статьи [81; 110; 111; 150] проиндексированы в БД Scopus, статьи [81; 110–116; 150; 159; 167] проиндексированы в БД Web of Science; статьи [1; 2; 7; 17; 18; 43; 47; 71] проиндексированы в БД РИНЦ; получены 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ [56–58]; разработанные продукты внедрены в учебный процесс и деятельность компаний-партнёров (представлены 4 акта апробации и внедрения). В работе [111] В.В. Кугуракова обосновала необходимость нейробиологического правдоподобия на основе проанализированных М.О. Талановым высокореалистичных когнитивных архитектур и, как следствие, требование учёта биологической природы при интерпретации биосигналов человека, помещенного в виртуальные среды. Продолжение этих идей нашло отражение в статье [112], где В.В. Кугураковой на основе куба эмоций Лёвхейма предложена интерпретация реакций человека, погруженного в виртуальную среду, а К.Р. Аязгуловой проведён обзор подходов к измерению психоэмоционального состояния человека на основе данных ЭЭГ. В статьях [2; 81] А.А. Ризвановым описана идея получения студентами долабораторного опыта в виртуальной биотехнологической лаборатории, В.В. Кугураковой проведён анализ решений, существующих на рынке виртуальных тренажёров, и спро-

ектирована архитектура информационной системы для ее программной реализации, другими соавторами разработаны протокол проведения эксперимента, модели и анимации для трехмерной сцены. В работах [1; 116] В.В. Кугураковой описана концепция конструктора сценариев и представлена первая реализация нодового редактора, также вместе с соавторами ею предложен способ оценки вовлеченности пользователя в процесс обучения. В работах [114; 115] В.В. Кугураковой совместно с соавторами описаны подходы гомоморфной редукции процессов открытых хирургических операций. В работе [54] описана перспектива генерации из классических текстовых сценариев, представленных на натуральном языке, сценариев игровых приложений, Г.Ф. Сахибгареевой описан концепт автоматического создания сценарного прототипа. В трудах конференции [113] В.В. Кугураковой описаны подходы к оценке иммерсивности виртуальных сред и подчеркнута важность использования натуральных интерфейсов для её повышения, в работе [110] предложены новые геймифицированные человеко-машинные интерфейсы в виртуальной реальности для реализации промышленных тренажеров. Подходы к повышению иммерсивности виртуальных сред через проектирование запаховых картин затронуты в статье [7]. В статье [43] В.В. Кугураковой описана реализация многопользовательских обучающих сред в виртуальной реальности. В работе [150] В.В. Кугураковой описаны проблемы разработки перспективных устройств повышения иммерсивности виртуальных сред, предложены решения цифровых перчаток, дающих обратную связь (текстура поверхностей виртуальных предметов, их температура, движение воздуха / пара / жидкостей, точное позиционирование пальцев), М.И. Шигаповым спроектирован конкретный дизайн и определена элементная база для создания цифровых перчаток.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Содержит 187 стр. машинописного текста (включая 37 стр. приложений), 48 ри-

сунков и 5 таблиц. Список источников состоит из 175 наименований, включающих как библиографические описания, так и электронные ресурсы.

В первой главе обоснована актуальность проблемы создания обучающих тренажёров, использующих виртуальную реальность, описаны типы и свойства виртуальной реальности, раскрыто понятие иммерсивности виртуальных сред и приведён обзор устройств для её повышения, а также проведена оценка степени проработанности проблемы получения информации об обратной связи для пользователя, находящегося в виртуальной реальности.

В главе 2 проведён анализ средств создания виртуальных тренажёров, выбраны оптимальная модель конструктора сценариев и критерии и показатели эффективности обучения; предложены метод снятия биосигналов пользователя, находящегося в виртуальной среде, и метод интерпретации этих данных; описаны виртуальные эксперименты, разработанные для проведения испытаний, показывающих субъективный характер иммерсивности виртуальной среды; на основе сделанных выводов предложены подходы к выявлению уровня иммерсивности виртуальной среды, степени вовлеченности пользователя и оценки эффективности его обучения.

В главе 3 рассмотрен автоматизированный подход к созданию многопользовательских обучающих тренажёров с использованием виртуальной реальности, позволяющий включать в команду разработчиков консультантов по конкретной предметной области, не имеющих специальных знаний в информационных технологиях, но выполняющих активную роль в интерактивном описании обучающей виртуальной среды; обосновано использование модели процессов MSF; в нотации UML описаны взаимодействие компонентов системы в ходе создания тренажёра по конкретной предметной области командой специалистов, диаграммы состояний и прецедентов сценария, разработана модель поведения объектов в системе, описаны методы реализации многопользовательского режима.

В четвертой главе на нескольких различных примерах реализации виртуальных тренажеров продемонстрирована работа предложенной автоматизированной системы, а именно, методика создания сценария обучения при помощи конструктора сценариев, отдельные элементы по повышению иммерсивности виртуальной среды, способы контроля знаний после прохождения тренажерного обучения и оценки вовлеченности, реализация многопользовательского режима, проверена работоспособность системы с разными вводными параметрами.

Пятая глава посвящена отдельным аспектам внедрения созданной автоматизированной системы, представлены полученные свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, приведены некоторые результаты внедрений в коммерческих и образовательных организациях, предложен подход к сравнению результатов качественных и количественных затрат при создании виртуальных тренажеров, дана оценка эффективности использования автоматизированной системы, кроме того, показано, что построение гомоморфной виртуальной модели должно сопровождаться нахождением необходимых и достаточных условий для редукции исходных моделей физических систем до гомоморфных им виртуальных моделей.

В заключении дана общая оценка выполненных исследований и сформулированы основные результаты диссертации.

Личный вклад. Автором самостоятельно определены цели и поставлены задачи работы, разработана программа экспериментальных исследований, проведен анализ результатов экспериментальных исследований, разработана архитектура создаваемой автоматизированной системы. Все разработки, выносимые на защиту и описанные в диссертации, получены либо самим автором лично, либо при его непосредственном участии.

Совместно с младшим научным сотрудником Научно-исследовательской лаборатории “SIM” CAE “7P Трансляционная медицина” КФУ М.Р. Хафизовым

автором создана базовая архитектура автоматизированной системы воспроизведения сценариев в виртуальной реальности, с ним же спроектирована работа в многопользовательском режиме.

Общая работа над наполнением комплекса нескольких виртуальных тренажёров, представленных в Главе 4, проводилась совместно с другими сотрудниками Научно-исследовательской лаборатории “SIM” CAE “7P Трансляционная медицина” КФУ: сценарии подготовлены совместно с младшим научным сотрудником В.Д. Абрамовым, трехмерные модели виртуальных сцен разработаны совместно с младшим научным сотрудником Д.И. Костюком. В работе над комплексом приняли участие также студенты бакалавриата и магистратуры Высшей школы информационных технологий и интеллектуальных систем КФУ, выполняющие выпускные квалификационные работы под научным руководством диссертанта.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю, доктору физико-математических наук, профессору, заслуженному деятелю науки Республики Татарстан (РТ) Елизарову Александру Михайловичу и доктору биологических наук, профессору, члену-корреспонденту Академии наук РТ Ризванову Альберту Анатольевичу за содействие и помощь в работе, ценные консультации и плодотворные совместные обсуждения, способствовавшие реализации идей диссертации. Также автор выражает благодарность члену Союза дизайнеров РТ, старшему преподавателю КГАСУ Рябову Николаю Федоровичу за художественную проработку виртуального полигона осмотра места происшествий.

ГЛАВА 1. ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ И ТРЕНАЖЁРЫ

В настоящей главе даны постановка задачи и обзор исследований в области разработки виртуальных тренажеров, в частности, тренажеров, использующих виртуальную реальность, а также проведена оценка степени проработанности проблемы получения информации об обратной связи для пользователя, находящегося в виртуальной реальности.

1.1 Виртуальная реальность

История применения компьютеров для визуализации насчитывает не одно десятилетие, ещё в 1962 году американский математик Ричард Хемминг сформулировал тезис: *“The purpose of computing is insight, not numbers”* [102]. Визуализация стала со временем естественным способом данных, сформировалась как научная дисциплина и с её развитием пришло понимание того что, чем более полно человек может погрузиться в модель исследуемого явления или процесса, чем более естественным аппаратом для манипуляции данными этой модели он пользуется, тем лучше он понимает суть происходящего. Как следствие, появился термин виртуальной реальности (virtual¹ reality, VR) [101] и сформировалось понимание виртуального окружения (virtual environment). Понятие искусственной реальности было впервые [109] введено Майроном Крюгером² в конце 1960-х. В 1989 году Джарон Ланьер³ ввёл более популярный ныне термин “виртуальная реальность”.

Виртуальное окружение основано на создании компьютерных изображений, звуков, а также уже ставших возможными имитаций тактильных, осязательных, температурных, вибрационных ощущений – в основном это так называемые

¹ Термин “виртуальный” происходит от лат. *virtualis* – возможный.

² Майрон Крюгер (англ. Myron Krueger) – американский компьютерный художник, разработчик ранних интерактивных художественных произведений.

³ Джарон Ланьер (англ. Jaron Zepel Lanier) – футуролог, учёный в области визуализации данных и биометрических технологий.

Haptics force feedback устройства (см., например, [94]), или имитации обоняния (см., например, [139–141]). Существуют проекты и тестовые реализации с подключением к нервной системе – мозговые интерфейсы (см., например, [130]), воздействующие не только на органы чувств человека, но и непосредственно на нервные окончания.

Виртуальное окружение полностью отделяет пользователя от реальной реальности (RR) с помощью VR-шлема, наушников, джойстиков, контроллеров, перчаток, других устройств и заменяет её симуляцией.

Виртуальная реальность определяется в [85] как интерактивная трехмерная графическая сцена, использующая специализированную технологию отображения, погружающую пользователя в реальном времени в созданный мир, с прямым манипулированием объектами в модельном пространстве [19].



Рисунок 1.1 – Семинар с использованием одного из приложений виртуальной реальности *Virtual Orator*

Системы виртуальной реальности позволяет поддерживать интерактивное взаимодействие с высокой степенью погружения одновременно для большой аудитории [8; 84]. Существуют интересные примеры таких распределенных мно-

гопользовательских систем виртуальной реальности, используемые для организации международных семинаров или конференций.

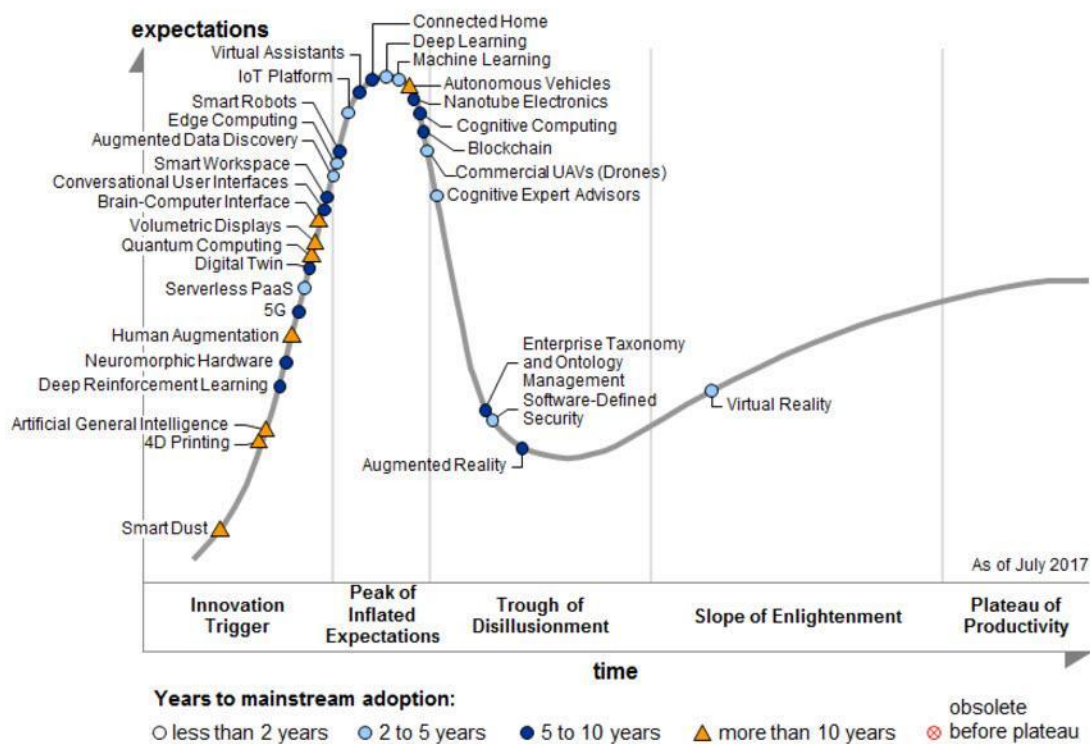
Приложение виртуальной реальности – это аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий погружение пользователя в виртуальное окружение [29; 37]. Примерами наиболее популярных приложений виртуальной реальности могут служить OpenSim [133] и Second Life [146], но существует и большое количество других (см., например на рис. 1.1 – семинар Virtual Orator [165]).

Первые, ещё докомпьютерные, симуляции появились в 1928 году. Эдвин Линк создал первый в мире тренажер для полетов [83]. Этот симулятор помогал подготовке военных пилотов до и в течение Второй мировой войны.

Стоит отметить, что в России развитием технологий виртуальной реальности ещё с начала 1990-х годов занимался Институт физико-технической информатики (г. Протвино) [33], одним из основных направлений деятельности которого является и по сей день разработка систем виртуального окружения для российской космической и атомной промышленности, и кафедра системной интеграции и менеджмента Московского физико-технического института [48], выпускающая IT-специалистов широкого профиля, включая специалистов в технологиях визуализации информации и виртуального окружения. Однако сейчас уже и другие научные институты и высшие образовательные заведения заинтересованы этой темой, например, в Дальневосточном федеральном университете запущена магистерская программа по виртуальной и дополненной реальности [28], в Южном федеральном университете создана лаборатория виртуальной реальности [80], в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого обучают бакалавров по программе “Технологии виртуального прототипирования в машиностроении” [55], школа дизайна Национального исследовательского университета “Высшая школа экономики” реализует программу бакалавриата “Гейм-дизайн и виртуальная реальность” [77].

Техническая реализация “виртуальной реальности” изменялась вслед за развитием компьютеров и средств отображения. На смену экспериментальным приложениям 1980-х пришли сложные программно-аппаратные комплексы 1990-х для военных, промышленных и исследовательских задач. Поначалу это была дорогостоящая стереоскопическая установка для узкоспециального применения. С 2000-х годов рост производительности графических процессоров обеспечил переход технологии виртуальной реальности во всё более массовую нишу, она стала доступна любому заинтересованному пользователю.

Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017



Note: PaaS = platform as a service; UAVs = unmanned aerial vehicles

Source: Gartner (July 2017)

Рисунок 1.2 – Фаза преодоления недостатков VR-технологии

Тем не менее, несмотря на ранний старт интереса к виртуальной реальности, по мнению директора по инновациям компании Game Insight⁴ Андрея Ивашенцева [20], на данный момент VR-технологии находятся ещё на стадии привлечения первых последователей, что хорошо демонстрирует (см. рис. 1.2) “цикл хайпа”⁵ из аналитики Garthner⁶, которая с 1995 года привычно используется для прогнозирования тенденций, связанных с появлением новых технологий [95]. По мнению Garthner на момент середины 2017 года VR-технологии находятся на фазе преодоления недостатков.

По этой концепции каждая технологическая инновация в процессе достижения зрелости проходит несколько этапов, характеризующихся различной степенью интереса со стороны общества и специалистов:

- технологический триггер (Technology Trigger) – фаза появления инновации, обозначенная первыми публикациями о новой технологии;
- пик чрезмерных ожиданий (Peak of Inflated Expectation) – от новой технологии ожидают революционных свойств, она становится предметом широкого обсуждения в сообществе;
- избавление от иллюзий (Trough of Disillusionment) – выявляются недостатки технологии, а в сообществе отмечается разочарование новой технологией;
- преодоление недостатков (Slope of Enlightenment) – устраняются основные недостатки, медленно возвращается интерес, начинается использование в коммерческих проектах;

⁴ Game Insight – разработчик и издатель игр, компания основана в 2009 году в Москве, имеет офисы в других российских городах и других странах (<http://www.game-insight.com>).

⁵ “Цикл хайпа”, англ. Hype cycle, также упоминается на русском языке как цикл ажиотажа, цикл шумихи, цикл зрелости, цикл общественного интереса, цикл ожиданий, цикл признания.

⁶ Gartner – исследовательская и консалтинговая компания, специализирующаяся на рынках информационных технологий (<https://www.gartner.com>). Наиболее известна введением в употребление понятия ERP и регулярными исследовательскими отчётами в форматах «магический квадрант» и «цикл хайпа». Исследованиям Gartner регулярно посвящаются статьи в таких изданиях, как Financial Times, The Wall Street Journal, The New York Times, Der Spiegel, The Register, ZDNet. Наряду с IDC и Forrester считается ключевым исследователем рынков ИТ.

- плато продуктивности (Plateau of Productivity) – наступление зрелости технологии, сообщество воспринимает технологию как данность, осознавая её достоинства и ограничения.

Несмотря на то, что недостатки VR-технологии ещё не преодолены полностью, сегодня вряд ли найдётся область деятельности, где ещё нет примеров использования виртуальной реальности, в частности, в обучении – это разнообразные тренажерные системы, предназначенные для обучения навыкам автовождения, управления летательными аппаратами, проще говоря, управления и изучения как гражданской, так и военной техники, включая дистанционное управление техническими средствами; проведения хирургических операций, отработка практических навыков врачом инструментами у стоматологов [74]; автомобильные тренажеры (например, ОТКВ-2М [5]); системы создания виртуальных тренажеров (например, LabView [24]); управления разнообразными технологическими процессами, включая совместную работу в коллективе: обучение экипажей судов рыбопромыслового флота [64], обслуживание железнодорожных станций [171], атомных станций, и т. п., ведь виртуальное окружение – это идеальная обучающая среда [59]. Компоновка систем виртуального окружения совместно с различными элементами тренажеров (кресла на гидроприводах, динамические платформы, системы управления с обратной связью) позволяет строить тренажеры и аттракционы с большим коэффициентом погружения (иммерсивности).

Далее будут рассмотрены существующие решения среди виртуальных лабораторий с погружением в виртуальную реальность с использованием VR-шлемов.

1.2 Обзор существующих решений среди виртуальных тренажеров

В мире существует более 600 компаний, имеющих отношение к разработке и производству тренажерных систем, и их количество продолжает расти [25]. Из них более 300 находятся в США (50,8%) и 245 (40,4%) – в Европе. По общему ко-

личеству компаний, занимающихся производством тренажерных систем, в Европе лидирует Великобритания (94 компании). За ней следуют Германия (38), Франция (18), Нидерланды (16), Россия (11), Швейцария (10), Бельгия (9) и Швеция (9). Точное рейтингование и классификацию произвести достаточно сложно.

Отдельно остановимся на анализе такого класса тренажерных систем, как виртуальные лаборатории.

Виртуальная лаборатория (virtual laboratory, V-lab, virtual reality laboratory) – это программный комплекс, в котором могут быть воспроизведены опыты, в реальной жизни возможные только в лабораторных условиях. Использование таких виртуальных лабораторий позволяет пользователям (студентам) учиться удаленно и в любое время. Кроме того, это программное обеспечение позволяет сокращать расходы на реальные ресурсы лаборатории, а также уменьшить риск негативных последствий в результате неудачного проведения эксперимента или неправильного использования оборудования, реактивов, материалов в процессе обучения.

Виртуальную лабораторию можно также определить как искусственное окружение, созданное на компьютере, которое позволяет пользователям почувствовать реальный эксперимент. Эта технология применима ко многим сторонам жизни, особенно к подготовке и обучению специалистов [135].

К наиболее результативному подходу в образовательном процессе обучения лабораторному практикуму можно отнести комбинирование занятий или самостоятельных работ, которые чередуют теоретические навыки, применение виртуальных технологий с последующим закреплением полученных умений и навыков в реальных лабораториях. Данный комбинированный подход позволяет студентам заранее ознакомиться с теоретическим материалом, порядком действий и спецификой выполнения экспериментов на сложном оборудовании.

Проблемы поддержания материально-технической базы и осуществления экспериментов, нехватки оборудования, опасности экспериментов – все эти слож-

ности можно обойти при активном внедрении в образовательный процесс виртуальных технологий.

Студенты и преподаватели находят виртуальные симуляции привлекательными, потому что они портативны, легки в использовании и высокоэффективны. Тем не менее, пользователи отмечают и недостатки таких решений, заключающиеся в ограничении свободы действий, плохом “мануальном” ответе, отсутствии возможности практики на реальном оборудовании в процессе работы.

Современная виртуальная лаборатория должна отвечать следующим требованиям [96]: должна транслировать студентам “долабораторный опыт”, который научит их базовым методам использования инструментов и технологий, с которыми они будут работать в реальных промышленных и исследовательских лабораториях; должна собирать статистику пользователей, что поможет сравнивать результативность студентов и оценивать их. Такая V-lab может снизить риски и издержки, давая студенту, пусть виртуальный, доступ к оборудованию, которое учебное заведение не может приобрести. V-lab позволяет легко включать игровые элементы в процесс обучения (геймификация), как способ поддержать внимание и сделать процесс изучения материала не только познавательным, но и увлекательным, исключая рутинное заучивание.

Симуляции могут представлять как решение для персонального компьютера, так и решение для веб-сервера – в десктопных приложениях может быть размещено больше контента, реализована улучшенная реалистичность и использованы все новейшие технологии. Однако стоит отметить, что виртуальные лаборатории, расположенные в сети, в силу технологических особенностей имеют менее реалистичную визуальную составляющую, но взамен они обладают преимуществом постоянных обновлений и дополнений, легкостью в установке, кроссплатформенностью, а также возможностью получить доступ откуда угодно и когда угодно [137].

По мнению ряда специалистов [129], виртуальные симуляторы позволяют добиться увеличения вовлеченности в обучение и подготовленности специалистов, улучшения визуального восприятия технического процесса, сокращения расходов организации; масштабируемости процесса обучения, беспристрастной оценки деятельности, обеспечения коллективной учебно-методической работы [47]. Таким образом, компьютерные симуляторы – серьезное подспорье в обучении и решении, в отличие от реальных учебных лабораторий, не требующее затрат, более гибкое, способное повторить сложные лабораторные условия.

В Письмах Министерства образования и науки Российской Федерации от 21 апреля 2015 г. № ВК-1013/06 в акте “О направлении методических рекомендаций по реализации дополнительных профессиональных программ” [6] отдельно подчеркнута, что “в состав программно-аппаратных комплексов должно быть включено ... программное обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса”, включая “интерактивные среды, виртуальные лаборатории и ..., творческие виртуальные среды ...”.

Рынок виртуальных лабораторий активно развивается, за последние 10 лет он вырос более чем в 6 раз. Согласно библиометрическому анализу [103], самое большое количество исследований связано с симуляцией инженерных опытов и экспериментов. Результаты изучения находящихся в свободном доступе решений, используемых мировыми образовательными учреждениями, позволяют сделать вывод, что рынок биотехнологических виртуальных лабораторий отстает в развитии от современных трендов виртуальных тренажеров. Практически нигде не используются новые мощные кроссплатформенные игровые движки⁷, которые позволили бы добиться реалистичности, а также точнее воспроизводить опыты. Бо-

⁷ Игровой движок – центральный программный компонент компьютерных и видеоигр или других интерактивных приложений с графикой, обрабатываемой в реальном времени, обеспечивает основные технологии, упрощает разработку и часто даёт игре возможность запускаться на нескольких платформах.

лее того, не предлагается использовать дополнительное оборудование (например, шлемы виртуальной реальности и устройства бесконтактной манипуляции), позволяющее получить более полный эффект погружения.

Рассмотрим некоторые решения в области виртуальных лабораторий, отметив отдельно технологии, с помощью которых они разработаны.

Hhmi BioInteractive [104] (язык JavaScript) – виртуальная лаборатория Howard Hughes Medical Institute (ННМИ, Медицинский институт Говарда Хьюза), в которой студенты могут проводить эксперименты, записывать данные, а также отвечать на тестовые/проверочные вопросы. В продукте скомбинированы анимации, иллюстрации и видеоматериалы.

Лаборатории от ННМИ обладают неплохой графикой, но вот игровой аспект в них скуден и однообразен. Каждая лаборатория сделана под конкретный эксперимент, отсутствует возможность перемещения по виртуальной лаборатории – в каждом конкретном экране находятся только те предметы, с которыми мы взаимодействуем, что некоторым образом ухудшает восприятие целостной картины функционирования всей лаборатории. В продукте присутствует возможность совершить неудачный опыт, но сделать это будет возможно только с помощью бессмысленного нажатия на точки взаимодействия. Из плюсов этой лаборатории можно назвать огромное количество методического материала – каждый опыт или действие описаны достаточно точно, присутствуют глоссарий и общее описание.

Из всех рассмотренных продуктов лаборатория от ННМИ – одна из самых новых, имеет обширную базу знаний и, хотя она реализована в 3D, использует низкополигональную графику, что уже не воспринимается адекватно современным пользователем. Лучше всего эта лаборатория подойдет студентам, только начинающим изучение биомедицинских технологий.

VIRTUAL LABS [107] (использует технологию Flash) – это проект Министерства человеческих ресурсов Индии, объединивший работу нескольких вузов

по созданию виртуальных лабораторий. На данный момент уже готовы лаборатории по электронике, информатике, инженерии, физике и химии, представлено большое количество работ, связанных с биологией и смежными областями. В представленных симуляторах есть возможность индивидуализации обучения, но не всегда является понятным, что нужно делать в тот или иной момент. Отметим разброс в качестве лабораторных работ, представленных в системе. Во-первых, не все они поддерживают работу с симуляторами, во-вторых, не для каждой лабораторной работы приведено достаточное описание действий, а тесты в некоторых работах слишком просты, поэтому нецелесообразно рекомендовать данный ресурс как базовый. Этот ресурс подойдет студентам, начинающим изучать материал; в каждой лаборатории есть ссылки на дополнительные материалы для самостоятельного освоения.

Virtual Biology Lab [82] (клиент под Windows) – это виртуальная лаборатория от Aten-студии, разрабатывающей, в основном, десктопные симуляторы. В этой лаборатории, выпущенной в 2009 году, пользователю предстоит найти лечение для лабораторных крыс с помощью визуального осмотра, отбора, различных тестов и процедур. Перемещения и взаимодействия в ней чётко ограничены сценарием. Лаборатория сделана в 3D, однако животные выглядят неправдоподобно, это больше схематичные изображения. Выделяя достоинства этой лаборатории, стоит отметить, что каждое взаимодействие тщательно записывается, студентам надо будет проанализировать эти данные, чтобы понять, какое лечение нужно этим животным.

WOW Biolab [105] (использует технологию Flash) – виртуальные лаборатории от обучающей компании Houghton Mifflin Harcourt разработаны с помощью векторной графики и представляют схематичное изображение приборов и инструментов. В этих симуляциях пользователю предстоит пройти “квест”, следуя чётким указаниям и нажимая на активные точки. К сожалению, описание того,

что необходимо проделать, лаборатория не предоставляет, – в начале имеется только общее описание предметов и последующих действий. Свобода действий (возможность отойти от сценария) отсутствует, как и возможность ошибиться и получить не тот результат. Из положительных качеств можно отметить, что на завершающем этапе лаборатории пользователь должен пройти тестирование. Эта симуляция подойдет только для студентов, начинающих обучение, – она даёт достаточно слабое представление о предмете изучения из-за малого количества информации.

Рассмотрев продукты на рынке виртуальных тренажеров, в частности, биомедицинских симуляций, можно сделать вывод о том, что все системы были разработаны некоторое время назад и сейчас могут не отвечать современным стандартам. Тем не менее, в большинстве из них представлены хорошая материальная и техническая база, а также большое количество справочных материалов, учебных пособий, активных ссылок и иллюстраций, которые помогают студентам глубже погружаться в предмет изучения. Производством виртуальных тренажеров, виртуальных симуляторов, виртуальных лабораторий, удалённых (remote) лабораторий и “песочниц” занимаются многие университеты мира, в таких виртуальных лабораториях можно добиться практически полной свободы действий в условиях виртуального эксперимента. При этом студент не будет бояться совершить необратимую ошибку, а может попробовать разные способы решения проблемы, что является хорошим обучающим фактором.

1.3 Типы и свойства виртуальной реальности

Виртуальная реальность (далее VR) трактуется множеством различных способов, такое количество трактовок объясняется непосредственно контекстом использования данного термина (в различных областях – разный смысл), а также тем, что эти технологии постоянно развиваются, претерпевают изменения, при-

нимают новое значение и другую степень значимости для общества. Но, обобщая все понятия на данный момент, можно сказать, что виртуальная реальность – это мир, искусственно созданный посредством технических средств (объекты и субъекты), на который можно влиять, меняя этот мир изнутри, испытывая при этом реальные ощущения.

VR имеет свои специфические свойства, которые отличают её от других явлений, потому что только в этом случае можно говорить о существовании изучаемого явления [69]. Опишем эти свойства.

Первое свойство – **Порождаемость** – говорит о том, что субъективная реальность порождается психической реальностью, а потому является виртуальной.

Автономность – данное свойство означает, что виртуальная реальность существует вне времени и пространства и поэтому имеет свои время и пространство.

Интерактивность – делает виртуальную реальность востребованной. Она всегда остается независимой, даже при взаимодействии с другими реальностями, а пользователь является полноценным участником событий, полностью погружаясь в процесс.

Актуальность – все события VR происходят в данный момент времени.

Помимо перечисленных общепризнанных основных свойств признаками виртуальной реальности можно считать сложность передачи тактильной информации и доступность любой области пространства. Виртуальная среда должна быть доступной для изучения, то есть дающей возможность исследовать детализированный мир, машинно-генерируемой и создающей эффект присутствия.

Известны следующие **типы виртуальной реальности**:

- VR без погружения;
- VR с совместной инфраструктурой;
- VR с эффектом полного погружения.

Виртуальная реальность с эффектом погружения требует присутствия некоторых факторов, таких, как:

1) наличие достаточно производительной техники, способной быстро распознавать действия субъекта и реагировать на них в режиме реального времени;

2) реалистичная, детализированная симуляция мира с эффективным представлением объектов в виртуальной среде (см., например, об распространенных ошибках дизайнеров уровней, которые негативным образом влияют на эффект погружения [35]);

3) специальное оборудование, включая новейшие иммерсивные устройства (см. параграф 1.5).

1.4 Иммерсивность виртуальных сред

По определению [69], “...одним из важнейших свойств виртуальной реальности является иммерсивность – степень погружения субъекта в виртуальный мир, что достигается путем генерации максимального сходства последнего с реальным миром при помощи симуляции. Преимуществом симуляции над имитацией является копирование объектов и событий на уровне модели. Виртуальная реальность симулирует нечто, что не существует в реальности ...”.

Такое погружение в определенные, искусственно синтезированные условия (см., например, [14; 65]) виртуальной реальности называют *иммерсивной средой*. В различных исследованиях (см., например, [60]) инженерно-психологических аспектов виртуальной реальности выделяют следующие свойства иммерсивных сред: *избыточность* (свойство, позволяющее обеспечить множественность взаимоотношений со средой); *наблюдаемость* (проявляется в процессе конструирования действительности – средой может быть только то, что наблюдаемо, даже если оно присутствует в физической реальности); *конструируемость* (или доступность к когнитивному опыту, характеризующая определенную степень готовности

субъекта к включению в среду); *насыщенность* (насыщенная среда обеспечивает широкий спектр влияний на пользователя посредством многовариантности отношений); *автономность существования* (среда обладает своей самостоятельной историей, независимой от внешней среды); *пластичность* (среда с легкостью может принимать и обеспечивать стабильность форм, обусловленных многообразием содержания); *синхронизируемость* (среда имеет локальную самоорганизацию и временные качества всех элементов среды); *внесубъектная пространственная локализация* (размещение независимо от субъекта); *векторность* (направленный обучающий эффект в определенном спектре задач); *целостность* (единство среды со свойствами субъекта, при котором субъект воспринимает среду как мир деятельности); *мотивогенность* (возможности влияния среды на мотивацию пользователя); *интерактивность* (степень, до которой пользователь в состоянии участвовать в изменении и формировании установленной среды в режиме реального времени); *иммерсивность* (возможности среды вовлекать пользователя и ориентировать его в системе отношений, определяемой содержанием среды); *присутствие* (выражает чувство нахождения человека в определенной среде; отличие от иммерсивности заключается в том, что иммерсивность более связана с внешними и физическими характеристиками, а присутствие определяет внутренние, субъективные компоненты).

Компонентами феномена присутствия (см., например, [3]) принято считать *вовлеченность* и *погружение*.

Погружение – это чувство нахождения человека в созданном компьютером мире; определяется оно уровнем реакции органов чувств на условия, созданные технологиями. Следовательно, среда, показывающая высокие показатели погружения, создает и высокое ощущение феномена присутствия.

Другим важным компонентом феномена присутствия является **вовлеченность** – это психологическое состояние, проявляющееся при сосредоточении

внимания на последовательном наборе связанных событий или действий. Человек должен сосредотачиваться на виртуальной среде, так как если он отвлекается от нее, то вовлеченность уменьшается, следовательно, падают показатели иммерсивности. Поэтому важно создать наиболее комфортные условия для пребывания в виртуальной среде, а действия, происходящие в ней, должны постоянно удерживать внимание субъекта.

Другим фактором, который выделяют как влияющий на иммерсивность среды, является *когнитивный контроль* (см., например, [15]) – это система метакогнитивных функций, настраивающих специализированные когнитивные процессы на решение определенных задач в определенных условиях (см., например [131; 118]). Процессы когнитивного контроля являются процессами регуляции когнитивной деятельности. Несмотря на большее разнообразие отдельных функций когнитивного контроля, актуальная модель Мияке [123] выделяет три базовые функции: *переключение между задачами, контроля интерференции и обновления содержимого рабочей памяти*. Эти функции когнитивного контроля могут быть применены для появления чувства присутствия в виртуальных средах, так как само определение когнитивного контроля предполагает настройку когнитивной системы человека на выполнение определенных задач в специфических условиях, например, в условиях виртуальной среды. Человек использует возможности своей когнитивной системы для эффективного решения задач в практически любых условиях, поэтому особенности когнитивного контроля могут вносить естественность во взаимодействие субъекта с виртуальной средой и, следовательно, определять появление чувства присутствия и его степень. Величковский [15] выделяет такие когнитивные механизмы, с помощью которых достигается эффект присутствия:

- 1) *Управление вниманием*. Пользователь может произвольно концентрировать внимание на любых объектах среды, что повышает вероятность появления

эффекта присутствия.

2) *Произвольное подавление.* Механизм, позволяющий игнорировать внешние и внутренние дистракторы среды, которые не связаны с взаимодействием с ней.

3) *Переключение.* Механизм, позволяющий переключаться между задачами, таким образом, возникновение феномена присутствия зависит от эффективной смены установок.

4) *Рабочая память.* Достижение эффекта присутствия не было бы таким эффективным, без особого пространства, в котором пользователь хранил бы данные о среде и задачах, выполняемых в ее рамках. Сохраняя все эти данные, рабочая память позволяет пользователю построить целостную модель виртуальной среды.

5) *Мониторинг и коррекция ошибок.* Эти процессы помогают пользователю обнаружить расхождения между ожидаемыми и реальными значениями когнитивных параметров. Поэтому чем более развита функция мониторинга, тем больше расхождений может быть выявлено, значит, будет ниже вероятность возникновения эффекта присутствия.

Эффект присутствия был бы недостижим без специальных технологических средств, влияющих на органы чувств человека, и вовлеченности, которая зависит от содержания среды.

На сегодняшний день нельзя точно говорить о том, что же именно вызывает феномен присутствия у человека в каждой определенной виртуальной среде. Анализ природы феномена присутствия [3] показывает ценность комплексных нейропсихологических исследований (см., например, [32]), подтверждающих специфичность человеческих переживаний в состоянии присутствия в иммерсивной виртуальной среде. В работе [4, с. 111] предложено использовать, в первую очередь, субъективный метод оценки степени присутствия, а объективные методы

считать вспомогательными, для подтверждения самонаблюдений испытуемого.

Типы присутствия

Присутствие разделяют (см., например, [3; 4]) на типы: *средовое* присутствие – человек переживает возможность взаимодействия со средой; *социальное* присутствие – человек предполагает наличие других лиц в одной с ним виртуальной среде; *личностное* присутствие, считающееся самым глубоким уровнем состояния присутствия, – человек встраивает себя в виртуальную среду на уровне воспоминаний, представляя себе предысторию своего появления в виртуальном мире, принимая опыт своего поведения в нём.

Методы измерения присутствия

Существует множество систем оценивания и измерения степени и уровня присутствия, рассмотрим базовые из них.

Субъективные методы. Эти системы оценки считаются наиболее удобными и чаще всего используются. Провести необходимые измерения можно с помощью следующих инструментов.

Рейтинговые шкалы. Это простой инструмент, представляющий собой ряд утверждений, справедливость которых оценивается по шкале, определенной предварительно. Вопросы должны быть максимально понятными и однозначными, чтобы пользователь не смог интерпретировать вопросы иначе, чем было задумано. Примерами таких шкал являются опросники Б.Г. Витмера и М.Дж. Сингера [136]: опросник присутствия [173] направлен на измерение степени присутствия в виртуальной среде под влиянием всех факторов. Опросник иммерсивных predispositions [174] оценивает, насколько человек способен погрузиться в виртуальную среду.

Метод парных сравнений. Этот метод базируется на сравнении субъектами ощущений, испытываемых в двух представленных средах, обладающих разными параметрами.

Метод кросс-модального подбора. Основан на ассоциативном подборе пользователем степени ощущения виртуальной реальности. Например, ему предлагается сделать музыку столь же громкой, насколько реалистично он чувствовал себя в VR.

Метод оценки величины – предлагает пользователю численно сравнить свои ощущения в виртуальной среде с ощущениями в реальном мире.

Физиологические методы. Такие методы основаны на фиксации параметров организма субъекта после его пребывания в виртуальной среде – пользователю предлагается измерить пульс/давление, зафиксировать общее состояние до и после взаимодействия со средой, а также ведется мониторинг необходимых параметров непосредственно во время взаимодействия. Считается, что при достаточном ощущении погружения пользователем должны проявиться естественные реакции организма, как это было бы в реальном мире. Если же параметры неизменны, то среда не оказывает на субъекта необходимого воздействия, следовательно, эффекта присутствия в нужной мере не достигается.

Поведенческие методы – основаны на гипотезе о том, что в виртуальной среде с достаточным уровнем иммерсивности пользователь должен совершать те же действия, которые совершал бы, находясь в такой же ситуации в реальном мире. Например, если человеку в реальном мире нужно найти источник звука, он должен проделать то же действие в виртуальной среде, прилагая аналогичные усилия. Однако поведенческий метод оценки присутствия очень привязан к конкретным условиям. Так как эти условия очень изменчивы в силу различия ситуаций и самих субъектов, такой метод не дает возможности составить какую-либо статистику или хотя бы точно определить степень присутствия.

1.5 Новейшие иммерсивные устройства

Для повышения иммерсивности и максимального преодоления киберболезни используются различные оборудование, средства вывода и обратной связи. Такое оборудование можно разделить на:

- Шлемы и очки;
- Комнаты;
- Информационные перчатки;
- Геймпады, джойстики и клавиатуры;
- Force feedback устройства – цифровые перчатки, дающие обратную связь (force feedback), на них стоит остановиться отдельно, это очень перспективные устройства для создания иммерсивных сред, так как большинство навыков человека напрямую связано с тонкой моторикой рук (или motor fine skills) [150];
- Беговые дорожки всенаправленного движения;
- Подвесные системы, кабины и кресла;
- Имитаторы обоняния в VR. Можно привести следующий пример: компанией Ubisoft [161] изобретен особый прибор, называемый Nosulus Rift, позволяющий задействовать обоняние (пока такие устройства имеют ограниченный набор возможных базовых компонентов запахов, но уже и они позволяют выполнять проектирование [7] виртуальных сред с повышенным эффектом присутствия);
- Имитаторы вкуса в VR. Ощущение вкуса также удалось синтезировать ученым из Сингапура [138–141], которые использовали электрические импульсы, передаваемые на язык для непосредственной имитации вкусовых ощущений. Уже удалось синтезировать не только основные вкусы, но и различные дополнительные вкусовые характеристики, например, вкус мяты или остроту. Также были успехи в достижении чувства жевания – такое ощущение

ние имитируется посредством электростимуляции челюстно-лицевых мышц;

- Уже существует много других устройств и прототипов, включая полный костюм погружения в VR *Teslasuit* [168], который содержит в себе несколько систем: система обратной тактильной связи *Haptic Feedback System* для передачи ощущений; система захвата движений для отслеживания положения пользователя в пространстве и перемещения по нему; климат контроль позволяет чувствовать холод, тепло, снижение или увеличение температуры;
- Сейчас разрабатываются системы, которые позволят подключить компьютер напрямую к мозгу человека, самый обсуждаемый проект из них – *Neuralink* [130] от Илона Маска.

Выводы

Проведя анализ типов виртуальной реальности, техник повышения иммерсивности и методик, применяемых для реализации высокореалистичных виртуальных сред, а также существующего инструментария средств вывода информации и обратной связи, можно сделать несколько выводов:

- Виртуальная среда оказывает абсолютно различное влияние на разных субъектов, что пока не объясняет ни одна из существующих теорий.
- Существующее оборудование для виртуальных сред, несомненно, повышает иммерсивность, однако не является совершенным из-за погрешностей технических средств, собственного веса, зачастую является недостаточно комфортным для максимального погружения.
- Киберболезнь является серьезным фактором, понижающим иммерсивность среды, её трудно подавить в полной мере из-за несовершенства существующих технологий и индивидуальной реакции пользователя на виртуальные среды.

- Большую сложность представляют изоляция виртуальной среды от физической и симуляция собственного передвижения, так как наиболее иммерсивное передвижение требует больших свободных пространств.
- Достижение максимального эффекта присутствия пока не представляется возможным для среднестатистических пользователей в силу слишком высоких расценок на полный комплект оборудования.
- Максимальный эффект присутствия также на данный момент не достижим из-за того, что современные технологии слабо затрагивают органы чувств человека (такие, как вкус и обоняние), не идеально симулируют некоторые другие ощущения (в частности, осязательные, например, температура, вес или текстура предметов среды).
- Субъективные методы оценки иммерсивности не позволяют с большой точностью оценить, какой уровень присутствия ощущает субъект виртуальной среды.
- Не разработаны методы оценки иммерсивности конкретного индивидуума в конкретной виртуальной среде. Для каждого отдельного субъекта иммерсивной среды должны поддерживаться уникальные условия и выполняться определенные факторы, выявляемые специалистами с помощью обследований субъекта на его специфические особенности организма, анализа когнитивных функций, при которых уровень иммерсивности, измеренный с помощью существующих методов оценки эффекта присутствия, будет иметь максимальное значение. Вопросу разработки методик для объективной оценки иммерсивности созданных виртуальных сред, оценке присутствия и оценке вовлеченности пользователя посвящен раздел настоящей диссертации об интерпретации человеческих биосигналов.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРЕНАЖЁРОВ С ИММЕРСИВНЫМИ ОБУЧАЮЩИМИ СРЕДАМИ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

2.1 Модель конструктора сценариев виртуальных лабораторий

Востребованность виртуальных тренажеров во многом зависит от удобства средств их создания [46], к которым можно отнести: *простоту использования* (пользователь не должен иметь специальных навыков программирования для создания виртуального тренажера, должен иметь профессиональную подготовку, достаточную для его работы как методиста, и базовое владение компьютерными технологиями, когда методист может опираться на интуитивное понимание навигирования и доступности инструментария) и *универсальность* (необходимо предоставлять возможность создавать виртуальные тренажеры, применимых для различных предметных областей). Независимость автоматизированной системы создания средств обучения накладывает некоторые ограничения на методику создания виртуальных тренажеров для конкретной области – необходим сценарий действий, или шагов, смена которых определяется разработчиком-методистом (*программируется*, но не языком программирования, а нативно, понятно, визуально).

Конструкторы сценариев – это инструмент разработки виртуальных экспериментов, который должен быть удобен для работы без специальной технической подготовки. Для облегчения разработки программ было создано большое количество инструментов, в том числе, одной из распространённых концепций является связка байткода⁸ и его интерпретатора [132].

Все команды записаны в файл, каждый из байтов описывает определённую команду. Для исполнения этих команд разработан специальный интерпретатор.

⁸ Байткод (байт-код; англ. bytecode, более общо – р-код, р-code от portable code) – стандартное промежуточное представление, в которое может быть переведена компьютерная программа автоматическими средствами.

Также необходимо определиться, как будет генерироваться файл с байткодом – при помощи языка на текстовой основе или с использованием графического инструмента.

Для проектов, которые должны отличаться высококачественной визуализацией, используются игровые движки, такие, как Unity [163], Unreal Engine (или UE4) [164], CryEngine [92], Unigine [162]. В них уже реализовано многое из необходимого функционала, что призвано облегчать разработку проектов. Примером служит встроенный в UE4 инструмент BluePrints, который предоставляет пользователю возможность программировать без написания самого кода.

Аналогичные решения есть и в Unity, например, Bolt [87] или Shader Forge [149].

Все эти надстройки над игровыми движками – достаточно мощные средства разработки, но они не подходят для достижения поставленной цели, потому что продуктом работы таких инструментов является сгенерированный файл-скрипт, который требует компиляции и не может использоваться вне разрабатываемой среды. Кроме того, закрытость исходного кода не даст возможности расширять функционал под технологии виртуальной реальности.

Игровой движок Unity позволяет добиться быстрого развития проекта и создания первого прототипа в кратчайшие сроки. Поэтому для реализации был выбран Unity и разработана система действий на языке C#⁹.

При разработке модели конструктора сценариев для АС было реализовано несколько версий редактора сценариев. Проведем их анализ для обоснования успешности выбранной парадигмы. Версия редактора сценариев [2; 81], основанная на компонентном подходе, отразила неудобство редактирования, имела сла-

⁹ C# (произносится си шарп) – объектно-ориентированный язык программирования. Разработан в 1998–2001 годах группой инженеров компании Microsoft как язык разработки приложений для платформы Microsoft .NET Framework. Позже был стандартизирован как ECMA-334 и ISO/IEC 23270.

бую систему ветвления и не была наглядной (рис. 2.1).

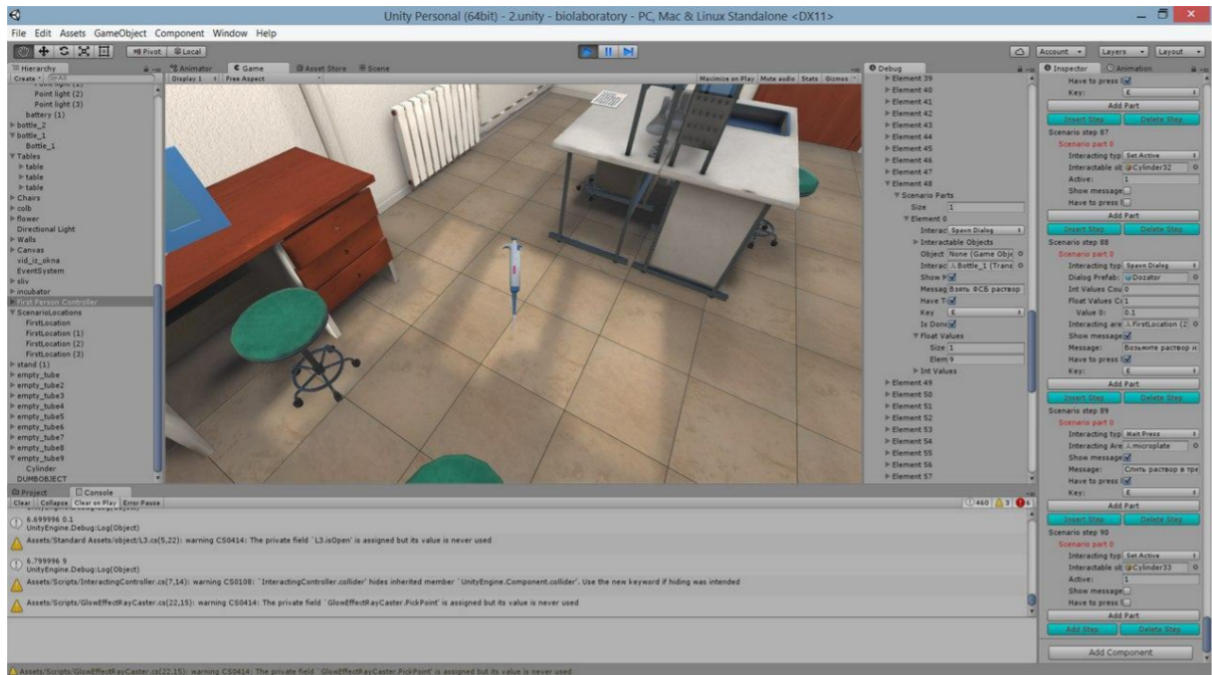


Рисунок 2.1 – Справа от виртуальной сцены располагается интерфейс сценарного редактора, основанный на компонентном подходе

Вторая версия (рис. 2.2) была основана на нодовом подходе [1; 116], но с ограничением возможности добавления новых сценарных шагов, что не давало возможности создать универсальный подход для создания сценариев к любой предметной области, кроме того, нельзя было реализовать группирование шагов.

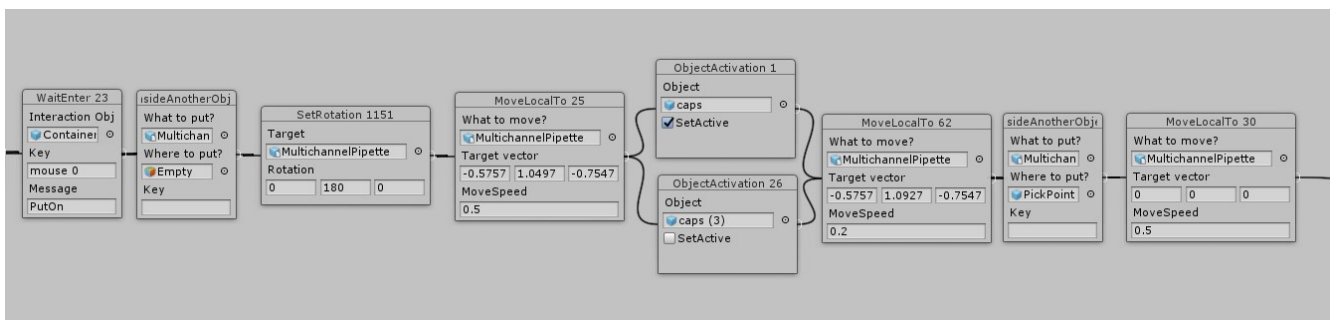


Рисунок 2.2 – Интерфейс сценарного редактора

Диаграмма классов (рис. 2.3) отражает неуниверсальность этого подхода: в ней описаны компоненты, необходимые исключительно только для биотехнологических виртуальных лабораторий. Создание других виртуальных тренажеров при использовании такой системы требовала бы рутинной работы по созданию альтернативной структуры классов.

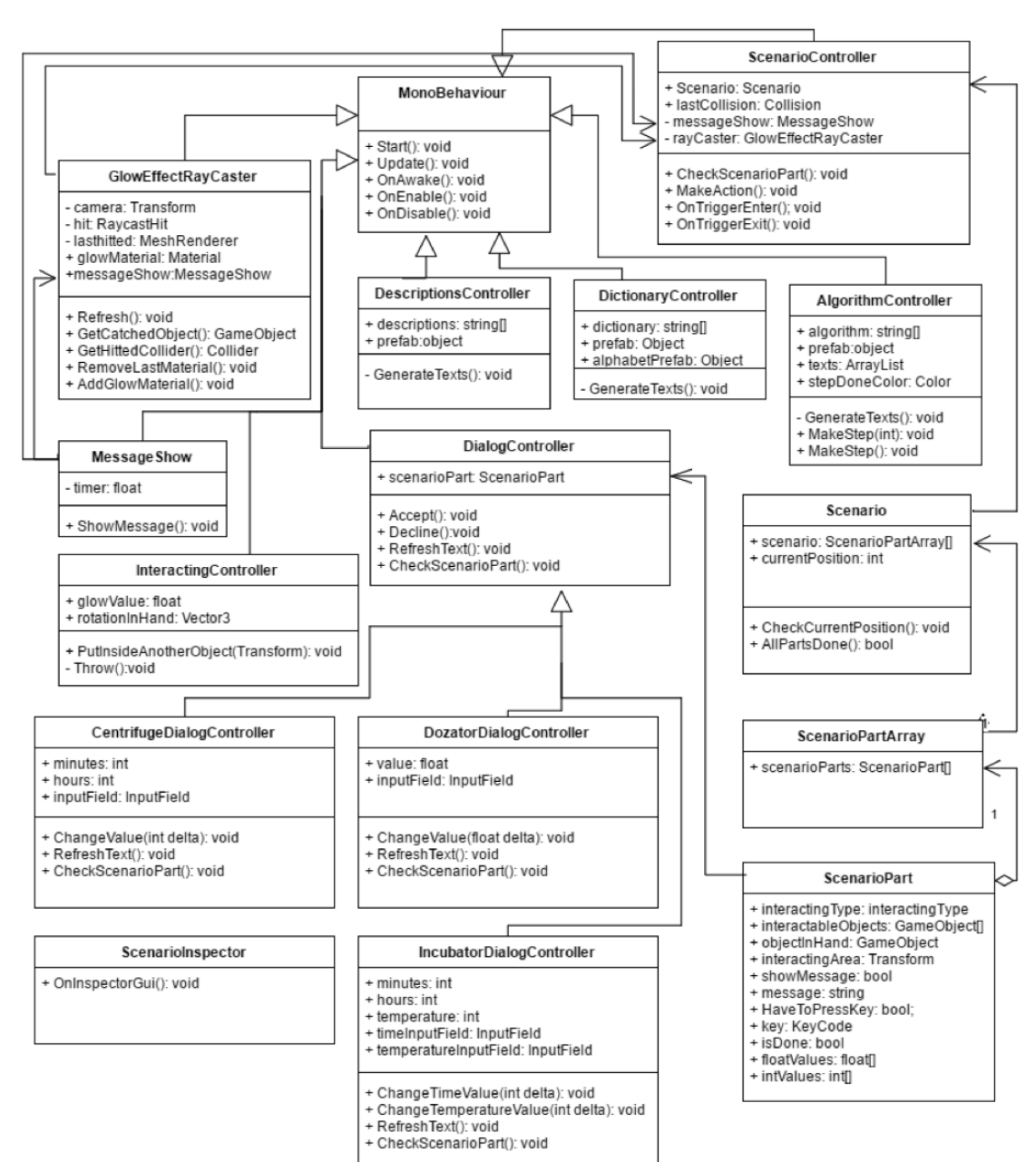


Рисунок 2.3 – Диаграмма классов нодового конструктора без универсального подхода к созданию сценариев

Кроме того, при рассмотрении функционала для написания кастомных редакторов в Unity было выявлено, что встроенные классы `SerializedObject` и `SerializedProperty`, которые по умолчанию должны отображать любой объект, не справляются с полиморфизмом. Поэтому доступ полям было решено получать через рефлексию: получая список публичных полей у класса, исключать поля, которые нет необходимости отображать в данный момент, получать значения или объект, хранящиеся в отображаемых полях, и в зависимости от типа поля предоставлять способы его редактирования.

Список компонентов в диаграмме:

- `GlowEffectRaycaster` – компонент для подсвечивания активных объектов;
- `DescriptionsController` – контроллер отображения описания опыта;
- `DictionaryController` – контроллер отображения словаря;
- `AlgorithmController` – контроллер отображения алгоритма действий и его текущее состояние;
- `MessageShow` – компонент отображения подсказки;
- `InteractingController` – компонент взаимодействия объектов;
- `ScenarioController` – контроллер сценария, содержит в себе экземпляр класса `Scenario`;
- `Scenario` – класс, хранящий текущее состояние сценария; хранит в себе массив частей сценария;
- `ScenarioPartArray` – класс-обёртка для массива частей сценария;
- `ScenarioPart` – класс, описывающий часть сценария;
- `DialogController` – общий класс для всех диалогов;
- `CentrifugeDialogController` – контроллер диалога управления центрифугой;
- `DozatorDialogController` – контроллер диалога управления дозатором;
- `IncubatorDialogController` – контроллер диалога управления инкубатором;
- `ScenarioPartInspector` – компонент редактирования сценария.

Подход, который был выбран для разработки редактора сценариев АС с выгрузкой, содержит решение поставленных задач и достижение обозначенных целей:

- реализованы загрузка и выгрузка сценария в файл – главной целью для полноценного использования полиморфизма в Unity;
- при помощи рефлексии реализовано отображение каждого сценарного шага, что позволяет при добавлении нового скрипта игнорировать написание отображения самого нода;
- реализованы все необходимые базовые шаги для создания любого сценария: ветвление, цикл, функция, нажатие кнопки, вызов метода у класса, перемещение объекта и т. д.;
- реализованы все необходимые базовые шаги для технологии виртуальной реальности;
- реализованы возможности записи сценария в реальном времени, что ускорит создание сценария для любой новой виртуальной лаборатории путем реализации записи действий методиста.

За основу взят принцип работы конечных автоматов, где каждое состояние – это отдельный шаг сценария, и для того чтобы шаг мог выполняться, необходимо, чтобы все предыдущие шаги, которые связаны с ним, были выполнены. Однако бесспорно можно усложнить условия перехода к следующему шагу, чтобы сценарии были более гибкими. Упрощенная диаграмма классов сценария представлена на рисунке 2.4.

Структура данных представлена в виде массива из сценарных шагов, каждый из которых хранит индекс последующих шагов.

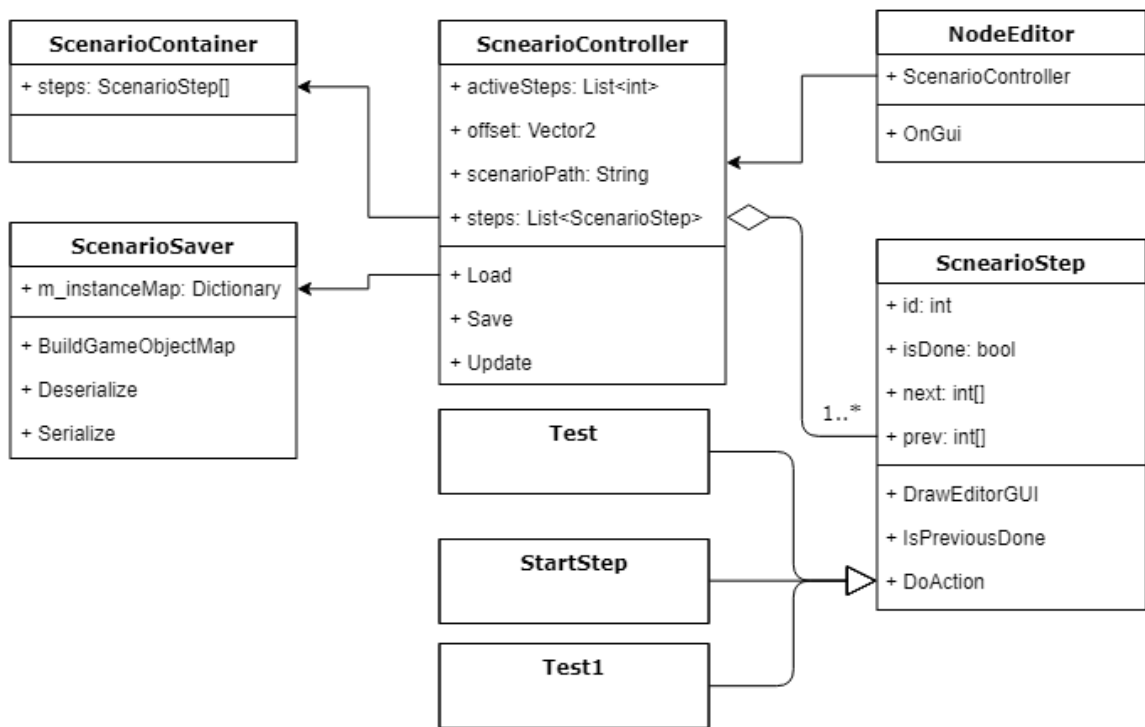


Рисунок 2.4 – Упрощенная диаграмма классов сценария

Визуализация сценария. Назовем основные задачи, реализованные для визуализации сценария:

- отрисовка сценарного шага (нода): при помощи рефлексии определяются публичные поля класса, чтобы иметь возможность редактировать данные объектов, находящихся в этих полях; описанный в Unity метод SerializedObject не даёт доступа к полям дочерних классов, поэтому рефлексия – это единственный рабочий вариант для реализации полиморфизма;
- отрисовка связей между нодами;
- перехватывание событий окна отрисовки, чтобы добавить функционал, использующий “мышь”: перемещение по рабочей области редактора, перемещение нодов, вызов контекстного меню, установление/удаление связей между нодами, автоматическое сохранение и выгрузка сценария при закрытии или потери фокуса с окна;

- определение классов, наследуемых от класса ScenarioStep, и автодобавление их в контекстное меню, из которого можно создавать новые ноды; добавление новых сценарных шагов не будет вызывать проблем, так как достаточно будет наследоваться от класса ScenarioStep;
- метод DrawNode отвечает за отрисовку нода автоматически.

Так как основой подхода является визуальное построение модифицированного конечного автомата, который представляется в виде графа переходов, где узлы графа (или node) и его ребра описывают выполняемые процедуры и поток данных соответственно, то на каждом шаге хранятся переменные разных типов, которые могут быть использованы при выполнении действия сценария: текущее состояние, указатели на следующие и предыдущие шаги, тип действия, которое выполняется через экземпляр ScriptableObject, и номер шага. Текущим состоянием управляет специальный контроллер, который хранит активные сценарные шаги и в случае их выполнения переходит к следующим шагам. В дочерних классах ScriptableObject указывается, как в окне редактора должно выглядеть действие. Каждый узел представляет собой шаг сценария и оформляется в виде графического компонента editor window, встроенного в Unity, с полями параметров. Два узла соединяются ребром, в результате сценарий имеет вид графа переходов (рис. 2.5).

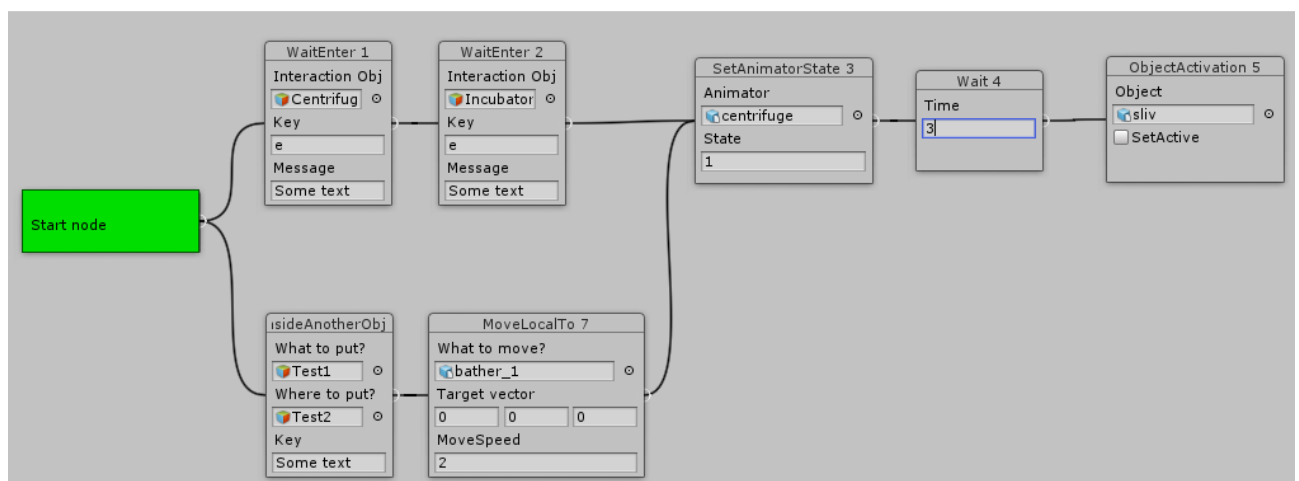


Рисунок 2.5 – Пример сценария, описанного в нодовом редакторе

Шаги сценария могут выполняться как последовательно (рис. 2.6), так и параллельно, в случае отсутствия зависимости шагов друг от друга (рис. 2.7).

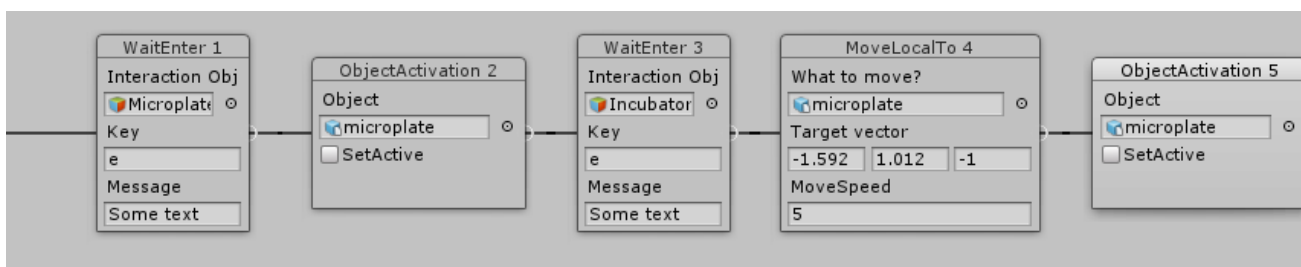


Рисунок 2.6 – Пример цепочки последовательных связей нескольких шагов

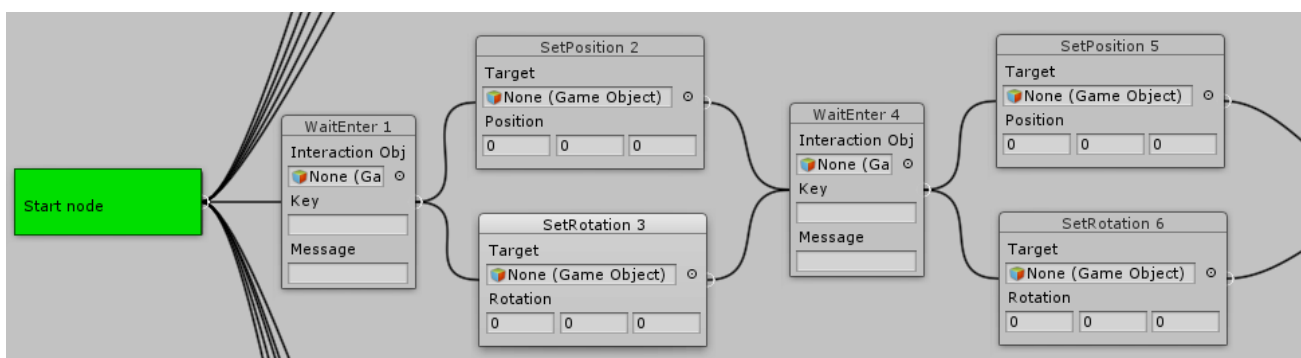


Рисунок 2.7 – Пример отрывка сценария с распараллеливанием

Обязательным компонентом сценария является стартовый узел (ScenarioStartAction, рис. 2.8), с которого должны начинаться все ветки сценария.

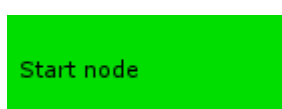


Рисунок 2.8 – Стартовый узел (ScenarioStartAction)

Компонент Loop (рис. 2.9) предназначен для реализации повторения действий, начиная с указанного компонента, определяющегося по идентификатору (Start id), фиксированное количество раз (Iteration count).

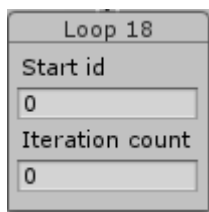


Рисунок 2.9 – Компонент повторения действий (Loop)

Компонент MoveLocalTo (рис. 2.10) предназначен для перемещения объекта из исходного координатного положения в заданное значение (Target vector) с определенной скоростью (MoveSpeed).

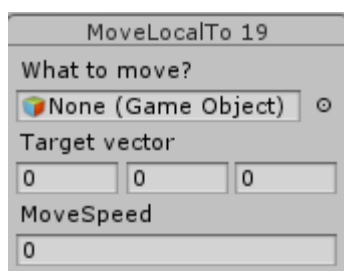


Рисунок 2.10 – Компонент перемещения объекта (MoveLocalTo)

Компонент ObjectActivation (рис. 2.11) переводит необходимый элемент из активного состояния в неактивное и обратно, делая объект видимым или невидимым.

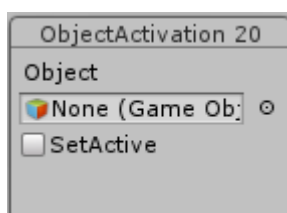


Рисунок 2.11 – Компонент изменения активности (ObjectActivation)

Компонент PutInsideAnotherObject (рис. 2.12) создает дочерний объект (What to put) для иерархически родительского (Where to put) по нажатию кнопки (Key).

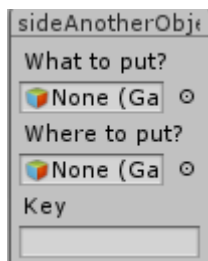


Рисунок 2.12 – Компонент создания дочернего объекта (PutInsideAnotherObject)

Компонент SetAnimatorState (рис. 2.13) включает анимацию объекта (с заданным идентификатором анимации State).

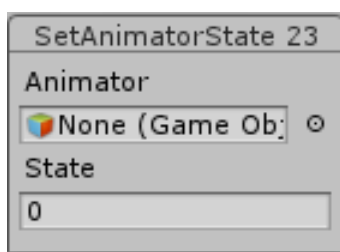


Рисунок 2.13 – Компонент включения анимации (SetAnimatorState)

Набор компонентов SetPosition, SetRotation, SetScale (рис. 2.14) изменяет соответственно местоположение, угол поворота и масштаб. SetPosition отличается от MoveLocalTo тем, что он мгновенно переносит объект в необходимое место. Все три компонента задают изменения по трем координатам.

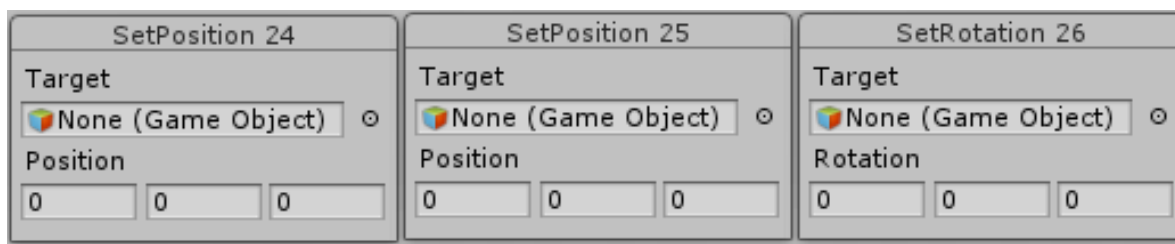


Рисунок 2.14 – Компоненты SetPosition, SetRotation, SetScale

Компонент ShowMessage (рис. 2.15) отображает текстовое сообщение (Message) в течение определенного времени (Show Time, в секундах).

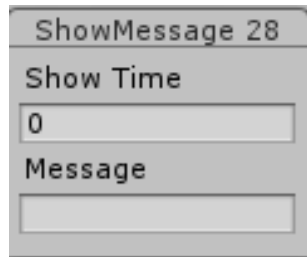


Рисунок 2.15 – Компонент добавления сообщений пользователю (ShowMessage)

Компонент SpawnObject (рис. 2.16) вставляет объект (Prefab) в заданное местоположение (Local Pos), с выбранным ракурсом обзора (Rotation).

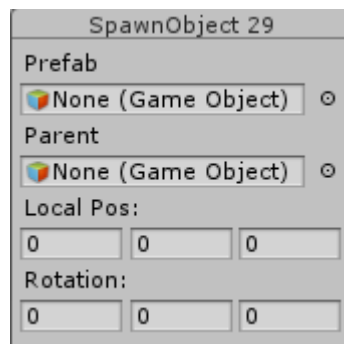


Рисунок 2.16 – Компонент вставки (SpawnObject)

Компонент Wait (рис. 2.17) задаёт паузу на определенный промежуток времени (Time, в минутах).

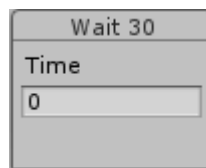


Рисунок 2.17 – Компонент паузы (Wait)

Компонент WaitEnter (рис. 2.18) создает паузу до нажатия кнопки (Key) либо до выбора указанного объекта с тегом активности (ActiveObject), с отображением текстового сообщения (Message) при наведении курсора на объект или в случае, когда пользователь находится в нужном месте.

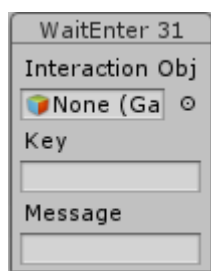


Рисунок 2.18 – Компонент выбора (WaitEnter)

Описанный базовый набор компонентов для реализации сценариев работы пользователя с элементами виртуальной сцены описывает полный объём возможных действий между элементами, но может быть расширен при необходимости.

Представление сценария в виде списков

Нодовое представление сценария наглядно, так как отражает его логическую сущность, но довольно неудобно при ручном наполнении отдельных нод. Причём, даже при использовании инструментов масштабирования (или scale) и зумирования (от англ. zoom – приближать) полностью линейные сценарии выглядят громоздко (см. рис. 2.19).

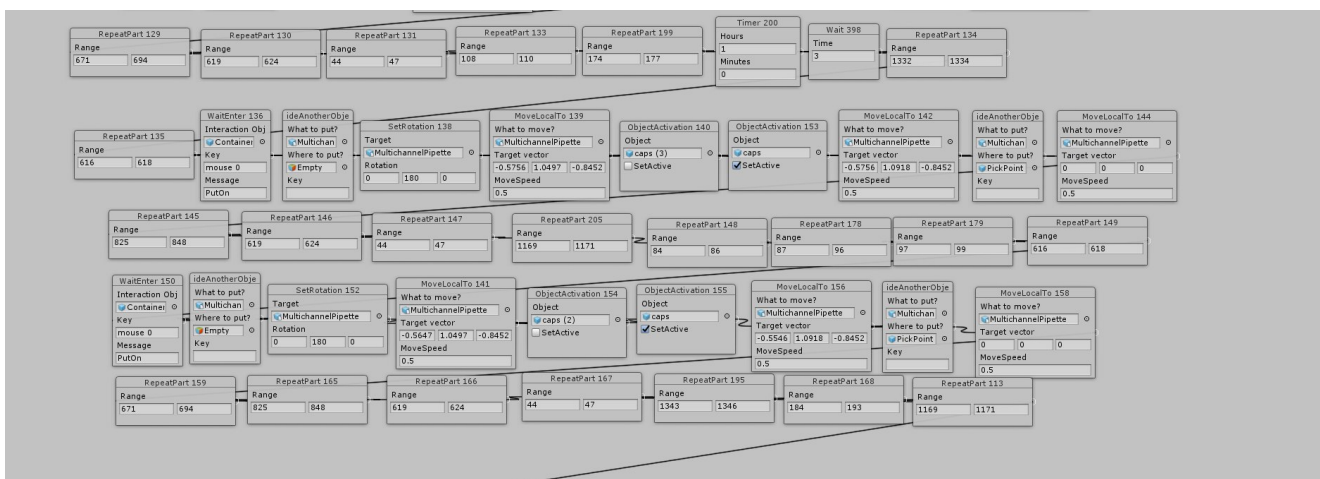


Рисунок 2.19 – Длинный линейный сценарий в нодовом представлении

Поэтому было разработано другое представление, основанное на иерархически вложенных списках, позволяющее естественную прокрутку по сценарию.

Переключение между разными отображениями позволяет выбрать удобный в данный момент способ работы со сценарием – как с графом или как со списком.

На рисунках ниже приведён пример линейной части сценария в представлении в виде графа (рис. 2.20) и соответствующее ему списочное отображение (рис. 2.21).

Языковая локализация

В текстовых полях формальные переменные использованы как коды для локализации, которые меняются на надписи на выбранном языке при выборе языковой конфигурации в уже запущенном приложении.

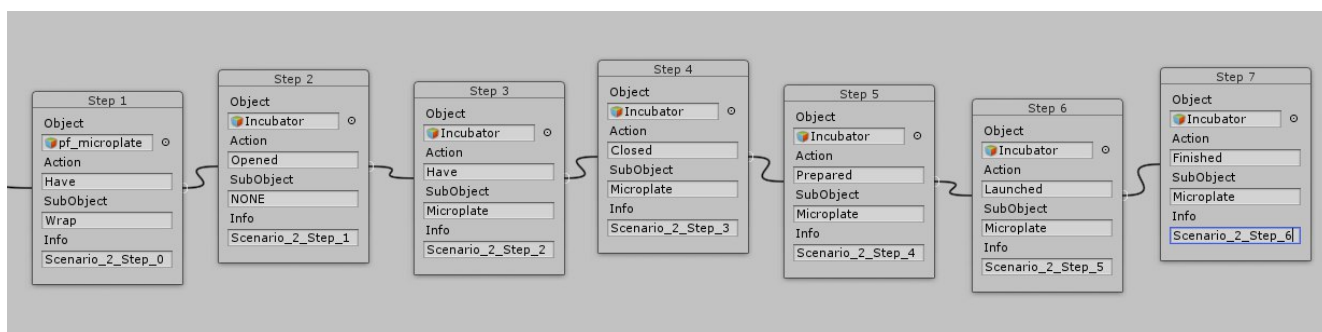


Рисунок 2.20 – Линейная часть сценария в представлении в виде графа

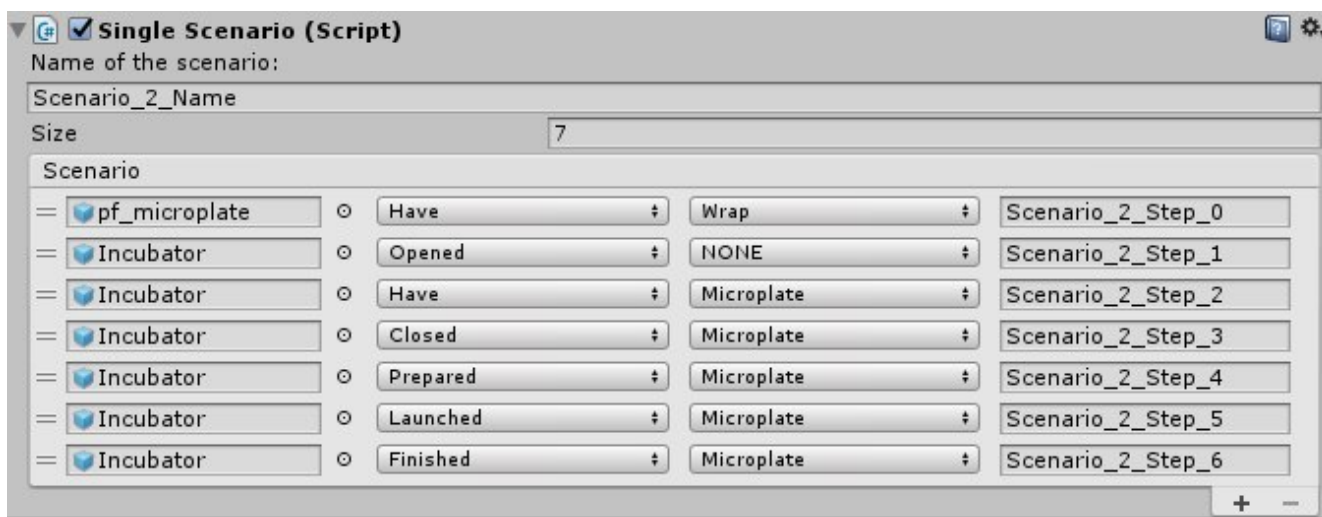


Рисунок 2.21 – Линейная часть сценария в представлении в виде списка

Хранение сценария

При разработке модели хранения сценариев для АС было рассмотрено несколько вариантов хранения и были выявлены положительные (плюсы) и отрицательные (минусы) их качества.

1. Вариант с сериализацией в формат json:

(+) Простой синтаксис, что в случае минорных изменений не навязывает наличие и использование инструмента-конструктора, их можно внести в обычном текстовом редакторе.

(+) Малый размер конечного файла.

(-) Невозможность сериализации древовидных структур.

(-) Отсутствие возможности сериализовать массивы указателей на разные типы данных, но имеющие единый базовый класс (полиморфизм).

2. Вариант с сериализацией в формат XML:

(+) Простой синтаксис. Так же, как в случае json.

(+) Возможность полиморфизма во встроенном сериализаторе.

(-) Громоздкий синтаксис. Отрицает первое достоинство его же простоты.

(-) Невозможность сериализации древовидных структур.

(-) Добавление новых классов требует прописывание атрибутов в базовом классе, что не позволит расширять функционал сторонним разработчикам в случае получения редактора в виде собранной библиотеки.

3. Вариант с сериализацией в бинарный код:

(+) Итоговый файл занимает минимально возможный размер.

(+) Возможность сериализации древовидных структур.

(-) Могут возникнуть проблемы с сериализацией/десериализацией объектов на разных устройствах с разной исполняемой средой.

(-) Невозможность редактирования файла простыми средствами.

4. Хранение в сцене Unity:

(+) Не нужно ничего писать для загрузки/сохранения сценария. Всё реализовано на уровне игрового движка.

(+) Понятный синтаксис YAML, но, чтобы увидеть текстовую версию сцены, необходимо изменить настройки.

(+) Возможность брать данные извне.

(-) Невозможность сериализации древовидных структур, кроме как для компонентов игровых объектов.

(-) Невозможность использования полиморфизма.

```
1 {
2   "type": "ScenarioController+ScenarioContainer",
3   "steps": [{
4     "type": "StartStep",
5     "id": "0",
6     "next": ["1",
7             "2"],
8     "isDone": "False"
9   },
10  {
11    "type": "Test",
12    "s": "test",
13    "vec": "(1.0, 2.0, 3.0)",
14    "id": "1",
15    "next": [],
16    "isDone": "False"
17  },
18  {
19    "type": "Test",
20    "s": "test",
21    "player": {
22      "type": "UnityEngine.GameObject",
23      "InstanceId": "2542fc18-ace0-4ea8-81f4-4ab91ddb81"
24    },
25    "vec": "(1.0, 2.0, 3.0)",
26    "id": "2",
27    "next": [],
28    "isDone": "False"
29  }
30 }
```

Рисунок 2.22 – Результат работы json-сериализатора

Все варианты имели значительные недостатки. Поэтому был выбран формат json, в котором можно их все исключить, решив проблемы сериализации и полиморфизма. Чтобы обойти проблему с полиморфизмом, реализован собственный сериализатор json, который записывает дополнительную информацию о типе объекта.

Для хранения древовидных структур все элементы дерева помещаются в массив, а вместо указателей на следующие или предыдущие элементы используется индекс элемента, по которому можно легко восстановить связь.

Было замечено, что объекты типа GameObject (Стандартный объект Unity) не десериализуются из внешних файлов. Чтобы избежать этого ограничения, при добавлении какого-либо объекта в json-файл необходимо добавлять к ним компонент с генерированным номером, который и будет храниться в файле сценария вместо самого объекта. При запуске виртуального тренажера составляется словарь с номером и значением для быстрого доступа к нужному объекту, для чего разработан компонент хранения указателя на текущий сценарий, который отображает его в окне Inspector движка Unity. Эти простые решения позволили разработать сериализатор/десериализатор json, который обходит вышеописанные ограничения (рис. 2.22).

Указатели на игровые объекты успешно сохраняются в файл (рис. 2.23).

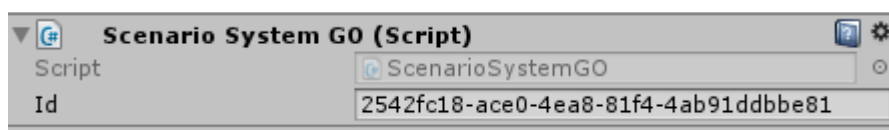


Рисунок 2.23 – Пример сгенерированной Id игрового объекта

Также был реализован компонент, который по указанному пути устанавливает указатель на файл с игровым сценарием (сценарием виртуального тренажера) и предоставляет возможность открыть его.

Логическая схема работы сценария

Для воспроизведения сценария в режиме виртуальной реальности, опишем его логическую схему работы (см. рис. 2.24), используя термины внутренних и внешних курсоров – курсоров, которые следят за порядком исполнения сценария.

В общем сценарии следующий пункт начинает выполняться, когда один из внутренних (или локальных курсоров, от англ. local) просигнализирует о завершении локальной части сценария.

Части сценария виртуальной б/т лаборатории, представленные в приложении, соединены системой управления сценариями, схема работы которой проиллюстрирована в диаграмме деятельности (см. Главу 3).

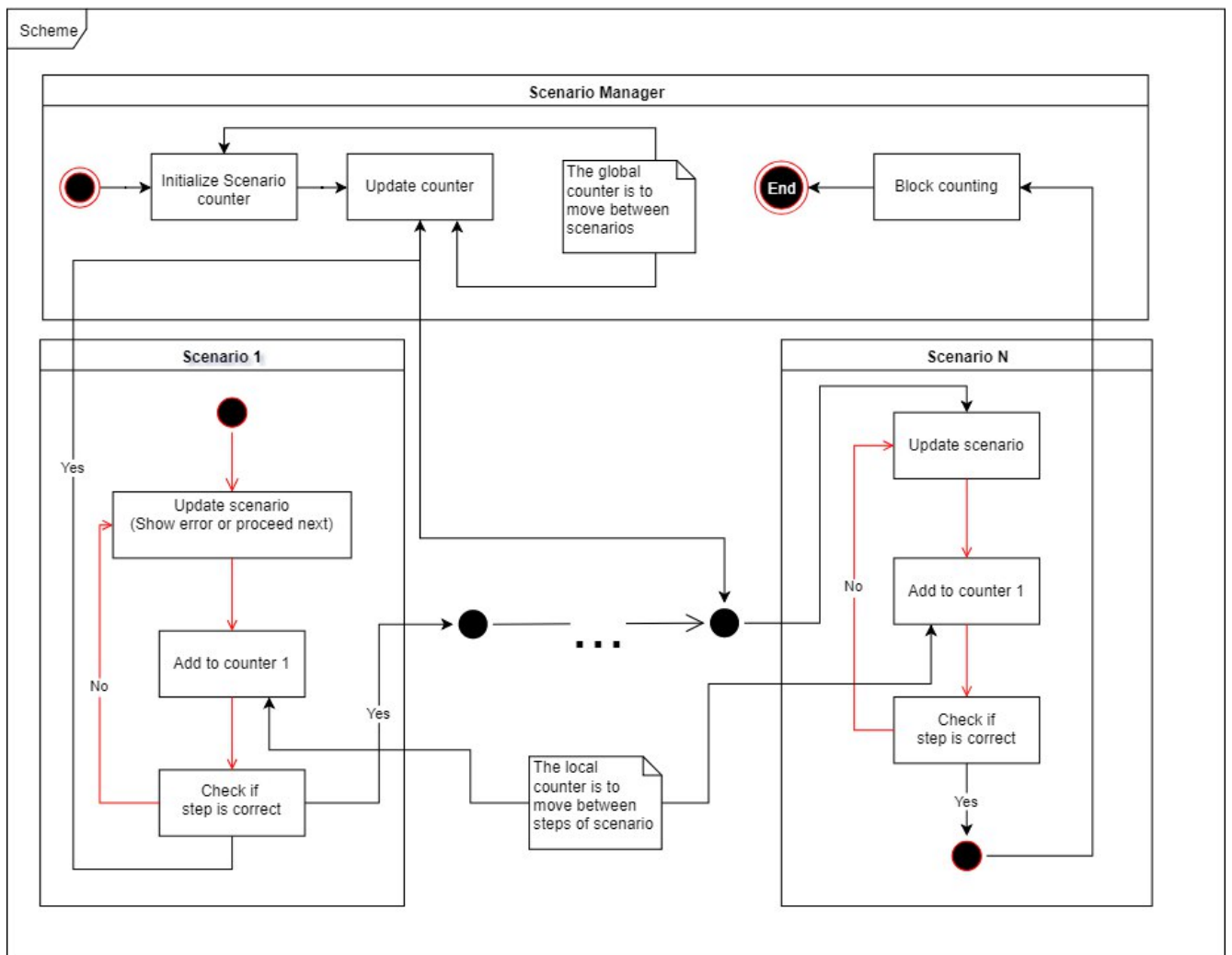


Рисунок 2.24 – Логическая схема работы сценария

Разработанная модель виртуального тренажера позволяет описать сценарии различных предметных областей (биотехнологические анализы, медицина, горное дело, электротехника, криминалистика и т. д.) в структурированной форме, удобной для хранения, понимания, редактирования, графического отображения (как в виде графов, так и в виде иерархических списков). Предложенная модель виртуального тренажера позволяет решить следующие задачи:

1) воспроизведение виртуального тренажёра в режиме виртуальной реальности, что обуславливает сам принцип работы конечных автоматов, где переход в новое состояние требует, чтобы все предыдущие состояния, которые с ним связаны, были выполнены;

2) обеспечение адаптивной настройки структуры данных (сценария, виртуального окружения, звукового сопровождения и т. п.) под конкретную предметную область;

3) обеспечение расширяемости методами агрегации и наследования реализуемых сущностей за счет разделения данных;

4) хранение информации, достаточной для воспроизведения в виртуальном тренажёре;

5) возможность трансляции подготовленного в нодовом редакторе сценария в стилизованный текст на натуральном языке, формализованный по нотации Бэкуса–Наура – в частности, для проверки научным консультантом адекватности описания процессов виртуального тренажера. В перспективе (см., например, [54]) достижима обратная операция – генерация из текстового описания процессов на натуральном языке в представление в нодовом редакторе.

2.2 Модель обучения в виртуальной лаборатории

Процесс обучения – это управляемый процесс взаимодействия обучаемого с обучающим курсом (или областью знаний), освоение которого необходимо и достаточно для осуществления профессиональной деятельности. Совокупность обучающих материалов и связей между ними, определяющих их логическую взаимозависимость, – пространство знаний обучающего курса. Таким образом, процесс обучения – это деятельность обучаемого по освоению пространства знаний как системно организованной структуры, приводящей к интеграции знаний, полученных в результате выполнения действий, и в итоге приводящей к синтезу целостной системы знаний у обучаемого.

Компетентностно-ориентированная модель процесса обучения (см., например, [66]) должна:

- отражать *свойства целостности и делимости* пространства знаний обучающего курса;
- отражать процесс обучения как процесс освоения пространства знаний;
- позволять оценивать степень достижения цели обучения как освоения знаний и умений в их целостности, т. е. овладения профессиональными и общекультурными компетенциями.

Концептуальная модель процесса обучения представляет собой *описание* ключевых компонент процесса обучения, их свойств и взаимосвязей, реализующего компетентностную парадигму [27; 75].

Модель пространства знаний K можно представить в виде

$$K = \langle S, R \rangle, \quad (1)$$

где S – множество элементов пространства знаний, R – множество отношений на S , обеспечивающих связность и полноту модели пространства знаний K .

Для отражения целостности и делимости пространства знаний в качестве модели обучающего курса может быть выбрана алгебраическая решетка

(рис. 2.25), как наиболее общий способ алгебраического представления множеств с заданными свойствами [100].

В контексте обучающего курса элемент $a+b$ является основанием для любых элементов. Элемент $a*b$ является основанием к освоению элементов a и b .

Максимальная цепь представляет собой последовательность логически связанных элементов, в которую по определению не могут быть добавлены дополнительные элементы. Значит, пространство знаний не бесконечно делимо, т. к. мышление человека, по существу, континуально, а его представление дискретно.

В результате действия человеческого мышления и осознания полученной информации, элементы последовательности связываются между собой, выстраивая континуум пространства знаний.

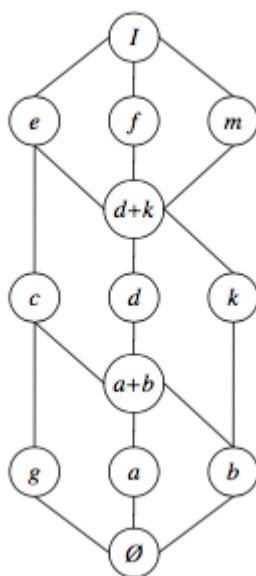


Рисунок 2.25 – Алгебраическая решетка как модель пространства знаний обучающего курса

В общем случае решетка не дистрибутивна. Недистрибутивная решетка неразложима на подмножества фрагментов знаний, т. е. пространство знаний несво-

димо к простому объединению фрагментов, в этом проявляется свойство *синергизма знаний* [100].

Таким образом, построение отдельного обучающего курса в избранной предметной области должно формироваться из множества связанных неделимых фрагментов знаний.

Свойства связности и полноты модели позволяют разрабатывать расширяемые обучающие курсы на принципах декомпозиции исходного курса и последовательной замены его отдельных элементов. Свойство делимости, присущее модели, позволяет выделять в структуре обучающего курса отдельные фрагменты, обладающие свойствами пространств знаний.

Основываясь на этих принципах, применимых в общем случае, необходимо выстраивать концепцию организации обучения в приложении виртуальной реальности из отдельных обучающих блоков, предназначенных для освоения полного и неделимого фрагмента пространства знаний. Виртуальное окружение даёт более целостную картину моделируемого физического мира или технологических процессов.

2.3 Принципы вовлеченности

Процесс прохождения виртуального эксперимента в среде виртуальной лаборатории некорректно считать обучающей игрой, если в нем отсутствуют элементы геймификации, стимулирующие вовлечение в игровой процесс, например, – раскрытие тайны, загадки, неожиданный поворот событий, сопровождающийся эффектными действиями (взрыв, вспышка) или требующий быстрого реагирования и верного выбора. В случае отсутствия подобных интерактивных элементов обучающий будет проходить по рутинным, заранее прописанным процедурам линейного сценария. Тем не менее, несмотря на его ограниченность, даже для ли-

нейного сценария виртуального эксперимента необходим документ, подробно описывающий игровую механику, – геймдизайн, или дизайн-документ [143].

Как показано в [93], процесс игры (для виртуальной лаборатории – виртуального эксперимента) активно вовлекает игрока (для виртуальной лаборатории – обучаемого). Согласно [89], вовлечение активно до тех пор, пока игровой процесс даёт игроку новые знания, при этом игрок остается заинтересованным в них. Слишком сложная игра уровня выше общего развития пользователя “отбивает” интерес.

Задача геймдизайна заключается, в том числе, и в проектировании вовлеченности, с соблюдением баланса между качеством обучения, уровнем мотивации и наличием вариативности сценария.



Рисунок 2.26 – “Железный треугольник” вовлеченности

Данный баланс предлагается представить в виде “железного треугольника” вовлеченности (рис. 2.26):

- доступность игрового (для виртуальной лаборатории – образовательного) уровня для познания;
- мотивация (достижение, ожидание поощрения или интересного продолжения, награда за прохождение уровня, соперничество и др.);
- вариативность сценария.

Соответственно, любой продукт можно представить как точку в данном треугольнике, находящуюся на разных расстояниях от его вершин, что иллюстрирует степень баланса между тремя указанными параметрами.

Соблюдение подобного баланса является нетривиальной задачей, поскольку некоторые когнитивные и мотивационные цели находятся в противоречии друг с другом, и, как следствие, максимизация одной цели может отрицательно отразиться на другой. Достижение вовлеченности должно быть реализовано ещё в геймдизайне.

Сценарий виртуального эксперимента должен отражать этот баланс “железного треугольника” вовлеченности. Использование визуального редактора позволяет реализовать эти аспекты сценария, соотнеся компоненты редактора сценариев с геймификационными элементами геймдизайна, тем самым в явном виде решая одновременно задачи как проектирования сценария, так и повышения вовлеченности (как следствие, и качества усвоения материала).

Один из реализованных подходов вовлеченности предложен в [108] для студентов, изучающих программирование: в рамках игры студенты анализируют задачи, формулируют и пишут программы для потенциально выигрывающих стратегий. Основываясь на опыте, студенты могут совершенствовать свои стратегии для достижения лучших результатов, и, как следствие, мотивация студентов к заданию значительно повышается. Студенты готовы тратить больше времени на повторяющуюся практику.

2.4 Модель тренажера с использованием виртуальной реальности

Общей характеристикой обучающих тренажеров в виртуальных иммерсивных средах нужно отметить сильную зависимость эффективности обучения от качества системы, включая сценарий и внедрение практик повышения иммерсивности, а также от того, как пользователь работает с системой.

Предложенную в [76] классификацию обучающих игр можно применить к иммерсивным обучающим тренажёрам в общем.

Имитационные и ситуационные модели с реализацией в VR моделируют реальные условия профессиональной деятельности специалиста, однако предоставляют обучаемому большую свободу действий. Такие модели позволяют отработать профессиональные навыки, при этом отсутствуют риски, связанные с работой в реальных условиях. Необходимые для развития навыков знания пользователь должен извлекать самостоятельно или использовать готовые правильные решения, такие case-study он может впоследствии применить в аналогичных случаях.

Методы управления процессом обучения определяют способы организации управления и напрямую зависят от реализации обучающей системы.

Линейные стратегии обучения задают последовательность освоения предметной области, но управление обучением в этом случае является **разомкнутым**, т. е. преподаватель (методист-научный консультант виртуального тренажёра) как субъект управления задает возможную последовательность обучения (сценарий виртуального тренажёра) в виде структуры описания изучаемой предметной области, при этом не учитывая поведение обучаемого во время тренинга. Как итог: слабый контроль над процессом обучения; ориентация на среднестатистического студента; снижение мотивации обучающегося и эффективности обучения.

Адаптивные подходы задают зависимость от различных характеристик обучающегося – включая характеристики, получаемые в момент прохождения тренинга, через носимые системы снятия человеческих биосигналов и их интерпретации в режиме реального времени. Такие адаптивные подходы, по сути, применяют индивидуальную методику обучения, а их эффективность зависит от того, как реализованы автоматические механизмы управления обучением в зависимости от реакций пользователя.

В **траекторных** методах управления порядок изучения дисциплины регламентируется рабочими программами, в которых устанавливается последовательность действий обучаемого.

Практико-ориентированные модели позволяют реализовывать индивидуальные траектории обучения, сохраняя специфику траекторного подхода.

Нужно отметить, что траекторные подходы не учитывают таких существенных свойств процесса обучения, как накопление и наложение знаний [59], не обуславливают формирование у обучаемого целостного образа предметной области, и не позволяют сформировать целостную систему профессиональных компетенций.

При создании виртуальных тренажёров с погружением в иммерсивные среды, построенные на принципах гомоморфной редукции физических сред, для большей эффективности обучения необходимо использовать имитационные или ситуационные модели, причём подходят как разомкнутые, так и траекторные методы управления обучением, при возможности с выстраиванием адаптивных подходов (рис. 2.27).

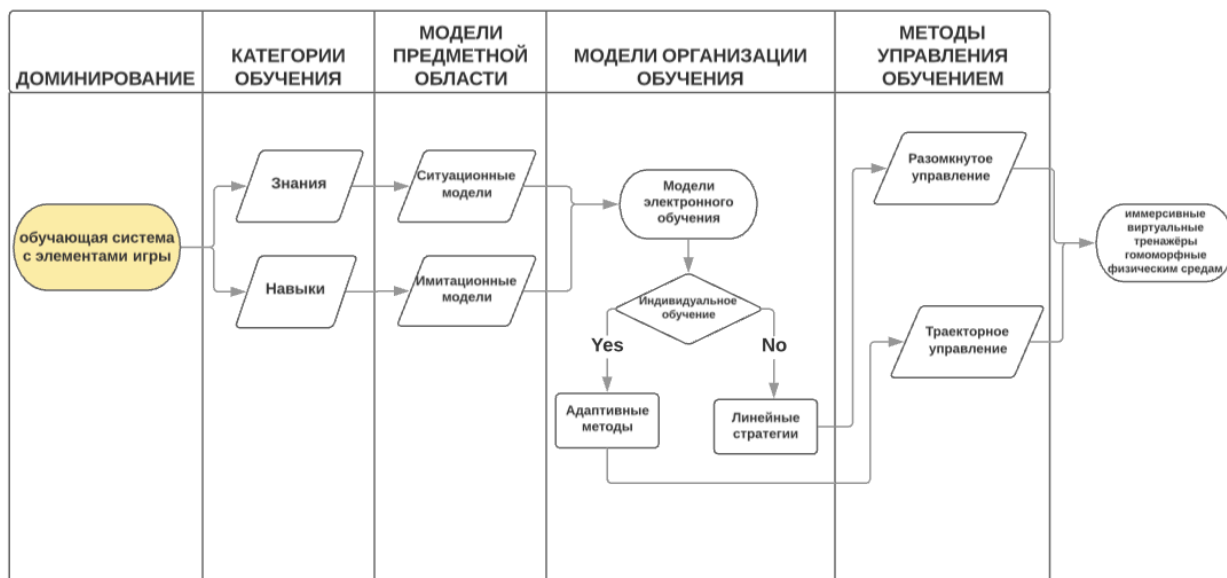


Рисунок 2.27 – Комплексная модель организации обучения и управления обучением в VR-тренажёре

2.5 Модель операции оценки качества виртуального тренажера

Одними из первых полнофункциональных тренажеров в России были тренажеры, связанные с авиацией, – так как слишком высока цена ошибки по управлению машиной, и желательно, чтобы автоматизм во всех операционных действиях был произведен на устройстве, находящемся на земле.

Создание тренажеров предполагает применение [26] ряда принципиально новых методологических концепций, находящихся на патентном уровне, например, программное обеспечение для тренажеров, установленных в EPRI NDE Center Training и на электрических станциях, разрабатывают специализированные фирмы типа Western Services Corporation.

Э. Денисон в своем классическом труде “Исследование различий в темпах экономического роста” [30] утверждал, что 16% современного экономического роста США достигается благодаря повышению уровня образованности персонала, 34% – в результате технического переоснащения на более эффективное оборудование и методы производства, которые также являются связанными с образованием персонала, и только 12% роста производит установка нового оборудования.

Проведенные исследования [31] показывают, что своевременное и качественное обучение персонала приведет к 3%-му дополнительному росту ВВП. По мере увеличения сроков обучения рентабельность ассигнований в профессиональную подготовку человека превосходит прибыльность вложений в физический капитал и, соответственно, окупится быстрее. В связи с этим затраты на обучение персонала можно рассматривать не как непроизводительные затраты, а как инвестиции в развитие.

Эффективность – одна из возможных характеристик (но не единственная) качества системы с точки зрения соотношения затрат на ее разработку и внедрение результатов функционирования этой системы. В зависимости от того, какие

затраты и особенно какие результаты принимаются во внимание, можно говорить об экономической, технической и/или дидактической эффективности системы.

Каждую систему можно характеризовать с помощью различных показателей [73], число которых для сложной системы весьма велико. Вместе с тем, желательно иметь более общую, причем единую, интегральную оценку. Такой комплексной оценкой является *дидактическая эффективность*. Она должна быть компактной, то есть емкой, но в то же время охватывать не один, а ряд аспектов применения и функционирования системы.

Если представить цель операций как конечный эффект (для виртуального тренажера – это получение оператором навыков и умений), то эффективность должна выражать меру достижения этого эффекта.

Такая мера должна измерять степень приспособленности системы к выполнению своих функций и позволять сравнивать одни системы с другими. Оценка, соответствующая лишь двум уровням (да/нет, хорошо/плохо), недостаточна. Оценка “лучше/хуже”, “больше/меньше”, как показывает практика, обладает значительной степенью субъективности, оставляет большую свободу толкованиям и дискуссиям и не может быть признана достаточной. Очевидно, что необходимо располагать характеристиками некой эталонной системы, с которой производится сравнение.

Кроме того, желательно ввести некоторую метрическую шкалу, не требующую сравнения с базовой системой. При этом тот, кто собирается оценивать эффективность, получает и метод, и возможность ее измерения.

Под термином “критерий” мы понимаем наиболее характерные признаки, на основе которых производится окончательная оценка объекта и принимаются те или иные решения. Помимо критериев обычно используется множество различных показателей [12; 13], представляющих собой частные характеристики как самого объекта, так и его элементов: каждый критерий или показатель изменяется в

определенном интервале, исходя из этого, для него должна быть указана область существования, т. е. максимальные и минимальные значения.

Для объектов новой техники, к каким, несомненно, следует отнести и тренажеры, необходима количественная оценка эффективности. Очевидно, что недостаточно эффективные объекты так же, как объекты, требующие чрезмерно больших затрат, могут быть признаны неперспективными, а создание их прекращено. Во избежание излишних затрат средств, времени и труда необходимо, чтобы контроль эффективности (качества) осуществлялся на всех стадиях создания новой техники, включая разработку, испытания, наладку и эксплуатацию, то есть, в отличие от приведенных выше общепринятых примеров определения эффективности внедрения тренажеров, указанный контроль эффективности, очевидно, должен носить характер промежуточности.

Характеристика “эффективный” может относиться к совершенно различным объектам, не имеющим между собой ничего общего. Поэтому должна быть описана корректная постановка задачи, сформирована модель операции оценки качества виртуального тренажера с внешними и внутренними факторами, подлежащими учету, сформулированы требования, определено понятие эффективности, подлежащее оценке, и выбраны критерии и показатели эффективности.

2.6 Определение эмоционального состояния оператора

Повышение качества человеко-машинного взаимодействия и решение связанных с этим проблем требуют применения новых подходов к проектированию и реализации человеко-машинных интерфейсов, учитывающих особый характер системной организации живого и его свойства самоорганизации. Поэтому в качестве математической модели всех взаимодействий оператора с виртуальной средой, в которую он помещён, необходимо использовать биологически инспирированные когнитивные архитектуры [111].

Для качественного и количественного анализа этих данных был использован подход, предлагаемый психологом Лёвхеймом [154]. Куб эмоций Лёвхейма [119] – это теоретическая модель, основанная на отношении между уровнем нейромедиаторов и испытываемых эмоций. Эмоции являются одними из важных особенностей человека. В последние годы огромные усилия прилагаются для разработки технологий, которые позволят моделировать эмоции, сфера приложений таких симуляций очень широка – от нейрореабилитаций до робототехники (см., например, [155]).

Восемь углов куба эмоций Лёвхейма соответствуют восьми возможным комбинациям низкого или высокого уровней трех видов нейромедиаторных моноаминов: серотонин (5-НТ, 5-гидрокситриптамин), дофамин (DA) и норадреналин (NE), которые образуют оси системы координат, а восемь основных эмоций, обозначенных в соответствии с теорией Сильвана Томкинса [156–158], размещены в восьми углах (рис. 2.28).

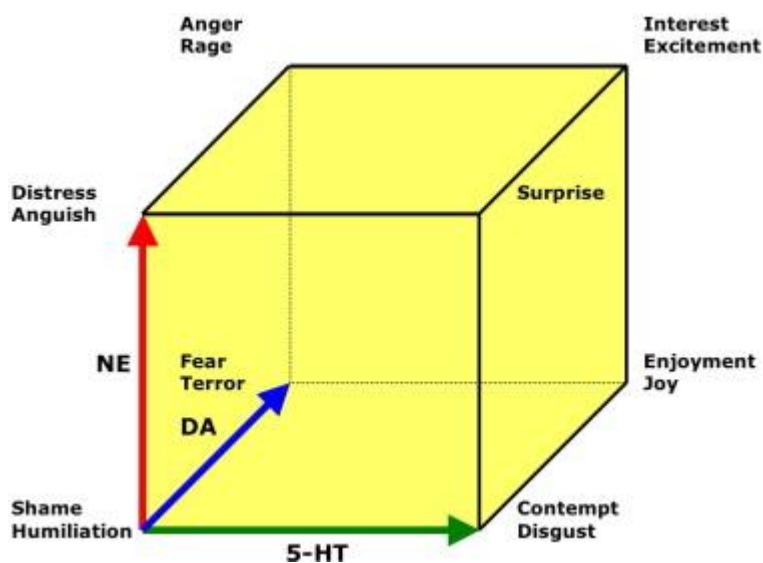


Рисунок 2.28 – Трехмерная модель эмоций и моноаминовых нейротрансмиттеров

Каждый конец стрелок представляет собой низкий и высокий уровни сигнализации соответственно. Модель предполагает прямую связь между конкретными комбинациями уровней сигнальных веществ и некоторых основных эмоций. Важ-

но отметить, что нейротрансмиттеры и их рецепторы не имеют полного контроля над эмоциями.

Согласно Лёвхейму (см. табл. 2.1), ось серотонина представляет уверенность в себе, внутреннюю силу и удовлетворение; ось дофамина показывает уровень мотивации; в то время как ось норадреналина представляет собой возбуждение, настороженность и внимание.

Чтобы моделировать эмоции, необходимо изначально понять, какие эмоции человек испытывает при воздействии на него внешних стимулов. Некоторые из разработок ориентированы на распознавание выражений лица, анализ речевого сигнала [88], резкие повороты головы и тела. Однако, хотя эти методы и хороши, но эмоции испытуемых могут быть сфальсифицированы – человек может влиять на их выражение, и такие методы не позволяют точно определить эмоциональное состояние человека.

Оценка вкладов каждой новой подсистемы в увеличение возможностей систем человека реализована через исследование изменения эмоционального состояния оператора, основанных на регистрации и анализе физиологических сигналов, поступающих с коры головного мозга, кожного покрова оператора, помещенного в виртуальной среде и активно в ней действующего.

Для реализации снятия бионейросигналов (или физиологических сигналов) человека в различных ситуациях используется конструктор компании ViTronics [86], позволяющий легко проектировать простые человеко-машинные интерфейсы, работающий через плату Arduino UNO. Конструктор включает в себя: модуль мышечной активности (ЭМГ), модуль мозговой активности (ЭЭГ), сенсор пульса человека, модуль сердечной активности (ЭКГ), сенсор сопротивления кожи (КГР), модуль биорадиолокации (БРЛ). Другие решения для снятия биоданных человека (например, электроэнцефалограф 21-channel Clinical Diagnostic EEG System Neuron-Spectrum-4/P [79] от Компании NeuroSoft, поддеваемый под VR-шлем)

позволяют регистрировать сигналы высокого качества, низкий уровень шума дает возможность применять щадящую фильтрацию или не проводить фильтрацию вообще, что максимально сохраняет полезную информацию в исходном сигнале.

Таблица 2.1 – Уровни нейромедиаторов, участвующих в эмоциях в кубе Лёвхейма

Эмоции	Серотонин	Дофамин	Норадреналин
Стыд	низкий	низкий	низкий
Тоска	низкий	низкий	высокий
Страх	низкий	высокий	низкий
Гнев	низкий	высокий	высокий
Отвращение	высокий	низкий	низкий
Удивление	высокий	низкий	высокий
Радость	высокий	высокий	низкий
Возбуждение	высокий	высокий	высокий

Стимулирование эмоций можно инициировать различными способами, например, визуальными [117], аудио или аудиовизуальными [120] эффектами, при переживании прошедших эмоциональных событий [127]. Результаты исследования [126] подтверждают, что комбинированный аудиовизуальный стимул сильнее, чем просто визуальный стимул.

Важно, чтобы ключевые события в виртуальной реальности сопровождались ожидаемыми эмоциональными переживаниями, ср. *техноконструирование личности* [61–63].

Сигналы, детектируемые с коры головного мозга (например, ЭЭГ), содержат артефакты (движение глаз, работа мышц). Полное удаление артефактов влечет за собой удаление полезной информации. Для удаления артефактов используется фильтр Лапласа (SL) [91], который позволяет снизить уровень шумов и улучшить пространственное разрешение записываемого сигнала:

$$X_{new} = X(t) - \frac{1}{N_E} \sum_{i=1}^{N_E} X_i(t),$$

где X_{new} – отфильтрованный сигнал, $X(t)$ – входные данные, N_E – количество соседних электродов. К распознаванию эмоций на основе физиологических сигналов используются разные методы, такие как непараметрический метод выделения признаков на основе вейвлет-преобразования (WT) [122], преобразование Фурье (FFT) [144], преобразование Фурье по короткому промежутку времени (SFFT) [153]. Вейвлетные базисы могут быть хорошо локализованными как по частоте, так и по времени, недостатками вейвлет-преобразований является их относительная сложность. Серия проведенных экспериментов на основе данных ЭЭГ и КГР от тестовой группы с использованием алгоритмов машинного обучения Decision Tree [142] и Random Forest [106; 144] подтвердила гипотезу верности теории модели куба эмоций Лёвхейма на полученном наборе данных (Табл. 2.2–2.4). Показатели уровня дофамина и серотонина более взаимосвязаны по сравнению с норадреналином, низкие показатели можно обусловить недостаточным набором данных. В статье о диагностике депрессии [154] показано, что норадреналин наиболее выражен в префронтальной зоне, что подтвердили проведенные вычисления обработанных данных.

После подтверждения [112] этой гипотезы были разработаны компоненты, позволяющие улучшить показатели алгоритмов классификации для прогнозирования уровней дофамина и серотонина на основе физиологических сигналов.

Таблица 2.2 – Результаты по прогнозированию уровня норадреналина

DecisionTree	RandomForest	DeepLearning
Recall 87,5%	Recall 66,67%	Recall 60%
Precision 70%	Precision 80%	Precision 75%
F-measure 77,78%	F-measure 72,79%	F-measure 66,67%

Таблица 2.3 – Результаты по прогнозированию уровня серотонина

DecisionTree	RandomForest	DeepLearning
Recall 20%	Recall 12,67%	Recall 20%
Precision 20%	Precision 20%	Precision 16,67%
F-measure 20%	F-measure 15,51%	F-measure 18,18%

Таблица 2.4 – Результаты по прогнозированию уровня дофамина

DecisionTree	RandomForest	DeepLearning
Recall 20%	Recall 14%	Recall 20%
Precision 16,67%	Precision 22,4%	Precision 20%
F-measure 18,18%	F-measure 17,23%	F-measure 20%

2.7 Прогнозирование уровней нейромедиаторов для вычисления эмоций пользователя, погруженного в виртуальную среду

ЭЭГ – чувствительная методика исследования, она отражает минимальные изменения функции коры головного мозга и глубинных мозговых структур, показывая миллисекундное временное разрешение, которое не могут предоставить другие методы исследования мозговой активности, такие, как ПЭТ и ФМРТ.

Электроэнцефалография дает возможность качественного и количественного анализа функционального состояния головного мозга и его реакций при действии раздражителей.

Для интерпретации данных мозговой активности и кожно-гальванической реакции диссертантом был разработан специальный компонент, синхронизирующий событийный нарратив сценария и снятые данные, полученные при помощи биодатчиков.

Таблица 2.5 – Значения коэффициентов корреляции

Выборка X	Выборка Y	Значение коэффициента корреляции r
Блок визуального восприятия	Блок вовлеченности	0,352
Блок аудиального восприятия	Блок вовлеченности	0,441
Блок контроля	Блок вовлеченности	0,513

С использованием машинного обучения предварительной калибровки сигналов оператора на основе событийного нарратива в виртуальной реальности, уверенно вызывающего основные (чистые) эмоции – страх, удивление, радость и т. д., был разработан метод прогнозирования уровня нейромедиаторов на основе мозговой активности. По соответствиям испытываемых эмоций и уровней нейромедиаторов (см. табл. 2.5) в протокол прохождения обучения в виртуальной среде записываются: данные бионейросигналов, соответствующие им уровни нейромедиаторов и вычисленные на этих основаниях эмоции, которые позволяют сделать выводы о степени иммерсивности обучающей среды и вовлеченности (оператора) в процесс обучения.

2.8 Параметры, влияющие на иммерсивность среды

После анализа параметров, влияющих на уровень (степень) иммерсивности сред, можно сделать некоторые выводы:

1) Виртуальная среда оказывает абсолютно различное влияние на разных субъектов, в частности, из-за неодинаковых параметров организма и разного жизненного “невиртуального” опыта. Например, в [38] показано что движения глаз и степень выраженности иллюзии векции¹⁰ у групп испытуемых с разной степенью устойчивости работы системы определения положения тела в пространстве будут различаться.

2) Существующее оборудование для виртуальных сред, несомненно, повышает иммерсивность, однако не является совершенным из-за погрешностей технических средств, веса этого оборудования – на данной технологической фазе зачастую является недостаточно комфортным для максимального погружения.

3) Киберболезнь является серьезным фактором, понижающим иммерсивность среды, она трудно полностью подавляема за несовершенством существующих технологий и индивидуальной реакцией пользователей на виртуальные среды.

4) На сегодняшний день имеется достаточное количество экспериментальных данных о вовлечении различных областей коры головного мозга в возникновение векции, а также обнаружены некоторые изменения в динамике мозговой активности при переживании данной иллюзии. Однако, как отмечают многие авторы, результаты этих исследований зачастую не согласуются между собой из-за различий в используемой стимуляции и методов оценки выраженности иллюзии (см., например, [128]).

5) Изоляция виртуальной среды от физической и симуляция собственного передвижения (векция) создают сложность для повышения иммерсивности среды, так как наиболее иммерсивное передвижение требует больших свободных пространств.

6) Максимальный эффект присутствия так же на данный момент не дости-

¹⁰ Векция – иллюзия движения собственного тела, в частности в условиях виртуальной реальности.

жим из-за того, что современные технологии затрагивают не все органы чувств человека, не идеально симулируют некоторые другие ощущения (в частности, осязательные, например, температура, вес виртуальных предметов, их текстура).

7) Использование для оценки иммерсивности и присутствия виртуальной обучающей среды субъективных результатов тестов (см., например [61]) не позволяют с большой точностью оценить, какой уровень присутствия ощущает пользователь, находящийся в виртуальной среде.

Таким образом, основная гипотеза такова – для каждого отдельного субъекта иммерсивной среды должны поддерживаться уникальные условия и выполняться определенные факторы, выявляемые с помощью обследований субъекта на его специфические особенности организма, анализа когнитивных функций, при которых уровень иммерсивности, измеренный с помощью существующих методов оценки эффекта присутствия, будет иметь максимальное значение.

Для проверки этой гипотезы нами были проведены специальные испытания с участием группы из 20 испытуемых, как с опытом общения с VR, так и без него. Испытуемым было предложено выполнить несколько заданий в виртуальной среде: на реакцию, векцию, ориентацию в пространстве по звуку, непривычные условия для вестибулярного аппарата. Все испытания сопровождались снятием температуры тела, КГР, ЭЭГ и последующим анкетированием по опроснику присутствия Витмера и Сингера [136; 173; 174].

На основании эксперимента были рассчитаны значения корреляции для того, чтобы установить, есть ли связь между факторами среды и вовлеченностью пользователей между 1) значениями блоков визуального восприятия виртуальной среды и вовлеченности; 2) значениями блоков аудиального восприятия виртуальной среды и вовлеченности; 3) значениями блоков контроля и вовлеченности.

Для вычислений был использован коэффициент корреляции Пирсона¹¹, который характеризует связь между двумя величинами:

$$r_{XY} = \frac{cov_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2(Y - \bar{Y})^2}},$$

где $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_t$ и $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Y_t$ – средние значения выборок, cov_{XY} – ковариация, величина, характеризующая совместное распределение двух случайных величин. Величинами выборки X в данном случае являлись суммы оценок, данных пользователями в качестве ответа на вопросы подблока, выбранного для вычисления коэффициента корреляции (визуального восприятия/аудиального восприятия/контроля) в случае каждого сеанса взаимодействия с VR.

2.9. Субъективные характер иммерсивности виртуальной среды

Интерпретация результатов эксперимента показывает, что:

1) Нельзя выявить оптимального значения яркости/контрастности, так как для каждого испытуемого существуют наиболее комфортные значения этих параметров.

2) Добавление внешних факторов среды, таких, как вентилятор и доска для задания на проверку вестибулярного аппарата, также оказывало различные эффекты на испытуемых, замечены как повышение показателя иммерсивности, так и понижение, выраженное ухудшением самочувствия. Предположительно это связано с слабо развитым вестибулярным аппаратом и киберболезнью, вызванной конфликтом между ощущениями и поступающей информацией.

3) Добавление внешних факторов среды, таких, как утяжелители на руки, не произвели ожидаемого эффекта, так как контроллеры HTC Vive и так достаточно тяжелые, и лишний вес в преобладающем количестве случаев внес только допол-

¹¹ Коэффициент корреляции Пирсона разработали Карл Пирсон, Фрэнсис Эджуорт и Рафаэль Уэлдон в 1890-х годах.

нительный дискомфорт, так как руки быстро уставали при выполнении задания.

4) Большое влияние оказало наличие опыта пребывания в виртуальной среде у некоторых испытуемых. Пользователи, которые имели опыт, ощущали больший эффект присутствия, так как им не приходилось адаптироваться, и они ощущали себя комфортно в условиях VR при работе с привычным оборудованием. Однако в некоторых случаях испытуемые, не имея опыта, достаточно быстро адаптировались к виртуальной среде, что предположительно объясняется индивидуальными физиологическими особенностями пользователей.

5) Первое прохождение каждого конкретного задания оказывало различное влияние на пользователей: некоторые испытуемые, оказываясь в условиях виртуальной реальности впервые, испытывают восторг и большую заинтересованность в происходящем, не обращая внимания на какие-то неудобства или несоответствия, вследствие чего испытывают больший эффект присутствия. Однако затем эти пользователи больше вглядывались в виртуальную среду, перенимали её законы, и некий эффект “эйфории” от нового опыта исчерпывал себя, что приводило к понижению значений ряда оценок в анкетировании. С другой стороны, опытные пользователи VR в большинстве случаев объективно оценивали возможности среды, поэтому первое прохождение заданий не влияло на испытываемый ими эффект присутствия.

6) Субъективные методы оценки иммерсивности не позволяют с большой точностью оценить, какой уровень присутствия ощущает субъект виртуальной среды, так как все пользователи интерпретируют вопросы и оценки по-своему, поэтому некоторые результаты оказались гораздо отличными от средних значений.

7) Полученный коэффициент корреляции показал слабую связь визуальной составляющей и уровень вовлеченности. Это может быть связано с тем, что каждый пользователь имеет свои ожидания относительно визуальной части VR – для

некоторых важнее события, происходящие в среде, и такие пользователи больше концентрируются на них, для других же большее значение имеет визуальная составляющая, то есть испытуемые хотели видеть более реалистичное окружение, иметь возможность подробно рассматривать предметы с разных ракурсов и т. д.

8) Коэффициент корреляции между аудиальным восприятием и вовлеченностью дал значение, близкое к тому, что отражает среднюю взаимосвязь. Значит, аудиальная составляющая имеет значение для пользователей, но не является ключевым.

9) Коэффициент корреляции между способностью контролировать свои действия и события в среде и вовлеченностью дал среднее значение, что говорит о достаточной степени важности устройств контроля и, значит, – о важности технологических аспектов эффекта присутствия.

10) Полученные коэффициенты корреляции не получились высокими, т. е. по итогам эксперимента ни один из параметров не влияет напрямую на уровень иммерсивности. Это предположительно говорит о том, что иммерсивность трудно достижима без наличия определенных факторов в комплексе, то есть нельзя достигнуть максимального эффекта присутствия, проигнорировав настройку некоторых факторами или заменив их другими.

11) Также результаты могут являться недостаточно достоверными, так как выборка данных по 24 испытуемым недостаточно велика и не дает большой точности в плане исследований, использующих исключительно количественные величины.

12) Дополнительные вопросы, направленные на получение качественных характеристик, позволили более полно оценить эффект присутствия, ощущаемый испытуемыми. Такая методология, несмотря на то, что она тоже является субъективной, позволяет различать больше степеней присутствия и напрямую выявлять некоторые противоречия в восприятии испытуемых. Этот подход убеждает в важ-

ности психологических аспектов феномена погружения и позволяет более тонко настроить виртуальную среду под каждого конкретного пользователя.

13) В ходе дополнительного опроса был выявлен социальный фактор, влияющий на уровень иммерсивности.

После обсуждения интерпретации результатов экспериментов необходимо ещё раз отметить, что иммерсивность виртуальной среды имеет субъективный характер и для вычисления усредненного уровня необходимо нормирование реакций субъекта на некоторые из базовых общечеловеческих психологических кросскультурных стимулов (агрессия, страх, удовольствие, отвращение и т. д.) [88].

2.10. Методика количественной оценки степени иммерсивности виртуальной среды

Таким образом, предлагается следующий подход для выявления уровня иммерсивности виртуальной среды и связанных с ним (а) степени вовлеченности пользователя и (б) оценки эффективности его обучения:

1) калибровочные реакции субъекта на контрольные стимулы на стадии погружения в виртуальную среду с получением основных биосигналов (температура тела, КГР, ЭЭГ);

2) нормирование их к средне человеческим реакциям с получением усредненного коэффициента впечатлительности (эмоциональной подвижности) пользователя;

3) протоколирование реакций пользователя в процессе его нахождения в виртуальной среде;

4) интерпретирование реакций с учетом усредненного коэффициента впечатлительности пользователя для получения выражения в числовых значениях куба эмоций Лёвхейма;

5) низкие (до 10%) числовые величины эмоциональных всплесков на про-

тяжении всего нахождения в виртуальной среде говорят о низком уровне иммерсивности среды;

6) высокие (больше 20–30%) числовые величины эмоциональных всплесков в определенные обучающие моменты, сформированные по сценарию, сигнализируют о высокой степени вовлеченности в процесс обучения, которые, стоит подчеркнуть, неизбежно будут уменьшаться при повторных итерациях пользователя в одной и той же среде, что эффективно показал нобелевский лауреат Eric Kandel в 1970 годах и получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине “За открытия, касающиеся передачи сигналов в нервной системе” (совместно с А. Карлссоном и П. Грингардом) [52];

7) оценка эффективности обучения пользователя в виртуальной среде формируется на контрольных тестовых этапах с замером скорости реакции на поставленные средой задачи, уверенности выбора верных действий и уровня удовольствия от пройденного этапа.

Для дальнейшего построения функции на восприятие пользователем иммерсивного воздействия среды необходимо провести серию экспериментов с привлечением антропологов, психологов и нейропсихологов, что может являться темой отдельной работы, возможно с учётом инвазивных параметров, полученных в клинических исследованиях.

Выводы

1. Проанализированы различные варианты для записи процесса обучения в виртуальном тренажере, на основе этого анализа выбрана оптимальная модель конструктора сценариев, позволяющая описание различных предметных областей в структурированной форме, которая также позволяет обеспечить адаптивную настройку структуры данных для выбранной предметной области; обеспечить

расширяемость сценариев методами агрегации и наследования; реализовать хранение и воспроизведения виртуального тренажёра.

2. Сформулирована необходимость корректной постановки задачи создания виртуального обучающего тренажера с четкими целями и со строгой согласованной формулировкой используемых критериев и показателей оценки качества виртуального тренажера с внешними и внутренними факторами, и выбраны критерии и показатели эффективности обучения.

3. Описан баланс “железного треугольника” вовлеченности, соблюдение которого является нетривиальной задачей, поскольку некоторые когнитивные и мотивационные цели находятся в противоречии друг с другом, и, как следствие, максимизация одной цели может отрицательно отразиться на другой. Показано, что достижение вовлеченности должно быть реализовано ещё в геймдизайне и зафиксировано при проектировании сценария виртуального тренажера.

4. Предложен метод снятия биосигналов пользователя, находящегося в виртуальной среде.

5. Предложен метод интерпретации данных биосигналов пользователя, находящегося в виртуальной среде.

6. Проведены эксперименты в виртуальной реальности, доказывающие субъективный характер иммерсивности виртуальной среды.

7. Предложены подходы выявления уровня иммерсивности виртуальной среды и, связанных с ним (а) степени вовлеченности пользователя и (б) оценки эффективности его обучения.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЁРОВ И ИХ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

3.1 Принципы разработки автоматизированной системы

При разработке единого подхода создания тренажеров с использованием виртуальной реальности (далее тренажер) необходимо учитывать, что главная задача – эффективная реализация осваиваемого фрагмента знаний конкретной предметной области.

И поэтому, в первую очередь, процесс разработки должен включать следующие этапы: (1) изучение предметной области, включая детализированное описание всех симулируемых процессов и объектов виртуального мира; (2) описание действий при регламентном режиме работы симулируемых процессов; (3) описание действий при изменении режимов работы; (4) описание процессов принятия правильных решений, включая непривычные ситуации; (5) проверка и оценка навыков и знаний. Полнота описания возможных ситуаций, детализация и точность моделирования симулируемых процессов определяются задачами осваиваемого фрагмента знаний конкретной предметной области. Симулируемые процессы могут быть представлены в виде как статической, так и динамической модели.

Статическая модель предполагает описание различных состояний объекта при отсутствии внешних возмущений. Такая модель не описывает процесса перехода объекта из одного состояния в другое. В диссертационной работе эта модель использовалась для создания виртуального полигона осмотра места происшествия (см. Главу 4, раздел 4.2).

Динамическая модель позволяет имитировать на тренажере процесс работы симулируемого процесса или управляемого объекта во времени, в том числе имитировать поведения объекта в случае каких-либо технологических нарушений, неисправности оборудования или иных внешних воздействий. На основе динами-

ческой модели необходимо создавать тренажеры для приобретения навыков управления оборудованием с непрерывным процессом. В зависимости от характера управляемого объекта такой тренажер может работать в реальном или сжатом масштабе времени. В диссертационной работе эта модель использовалась для создания виртуальной биотехнологической лаборатории (см. Главу 4, раздел 4.1). К динамической модели относится и рассмотренный пример создания виртуальной операционной по обучению аппендэктомии (см. Главу 4, раздел 4.3), где имитируется поведение органов человека в момент проведения открытой хирургической операции.

Тренажер должен иметь несколько режимов работы: тренировка – где пользователь должен, находясь в виртуальной реальности, выполнить действия строго по сценарию, следуя подсказкам, и эксперимент – где пользователь должен воспроизвести ранее изученную последовательность действий при возникающих ситуациях в виртуальном окружении, при этом существует система контроля, следящая за правильностью действий и их последовательности, а также режима подсказок в реальном времени. При конструировании тренажера необходимо моделировать нештатные ситуации, вызывающие критичные ошибки, аварийные события, фатальную неосторожность. Этот процесс можно отнести к одному из проявлений геймификации, о важности которой в мотивировании процесса обучения говорилось в Главе 2, раздел 2.3.

3.1.1 Методология разработки автоматизированной системы

Концепция многофункциональных виртуальных тренажерных комплексов основана на следующей непрерывной схеме обучения (рис. 3.1): теоретические знания → погружение в предметную область с использованием тренажера → тестирование → выявление узких мест → выбор направлений дополнительной подготовки → необходимые материалы → погружение в предметную область.

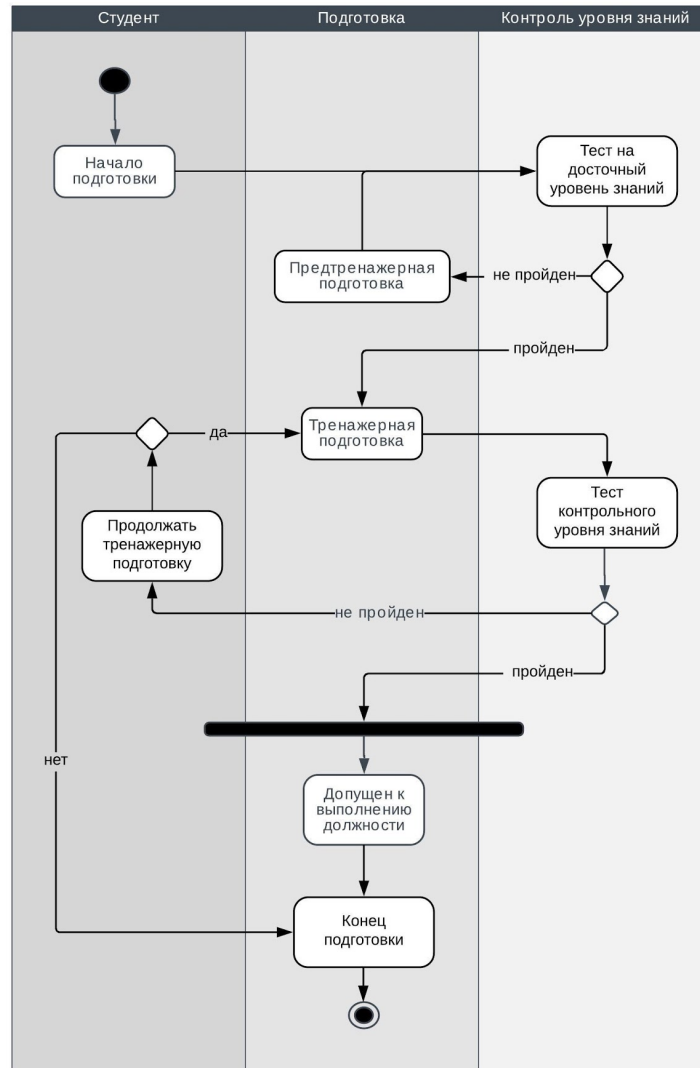


Рисунок 3.1 – Диаграмма деятельности, отражающая алгоритм подготовки с учетом предтренажерной и тренажерной фаз

Разработка автоматизированной системы для создания многофункциональных тренажеров с использованием виртуальной реальности разбивается благодаря разделению функциональных составляющих комплекса на работу разных групп разработчиков: экспертов в выбранной предметной области, программистов, 3D-дизайнеров и других специалистов, отвечающих за информационное наполнение обучающей виртуальной среды. К программным компонентам относятся: конструктор сценариев (для создания логического описания модели обучающего тре-

нажера), редактор функций и интерпретатора виртуальной среды в виртуальной реальности.

Необходимо использование онтологии, описывающей систему понятий виртуальной среды, в рамках которой создаётся тренажер, связей между понятиями и ограничения целостности. Эта система может быть описана в терминах онтологии экспертами предметной области, как правило, не знакомыми с языками программирования и технологией разработки программных систем. Как было показано выше, использование конструктора сценариев для реализации онтологии снижает трудоемкость разработки тренажёра. Различными группами разработчиков выполняются такие этапы работ:

1. **Онтология.** В онтологии должны быть описаны 2 уровня – логический и презентационный, что позволяет произвести разделение работ между группами разработчиков.

2. **Сценарий.** Эксперты формируют (проектируют) логическое описание тренажера в конструкторе сценариев на основе онтологии виртуальной среды тренажера, которая включает описание объектов виртуальной среды, действий и обучающих заданий.

3. **Дизайн.** Дизайнеры (скетчеры, 3D-моделеры, текстуровщики, аниматоры, левел-дизайнеры) формируют визуальное 3D-представление всех объектов виртуальной среды многофункционального виртуального тренажера.

4. **Звук.** Аудио-отдел (саунд-дизайнеры во главе с аудио-директором, композиторы, мастеринг-инженеры, звукорежиссеры) формируют звуковое сопровождение как отдельных событий, сопровождающих различные физические процессы различных виртуальных объектов (например, столкновение, удар, всплеск, взрыв и т. д.), так и фоновые звуки, сопровождающие виртуальную среду (звуки природы, ветра, животных, шум улиц, гам толпы, сообщения по радиосвязи и т. д.), или озвучку эффектов игрового процесса (ошибка, победа, поражение, достижение и

т. д). Звуковое сопровождение в первую очередь влияет на иммерсивность виртуального мира.

5. **Программирование.** Программисты разрабатывают дополнительные скрипты-агенты, реализующие специфичное поведение объектов виртуальной среды предметной области, ссылки на которые вносятся в графическую модель сценария.

6. **Контроль.** В процессе выполнения действий и команд в тренажере происходит проверка ожидаемых действий по сценарию, после которой сообщается о результате. Если действие было выполнено в соответствии со сценарием, то выдается сообщение о правильном выполнении.

Представим графически наиболее существенные взаимосвязи процессов разработки виртуального тренажера и его работы (рис. 3.2).

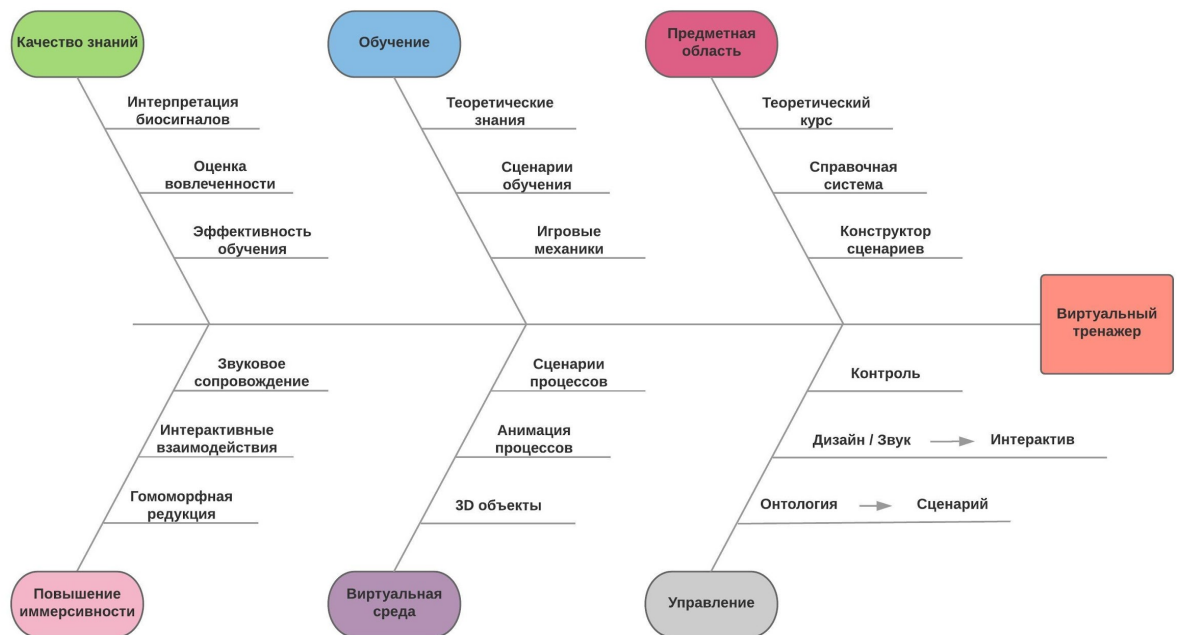


Рисунок 3.2 – Диаграмма Исикавы комплекса работ по созданию и работе виртуального тренажера

Описанная модель процессов разработки тренажера является сочетанием каскадной и спиральной моделей методологии MSF (Microsoft Solution Frame-

work) (см. [125]). Первая версия MSF появилась в 1994 году. Текущая версия – MSF 4.0 была представлена в 2005 году. В этой версии произошло разделение методологии на два направления: MSF for Agile Software Development и MSF for CMMI Process Improvement. Каскадная модель предусматривает чёткий переход к следующему этапу только после выполнения предыдущего. Спиральная модель используется, когда требования и параметры проекта подвержены постоянной корректировке. В случае разработки автоматизированной системы создания обучающих тренажеров с использованием виртуальной реальности сформулированные требования часто подвергаются коррекции. По модели процессов MSF проект реализуется поэтапно, по контрольным точкам, а последовательность этапов может повторяться по спирали.

3.1.2 Технология проектирования автоматизированной системы

В качестве языка проектирования автоматизированной системы виртуальных тренажеров был выбран язык UML (см., например, [68]), который применялся на следующих стадиях разработки АС [22; 23; 34]:

1. Анализа требований – для описания процессов, которые управляют автоматизированной системой, и определения области деятельности системы и требования пользователя (была создана диаграмма прецедентов системы с основными процессами). Диаграммы прецедентов дали возможность выделить функциональную структуру системы, не вдаваясь в детали её реализации. Была проведена классификация объектов системы. На основании построенной модели был составлен план разработки системы.

2. Системное проектирование – данная стадия включает в себя решения верхнего уровня относительно разработки системы в целом, где была реализована архитектура системы (диаграмма развертывания).

3. Детальное проектирование – стадия описания способов решения задач, выполняемых системой, включая функции, классы системы и графический интерфейс. Была разработана диаграмма классов, включая отношения между классами и их атрибутами. На основании диаграмм последовательности, взаимодействия, состояний и активности была разработана модель поведения объектов в системе. С помощью неё были установлены зависимости между классами, произведено разделение системы на модули, выделены реализуемые классы.

3.1.3 Выбор среды разработки автоматизированной системы

В качестве платформы реализации автоматизированной системы выбрана платформа Unity [163] – популярная среда разработки, которая позволяет создавать кроссплатформенные приложения, включая многопользовательские приложения виртуальной реальности.

Unity соответствует необходимому ряду требований, которые были предъявлены к платформе разработки: иметь возможность запускаться с любой операционной системы или хотя бы на повсеместно используемых Windows, Linux, MacOS; поддерживать высокое разрешение, систему затенения, сглаживание; иметь расширенный физический движок, поддерживать сложные взаимодействия (жидкостей, мягких тканей, твердых предметов); поддерживать модульность и иметь возможность улучшения первичного функционала; иметь возможность поддержки манипуляторов; при необходимости генерировать приложения, которые способны запускаться как веб-решения, чтобы быть доступными в интернете; а главное, иметь возможность использовать шлемы виртуальной реальности, например, HTC Vive, Oculus Rift, Lenovo Explorer, и другие новые иммерсивные устройства.

Unity – современный фреймворк с удобной визуальной средой разработки, межплатформенной поддержкой, модульной системой компонентов и постоян-

ным обновлением. Открытое сообщество активно разрабатывает новые легко интегрируемые инструменты. На Unity написаны тысячи [70, с. 24–26] приложений, симуляций и игр, которые охватывают все платформы и жанры. Unity используется как крупными разработчиками, так и независимыми студиями, популярна у indie-разработчиков¹².

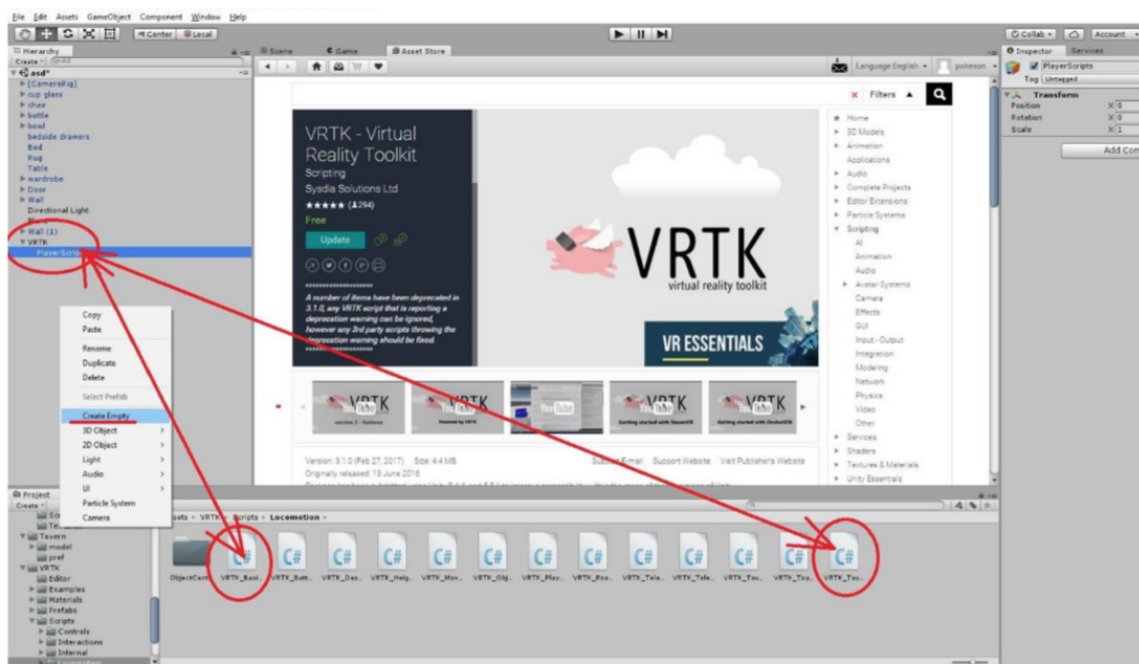


Рисунок 3.3 – Импорт VRTK в Unity-проект

Для реализации в Unity тренажера в виртуальной среде используется свободно-распространяемый инструментарий Virtual Reality Tool Kit (VRTK) [166], который предоставляет набор полезных сценариев и концепций, которые охватывают ряд общих решений, таких, как передвижение в виртуальном пространстве и интерактивные взаимодействия:

1. VRTK_CameraRig, который обеспечивает управление камерой шлема виртуальной реальности и контроллерами внутри приложения,

¹² Разработчики, существующие за счёт собственных ресурсов, известны как независимые или инди-разработчики и обычно создают инди-игры (англ. Indie game, от англ. independent video game – “независимая компьютерная игра”), создаваемые без финансовой поддержки издателя компьютерных игр.

2. `VRTK_InteractableObject`, который делает объект на сцене интерактивным,
3. `VRTK_ControllerEvents`, который даёт возможность взаимодействия контроллеров с интерактивными объектами внутри приложения.
4. `VRTK_InteractGrab`, который позволяет настроить, как будет взят интерактивный предмет, какой будет точка прикрепления, каким из контроллеров это действие можно будет сделать (правым или левым).

Стоит отметить, что для режима тестирования VRTK (рис. 3.3) предлагает встроенное решение VR Simulator, который работает без стороннего SDK¹³. Для поддержки каждого отдельного VR-устройства требуется, чтобы поддерживаемый VR SDK был импортирован в проект Unity. Например, для поддержки шлемов виртуальной реальности HTC Vive и HTC Vive Pro используется SteamVR, для шлемов Oculus Rift – Oculus SDK.

3.2 Функциональная структура автоматизированной системы

Функции, которые должна выполнять АС:

1. описание интерактивной виртуальной среды;
2. ввод и редактирование учебного материала, вспомогательной информации, формирующей содержательную часть виртуального тренажёра по конкретной предметной области;
3. ввод и редактирование сценариев обучения виртуального тренажёра по конкретной предметной области;
4. отображение интерактивного визуального интерфейса и виртуального окружения и взаимодействие с ним пользователя;
5. описание взаимодействий в многопользовательском режиме.

¹³ SDK, Software Development Kit – набор разработчика программного обеспечения.

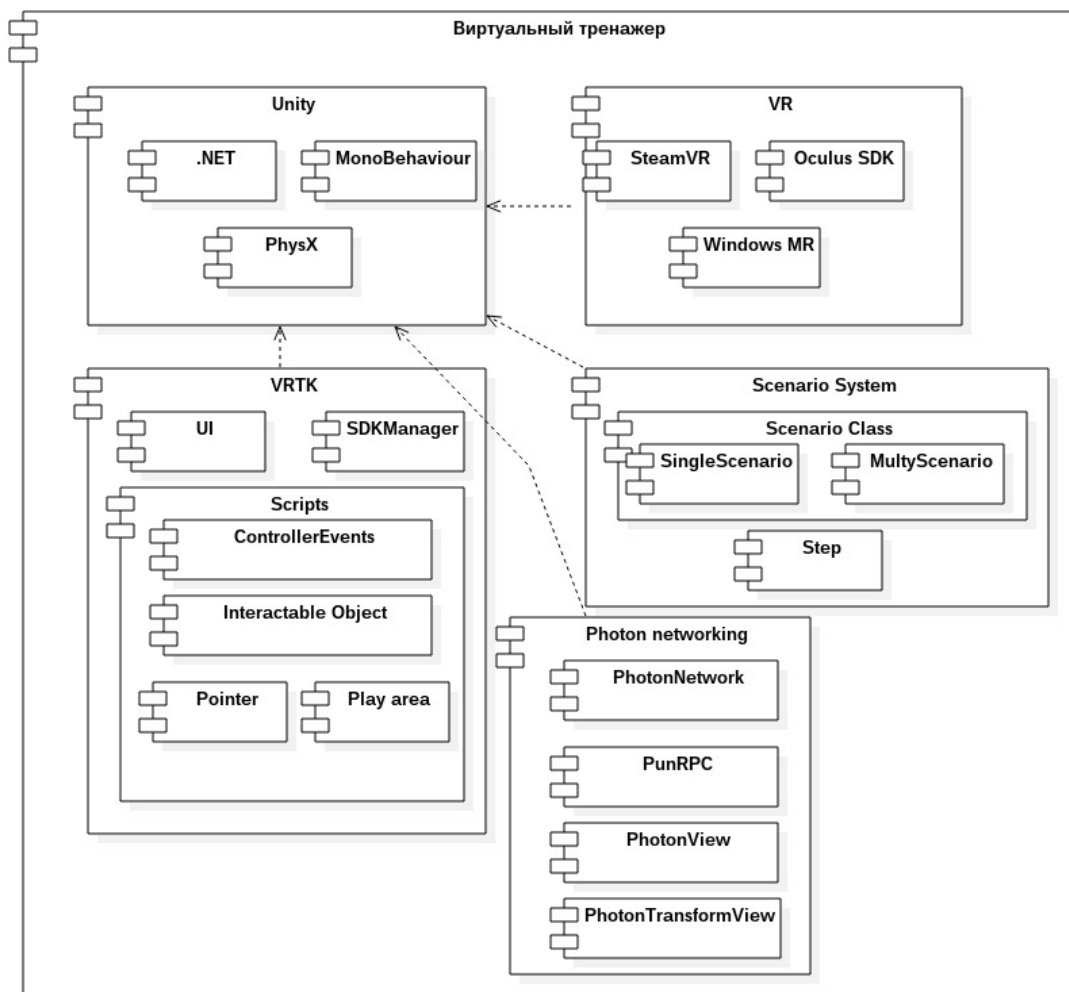


Рисунок 3.4 – Диаграмма компонентов автоматизированной системы

На основе определенных выше функциональных возможностей АС были выделены отдельные компоненты системы (рис. 3.4): компонент Scenario System содержит конструктор сценариев; компонент Unity является ядром доступа к данным – содержит объекты и сцену виртуальной среды и обеспечивает их визуализацию, PhysX используется для симуляции ряда физических явлений; компонент VR отвечает за работу устройств виртуальной реальности; компонент VRTK описывает возможности виртуальной среды по навигации и манипулированию объектами сцены виртуальной среды; компонент Photon Networking отвечает за многопользовательскую реализацию.

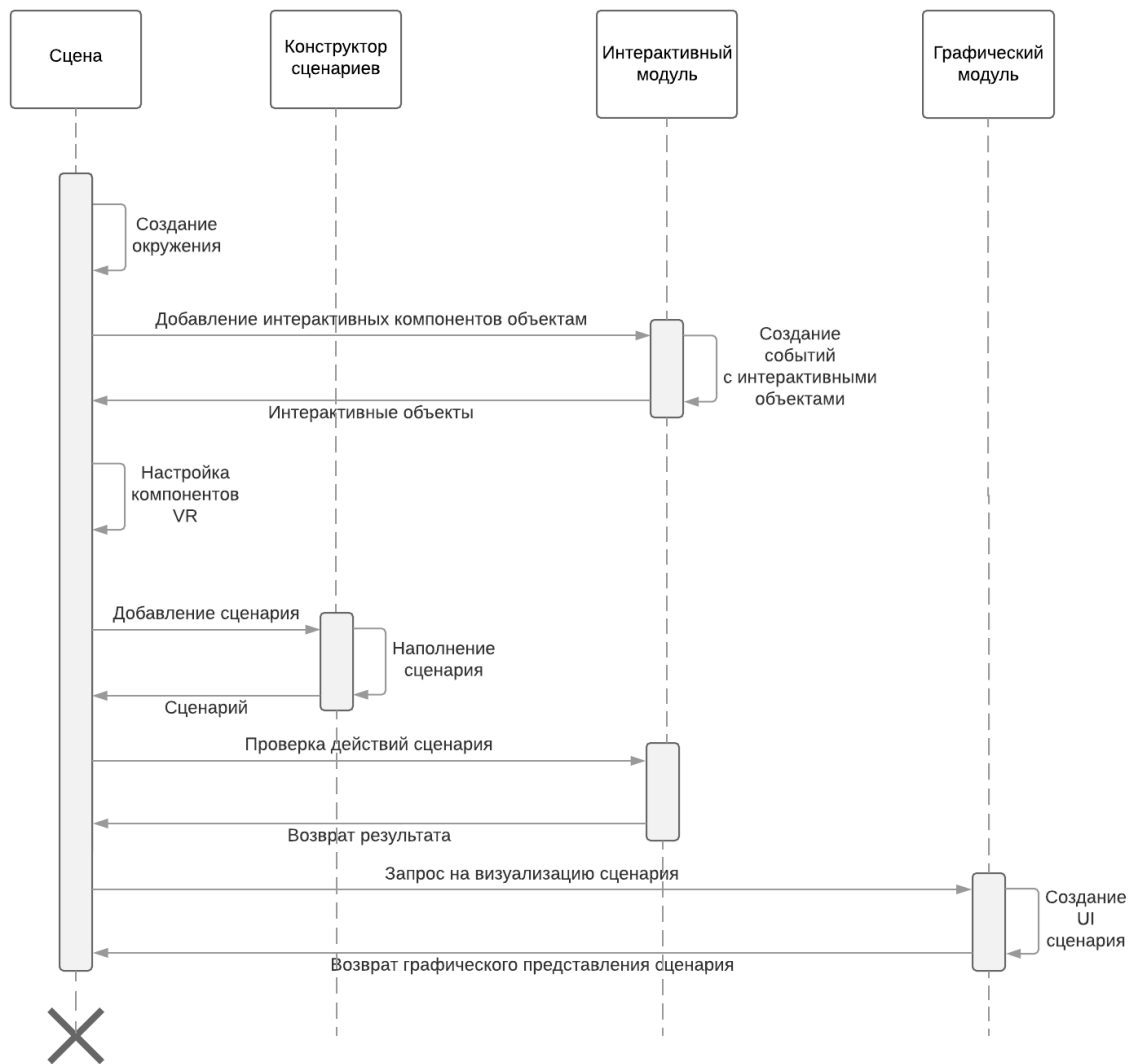


Рисунок 3.5 – Диаграмма последовательности процесса создания виртуального тренажёра

Автоматизированная система включает в себя 2 исполняемых подсистемы:

- 1) подсистему создания виртуальных тренажеров;
- 2) подсистему воспроизведения виртуальных тренажеров.

Как уже упоминалось выше при описании общих подходов к разработке виртуального тренажера, в этом процессе участвуют как IT-разработчики (программист, 3D-моделлер, саунд-дизайнер и т. д.), так и не имеющие специальной IT-подготовки консультанты по предметной области, для работы которых разра-

ботан специальный инструмент – конструктор сценариев, позволяющий визуаль-но проектировать поведение виртуальных объектов в зависимости от действий пользователя. Взаимодействие двух выделенных компонентов обеспечивается че-рез общее хранилище учебного материала в виде сценария и виртуального окру-жения, содержащего в себе иерархию объектов виртуальной сцены, включая зву-ковое наполнение.

Взаимодействие компонентов системы в ходе создания тренажёра по кон-кретной предметной области (в терминах *геймдева*¹⁴ весь цикл разработки обычно называют *пайплайн*¹⁵) этими специалистами можно изобразить UML-диаграммой последовательности (см. рис. 3.5).

3.3 Многопользовательский режим

Как важное свойство тренажёров виртуальной реальности выше нами отме-чена возможность отработки работы в команде. Для реализации многопользова-тельского режима используется библиотека Photon Unity Networking.

Главный компонент сетевого режима – это NetworkManager, он содержит в себе несколько настроек: версия приложения, количество людей в создаваемой виртуальной комнате, видимость её для других пользователей, быстрота передачи пакетов серверу и лимит на подключения.

В данном компоненте содержатся методы, которые обеспечивают работу клиента и сервера в целом: 1) для подключения клиента к серверу используется метод OnConnectedToMaster; 2) для подключения пользователя используется ме-тод JoinRandomRoom, если подключение происходит успешно, то для клиента со-

¹⁴ Геймдев (англ. gamedev) – сокр. Game Development, или процесс разработки игр. Обу-чающие приложения виртуальной реальности, использующие геймификацию, игровые механи-ки, нарративные методики, балансные метрики, оценки вовлеченности и т.д. бесспорно стоит отнести к области разработки игр.

¹⁵ Пайплайн (англ. pipeline) – конвейер, в разработке программного обеспечения это – полный цикл процесса производства приложения.

здается его аватар и добавляются компоненты управления, иначе вызывается метод создания отдельной комнаты.

Безусловно, физическое местоположение и производительность сервера могут значительно влиять на “играбельность” запущенного тренажёра. Клиенты, расположенные на другом континенте относительно сервера, могут столкнуться со значительным запаздыванием. Это физическое ограничение интернета и единственным реальным решением может быть распределение серверов в точках, максимально приближенных к клиентам, которые будут их использовать, или по крайней мере, расположение их на том же континенте.

3.4 Диаграмма состояний сценария

Диаграмма состояний виртуального тренажера (рис. 3.6) отражает переходы состояний шагов в сценарии. Входная точка ожидает действие от пользователя через средства ввода (контроллеры, в частном случае цифровые перчатки). После получения действия – начинается проверка шага по описанному сценарию, при условии отсутствия ошибки осуществляется переход к следующему шагу, пока сценарий не завершен.

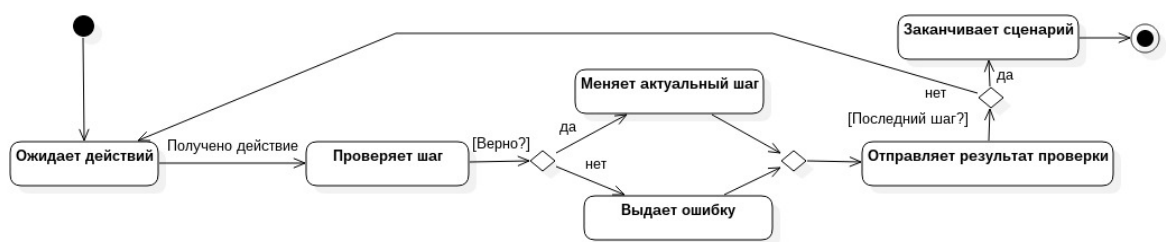


Рисунок 3.6 – Диаграмма состояний виртуального тренажера

3.5 Диаграмма прецедентов сценария

Диаграмма прецедентов сценария виртуального тренажера (рис. 3.7) описывает различные варианты использования доступных действий в конструкторе сценариев при создании и редактировании сценария обучения.



Рисунок 3.7 – Диаграмма прецедентов для конструктора сценариев

3.6 Диаграмма прецедентов тренинга

Диаграмма прецедентов для пользователя, проходящего обучение в виртуальном тренажере (рис. 3.8).

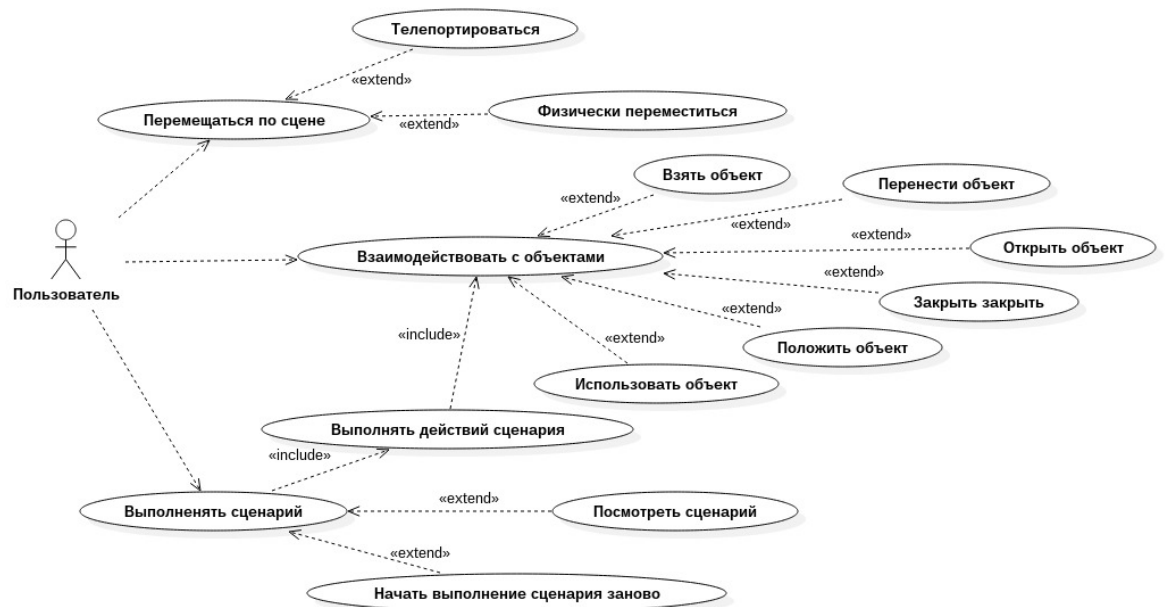


Рисунок 3.8 – Диаграмма прецедентов для пользователя, находящегося в VR

Выводы

1. Автоматизированный подход для создания многопользовательских обучающих тренажёров с использованием виртуальной реальности позволяет включать в команду разработчиков не только IT-специалистов (3D-моделлеров, саунд-дизайнеров, создающих иммерсивное виртуальное окружение, и программистов, описывающих интерактивное взаимодействие объектов виртуального мира), но и консультантов по конкретной предметной области, не имеющих специальных IT-знаний, но выполняющих активную роль для интерактивного описания обучающей виртуальной среды.

2. В качестве модели разработки использована модель процессов MSF, являющаяся компромиссом каскадной и спиральной модели разработки.

3. В качестве языка проектирования АС виртуальных тренажёров использован язык UML, в нотации которого описаны взаимодействие компонентов системы в ходе создания тренажёра по конкретной предметной области командой специалистов, диаграммы состояний и прецедентов сценария, разработана модель поведения объектов в системе.

4. Для реализации многопользовательского режима, значительно расширяющего сферы применения обучающих тренажёров, использована библиотека Photon Unity Networking и описаны методы, которые обеспечивают работу клиента и сервера в целом.

ГЛАВА 4. АПРОБАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЁРОВ И ИХ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

4.1 Виртуальная биотехнологическая лаборатория

В качестве одной из реализаций создания обучающего тренажера был выбран иммуноферментный анализ крови (сокр. ИФА) из трех образцов. Данный анализ необходим для выявления красной волчанки, являющейся серьезным ауто-иммунным заболеванием. Используя в игровом процессе в качестве основного свободный способ перемещения по виртуальному пространству лаборатории, ограничим ожидаемые от пользователя действия только линейными: чтобы продолжить эксперимент, нужно четко следовать инструкции; активные места подсвечиваются желтым свечением. Студенты должны совершать действия строго по сценарию, они будут отображаться в дневнике исследования.

4.1.1 Применение методики создания виртуальной лаборатории

Для реализации модели виртуальной биотехнологической лаборатории в автоматизированной системе создания виртуальных тренажеров необходимо разработать виртуальное окружение, звуковое сопровождение, сценарий эксперимента. После этого тренажер доступен для обучения с использованием шлемов виртуальной реальности.

4.1.1.1 Основные механики

Кроме стандартных возможностей синхронизации физического перемещения с виртуальным, используется режим телепортации – для снижения головокружений при резкой смене виртуального положения используется туннелирование [158] – техника, когда при движении периферийное зрение пользователя ограничивается, обрезая камеру в центре экрана. Инженер Google Software Роб

Джагноу первый предпринял такой метод и сравнивал это с наблюдением локомоции на телевидении.

Другие основные механики, которые должны быть доступны в этой категории тренажеров сводятся к реализации следующих возможностей: взять виртуальный предмет; не отпуская его, иметь возможность передвигать его в пространстве; уронить; при физических характеристиках хрупкости виртуального объекта, достаточных для высоты, с которой предмет падает, разбить его на осколки; вылить или налить жидкость (рис. 4.1); открыть / закрыть часть виртуального объекта (рис. 4.2); вложить / вставить виртуальный предмет в аппаратуру; поставить виртуальный предмет на поверхность.

Можно отметить, что для виртуальных рук используются контроллеры, комплектующие к VR-шлему, или VR-перчатки с обратной связью. Вес предметов пока не имеет промышленных решений, хотя существуют интересные прототипы.

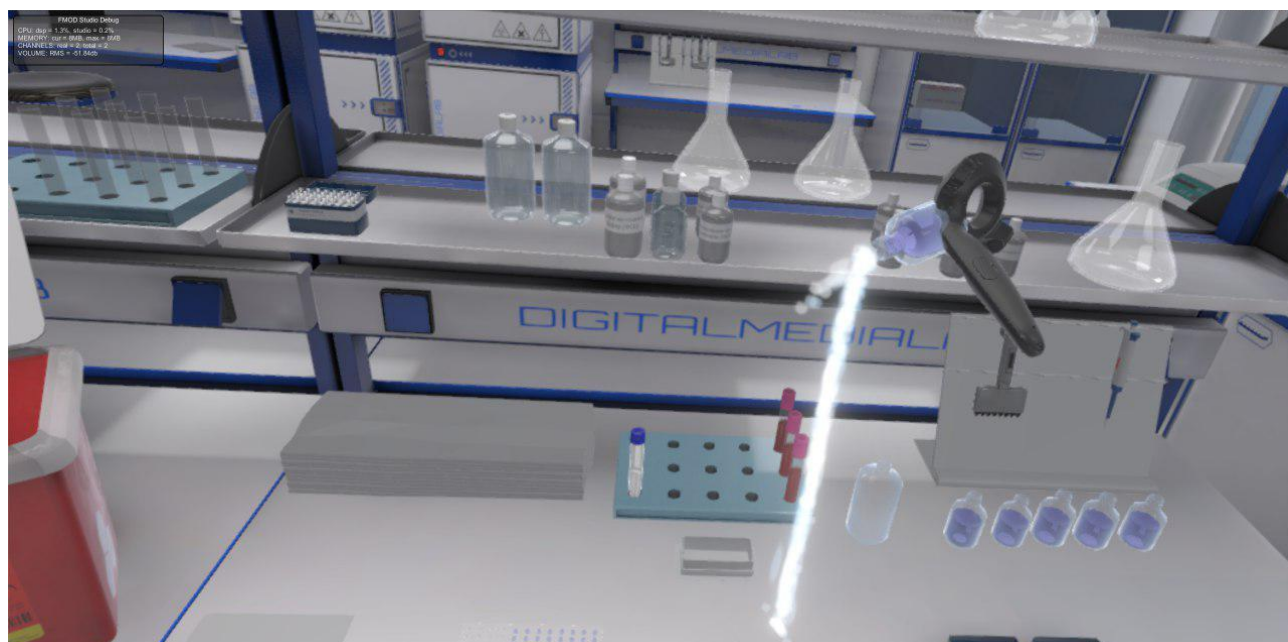


Рисунок 4.1 – Иллюстрация выливания жидкости в виртуальной биотехнологической лаборатории

4.1.1.2 Виртуальное окружение

Для реалистичной реализации необходимо смоделировать научное оборудование, используя изображения реальных объектов. Кроме того, нужно создать для этих объектов анимации (рис. 4.1–4.3) и возможность взаимодействия как внутри, так и друг с другом.

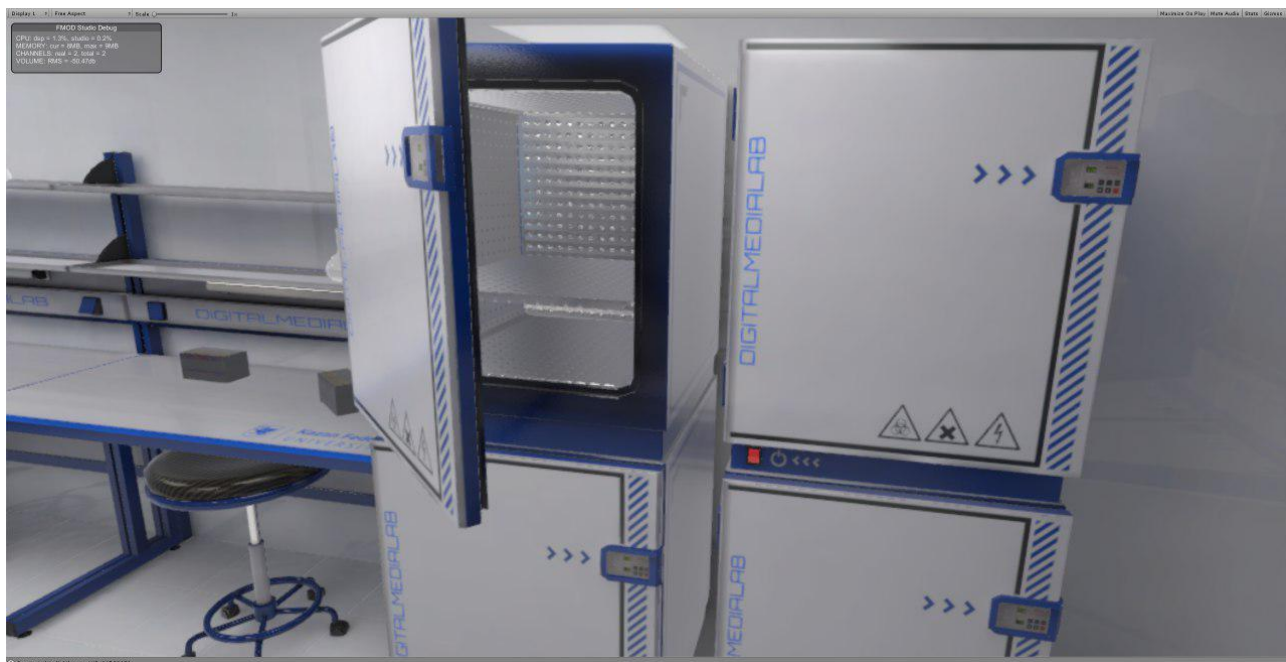


Рисунок 4.2 – Иллюстрация открытия дверей инкубатора в виртуальной биотехнологической лаборатории

Должен быть разработан необходимый ассортимент 3D интерактивных объектов, с анимациями возможных действий с ними, а также описаны способы взаимодействия объектов между собой. 3D интерактивные объекты, необходимые для виртуальной лаборатории ИФА, представлены в Приложении G.

Иллюстрации (рис. 4.4, 4.5) виртуальной биотехнологической лаборатории показывают разную степень проработанности виртуальной среды, наглядно демонстрируя один из способов достижения иммерсивности – высокореалистичность окружения [159; 35].



Рисунок 4.3 – Вид интерактивного предмета – центрифуги



Рисунок 4.4 – Общий вид одной из первых версий отображения виртуальной биотехнологической лаборатории

На рис. 4.4 общий вид одной из первых версий отображения виртуальной биотехнологической лаборатории отражает слабую иммерсивность разработанной виртуальной среды – отсутствие деталей, неестественность освещения, скудное оснащение, не соответствующее реальной лаборатории.



Рисунок 4.5 – Общий вид более поздней версии виртуальной биотехнологической лаборатории

На рис. 4.5–4.7, иллюстрирующих более поздние версии виртуальной биотехнологической лаборатории, можно наблюдать достаточную иммерсивность виртуальной среды – здесь реалистичное окружение, полностью совпадает с реальной лабораторией кафедры генетики КФУ, что является одним из факторов для достижения эффекта “привыкания” к оборудованию, пройдя удаленно курс различных экспериментов на виртуальных аналогах дорогостоящего или опасного оборудования в виртуальной биотехнологической лаборатории, студент должен чувствовать себя более уверенно при работе на реальном оборудовании, что было подтверждено во время апробации (см. Глава 5, раздел 5.2).



Рисунок 4.6 – Другой ракурс виртуальной биотехнологической лаборатории, отображающий достаточную иммерсивность – детали на полках и стенах, не только необходимые, но и “лишние” предметы

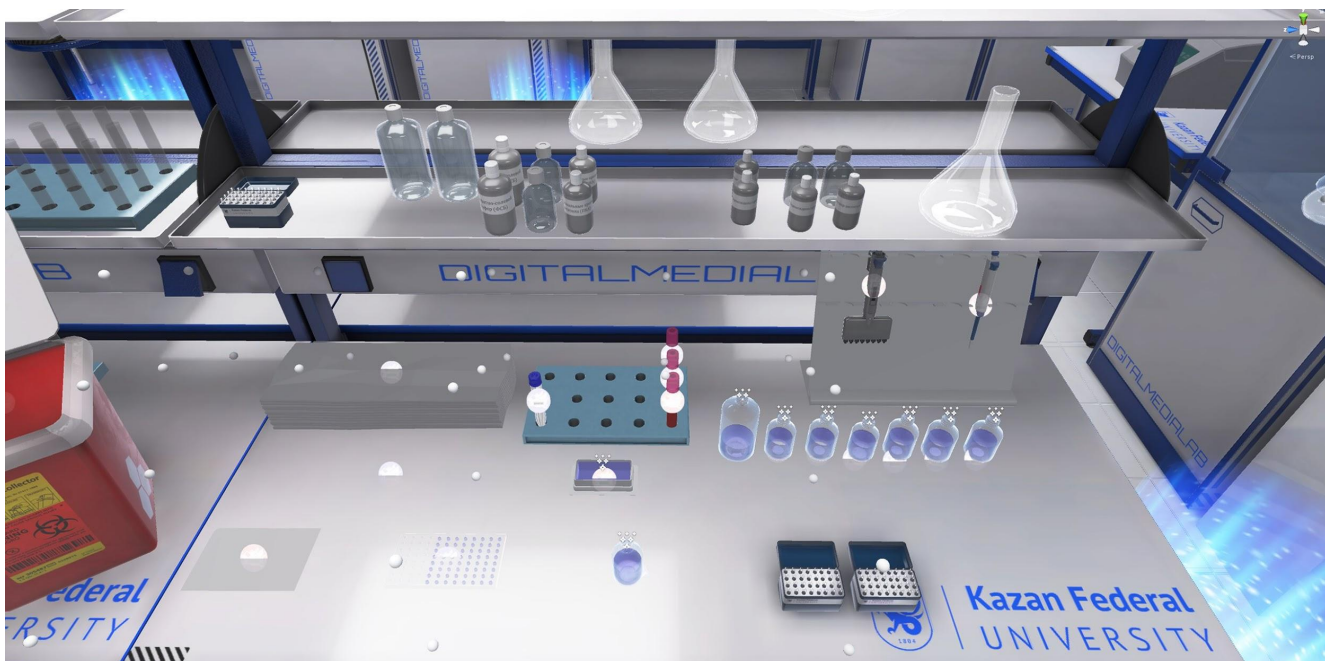


Рисунок 4.7 – Реалистичное освещение, тени и отражения, разная поглощаемость света материалами, рассеивание света – эффекты, усиливающие погружение

4.1.1.3 Звуковое сопровождение

Как наглядно отображено на рисунках 4.5–4.7, важно, чтобы разработанная виртуальная среда была дополнена реалистичным освещением. Другим важным аспектом достижения иммерсивности становится дополнение различных физических взаимодействий виртуальных объектов реалистичным звуком и предпросчитанным эхом.

При озвучке интерьера помещений чаще всего нереально синтезировать реалистичные звуки. В этом случае необходимо подобрать подходящие записи семплов тех или иных процессов. Для этих целей были использованы семплы из аудиостока Soundsnap [151].

В помещении лаборатории на потолке находится несколько светильников, имеются различные приборы для проведения экспериментов и инкубаторы для хранения образцов – все они издают специфические звуки. Однако нельзя излишне перегружать звуковое пространство, озвучены были только 2 светильника на потолке, отдельные семплы для озвучки получают различные устройства. В этом случае не требуется вариативность, поэтому каждой лампе будет соответствовать лишь один звуковой луп, с подключенным к его дорожке спатиалайзером и радиусом распространения в три метра, что соответствует характеристикам реального светильника.

На одной из стен имеются два окна, которым соответствуют отдельные звуковые дорожки с записью городского шума. Следует обратить внимание, что городской эмбиент исходит именно из точек расположения окон, а не прикреплен всегда в качестве статичного шумового фона. Примечательно также, что нельзя использовать один и тот же эмбиент луп на оба окна, хотя это кажется логичным решением в данной ситуации, т. к. в последствии это вызовет либо усиление звукового сигнала на пересечении радиусов охвата каждого окна, либо вызовет еще более неестественный эффект, схожий по звучанию с эффектом от применения

плагинов типа Phaser. Это очень заметный звуковой спецэффект, преимущественно применяющийся для “роботизации” сигнала или добавления легкого металлического перелива в звук. Попытка разделить звучание с помощью смещения первого или второго звуков на несколько центов вверх или вниз, также будет провальной, ведь этим путем получится самый настоящий аккорд, что тоже не способствует погружению и звучит очень неестественно. Таким образом, чтобы предотвратить все эти нежелательные сценарии, было решено взять один и тот же луп, но использовать для первого окна одну его половину, а для второго – оставшуюся. Так получилось реалистичное шумовое оформление, не имеющее конфликтов между составными элементами.

Чтобы окончательно оформить звуковое пространство помещения лаборатории, необходимо подобрать правильные настройки ревербератора, сигнал к которому идет со всех источников звука, находящихся в этой комнате.

Для разработки системы вариативного и адаптивного саунд дизайна необходима программная аудио библиотека, выбор пал на FMOD от Firelight Technologies [97] в связи с тем, что это богатый по функционалу и в то же время свободно распространяемый программный продукт. Основными инструментами для обработки звука в FMOD являются Fmod Spatializer и Fmod Reverb. Спациализатор позволяет имитировать определенное положение звуков в пространстве, а с помощью ревербератора осуществляется возможность имитировать отражения звука в помещении и тем самым создать необходимый эмбиент для более глубокого погружения в происходящее.

На рис. 4.8 представлен пример установок гармоник и отзвуков, которые добавляются и убавляются в зависимости от силы (рис. 4.9) удара стеклянной (glase) бутылочки.

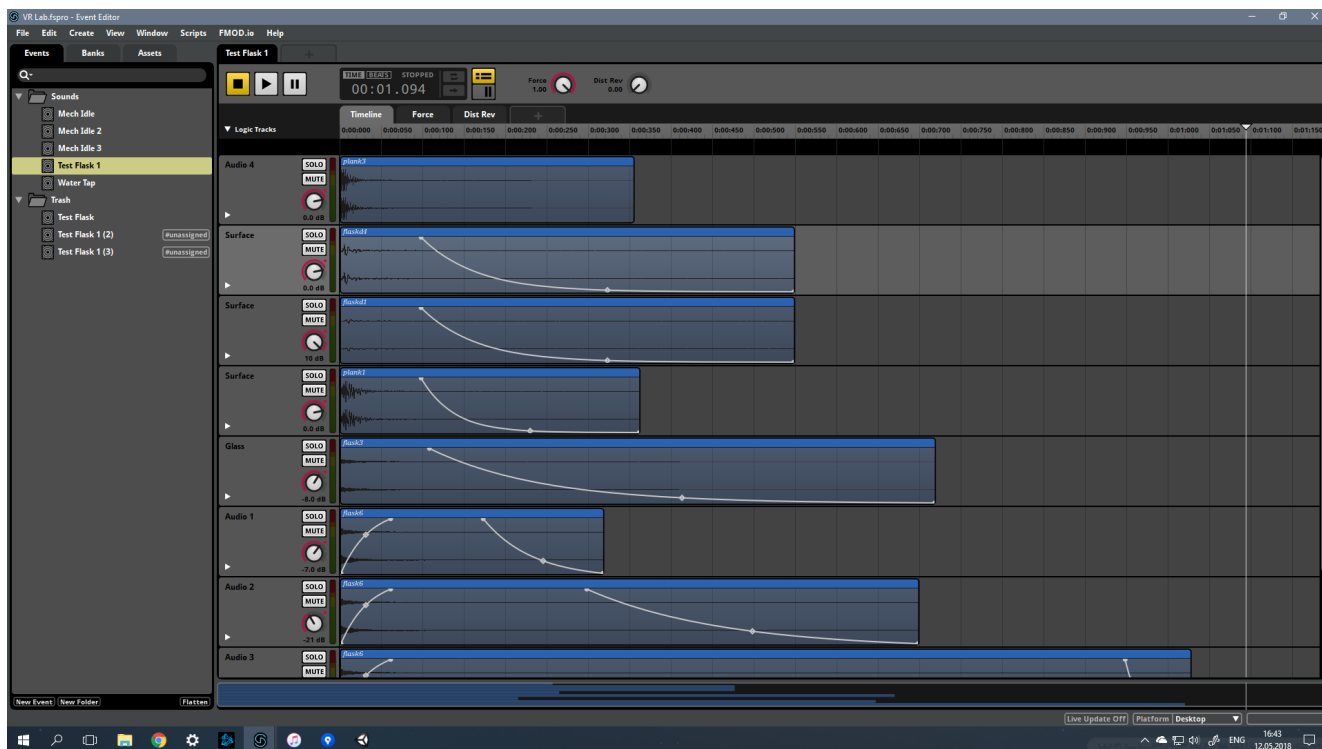


Рисунок 4.8 – Настройка характеристик озвучки столкновения колб в виртуальной лаборатории ИФА

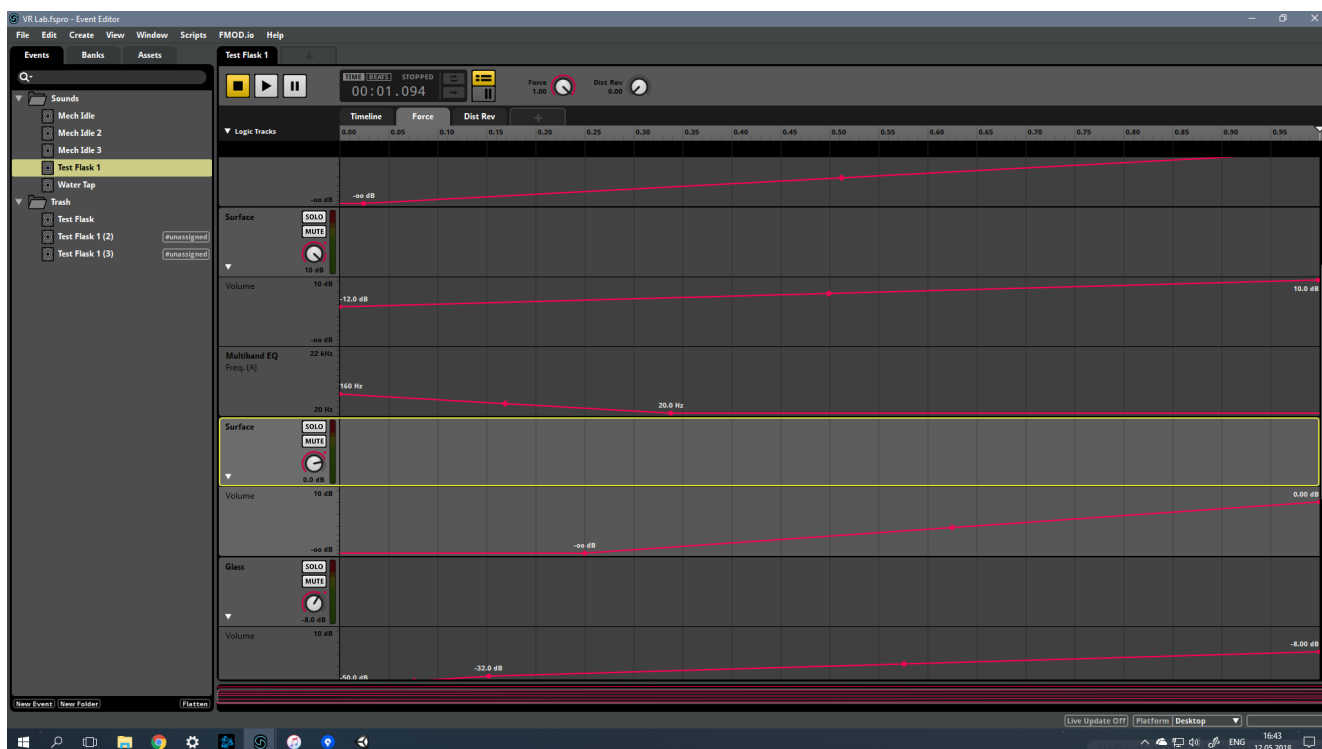


Рисунок 4.9 – Учёт силы столкновения колб при озвучке взаимодействия

4.1.1.4 Сценарий виртуального эксперимента

Для записи в конструкторе сценариев алгоритма виртуальной лаборатории ИФА экспертам необходимо было подготовить протокол прохождения эксперимента (см. Приложение F.1).

Затем этот протокол был зафиксирован в конструкторе сценариев (см. Приложение F.2).

Динамические классы, которые необходимо было описать при разработке виртуальной лаборатории ИФА выделены фиолетовым цветом (см. Приложение С).

4.1.2 Применение методики обучения в виртуальной лаборатории

Игровой процесс требует использования в виртуальной лаборатории специальных элементов (рис. 4.10), геймифицирующих процесс обучения и выполняющих вспомогательную роль: (1) интерактивной карты исследования, (2) дневника с описанием используемых химикатов, реактивов, опытов, исследований, (3) подсказок, которые будут изменяться в соответствии с фазой проведения опыта, а также (4) общего описания самого исследования.



Рисунок 4.10 – Примеры элементов, геймифицирующие процесс обучения:

(а) дневник; (б) подсказки

4.2 Виртуальный полигон осмотра места происшествия

Другая реализация применения автоматизированной системы создания и воспроизведения обучающих тренажеров – разработка тренажера для осмотра места происшествия – для подготовки специалистов из сферы общественной безопасности и обучения студентов юридических специальностей, через создание ситуаций из реальных уголовных дел, описывающих места происшествий (преступлений). Такой полигон и заранее разработанные специфические инструменты для обнаружения, изъятия, упаковки улик позволят получать и совершенствовать навыки работы криминалистическими методами, выдвигать гипотезы и проигрывать версии с высокой реалистичностью виртуальной среды и возможностью работы в шлеме виртуальной реальности, что обеспечивает несравнимое ощущение погруженности и включенности в процесс. Обучаемые изымают разнообразные следы и объекты, используя специализированное оборудование, проводят поиск тайников. Составляют протоколы осмотра или обыска.

4.2.1 Применение методики создания виртуального полигона

Виртуальное окружение. Виртуальное окружение должно быть хорошо проработано, как замечалось ранее – для погружения студента в процесс обучения необходимо достичь достоверности происходящего, создать реалистичную атмосферу (см. Приложение Е.1), используя все возможности, которая дает виртуальная реальность.

Первый этап создания виртуального окружения – разработка 3D моделей зданий, малых архитектурных форм и растений, формирующих особый мир конкретного места преступления, специального оборудования, используемого студентом в виртуальной среде для исследования, так и других найденных предметов или следов (см. Приложение D.1).

Сценарий осмотра. Экспертами-криминалистами для реализации виртуального тренажера осмотра места происшествия был подобраны протоколы и дру-

гие документы реальных дел (см. Приложение F.4). Нарративным дизайнером на их основе был разработан сценарий, который был реализован в игровой механике тренажера.

4.2.2 Применение методики обучения в виртуальном полигоне

Обучающемуся предложено сделать вывод на основании полученных улик и исследовать другой объект для поиска новых улик. Большая часть выпускаемых сейчас видеоигр, которые привычно задают планку зрелищности, делает упор на открытость мира, даже среди взрослого населения очень популярны симуляторы (см., например популярный многопользовательский симулятор танковых сражений World Of The Tanks [175]). Основная аудитория криминалистического тренажера осмотра места преступления – это студенты и молодые сотрудники полиции. Важно чтобы, погружаясь в виртуальную среду, студент имел возможность свободного перемещения по “открытому миру”¹⁶ [147], что делает созданную виртуальную среду зрелищной, иммерсивной, за счет чего достигается результат вовлеченности в процесс обучения.

Для компетенций специальности “следователь” очень важен практический опыт, в том числе и знакомство с потенциально возможной запаховой картиной [7] на месте происшествия. Виртуальная реальность, использующая ещё и устройства, задействующие органы обоняния, способствует созданию эффекта полного погружения [148] в изучаемую предметную область, что позволит улучшить уровень практического понимания отдельных аспектов следственного производства. Например, запах пороха может помочь рассчитать время выстрела.

При погружении в виртуальный осмотр места происшествия для отработки ряда следственных практик используется высокореалистичное виртуальное окружение с места события (см. Приложение E.1), насыщенное интерактивными объ-

¹⁶ **Открытый мир** (англ. *Open world*) – вид структуры уровней в компьютерных играх, позволяющий игроку свободно перемещаться в мире игры и в любой момент самостоятельно выбирать, куда и когда ему отправиться.

ектами (см. Приложение D.2), с соответствующим звуковым сопровождением (шум ветра, пение птиц), усиливающим эффект присутствия, сопровождаемая запаховой картиной (растительности, почвы, пороха и т. д.), а в качестве геймифицирующих механик: интерактивный поиск улик на месте происшествия с использованием следственных практик (видеофиксация местоположения, снятие следов, отпечатков и т. д.), восстановление действий персонажей события при их нахождении, выстраивающее логичную концепцию происшедшего, заполнение требуемых следственных документов по мере обнаружения улик.

4.3 Виртуальная хирургическая операционная

Хирургическое обучение – это комплекс получения теоретических медицинских знаний, включая знания анатомии, в сочетании с развитием навыков специфичной мелкой моторики. Для обучения моторным навыкам, применяется трехэтапная теория. В первой “когнитивной” стадии, студент обучается движениям. Во время этой стадии, движения неустойчивы и противоречивы. Во второй “интегративной” стадии, студент думает об этапах операции, последовательности действий, движения становятся более плавными. На в конечной “автономной” ступени студенту больше не нужно думать об исполнении движений, он выполняет задачу легко и точно.

Получение опыта в хирургии напрямую связано с затраченным на обучение временем. Во время традиционного обучения возможности отработки хирургической навыков самостоятельно крайне малы. Поэтому большинство хирургических учебных программ использует различные инструменты для облегчения процесса обучения этих методов, включая модели живых животных и человеческие трупы, чтобы имитировать человеческую ткань и анатомию. Работа с настоящими трупами и животными наиболее приближена к реальной хирургической практике, но это дорогостоящие и ограниченные ресурсы. Симуляционные обучающие техно-

логии – относительно недорогое решение, позволяющее дать такие практические навыки. Для этого необходимо кроме создания иммерсивной виртуальной среды, погружающую пользователя в виртуальную хирургическую операционную, предоставить некоторые механики, используемых в хирургии медицинскими работниками для проведения инвазивных операций. Стоит отметить, что весь спектр хирургических взаимодействий с инструментами, специальными средствами, человеческими органами и тканями, очень велик.

4.3.1 Применение методики создания виртуальной операционной

4.3.1.1 Основные механики

Для проведения виртуальной инвазивной операции по удалению аппендицита выделены основные механики (см., например, [39]), используемые в процессе работы хирургов, такие, как:

- 1) разрезание мягких тканей, например, кожи, апоневроза мышц, виртуальным скальпелем,
- 2) разведение краёв раны, например, жирового слоя, мышц, виртуальным расширителем,
- 3) извлечение внутренних органов, например, аппендицита, наружу,
- 4) пережимание, например, основания аппендицита, с помощью зажимов,
- 5) вправление внутренних органов внутрь,
- 6) ушивание краёв раны кетгутовой нитью.

Были проанализированы разные способы динамической симуляции разрезания мягких тканей, путём рисования линий разрезов, проецируемых на сетку модели, на её текстуру и т. д. [114; 115]. Был выделен способ, основывающийся на рисовании линии разреза на карте глубины модели, с проекцией на модель.

Для реализации этих механик описаны дополнительные компоненты, расширяющие интерактивные возможности объектов виртуальной среды Mesh Rebuilding, Tools, Object Properties.

Компонент перестроения сетки модели Mesh Rebuilding

- Класс Heightmap Generator используется для построения карты глубины объекта, к которому относится;
- Класс Height Mesh добавляется новому пустому объекту, получает карту глубины сетки, используется для генерации новой по полученной карте глубины и заменяет прошлую модель.

Компонент хирургических инструментов Tools

- Класс Scalpel Tool используется для объекта виртуального аналога хирургического скальпеля, реагирует на прикосновение к объекту возможному для разрезания (Cuttable Object);
- Класс Expander Tool используется для виртуального расширителя, реагирует на нажатие клавиши на контроллере при условии соприкосновения с объектом возможным для растягивания (Stretchable Object);
- Класс Clamp Tool используется для виртуального зажима, реагирует на прикосновение с внутренней части к объекту, возможному для зажимания (Stitchable Object);
- Класс Needle Tool используется для виртуальной иглы, реагирует на прикосновение кончиком иглы к объектам, возможным для зашивания (Stitchable Object).

Компонент Object Properties

- Класс `Cutable Object` используется для объектов, которые можно разрезать, описывает механику разрезания сетки объекта, к которому относится;
- Класс `Stretchable Object` используется для объектов, которые можно растягивать, описывает механику растягивания сетки, к которой относится, путём изменения позиций вершин сетки модели;
- Класс `Stitchable Object` используется для объектов, которые можно пережать или зашить, описывает механику стягивания сетки, к которой относится;
- Класс `Soft Object` используется для объектов, которые поддаются произвольному растягиванию при взаимодействии с другими объектами.

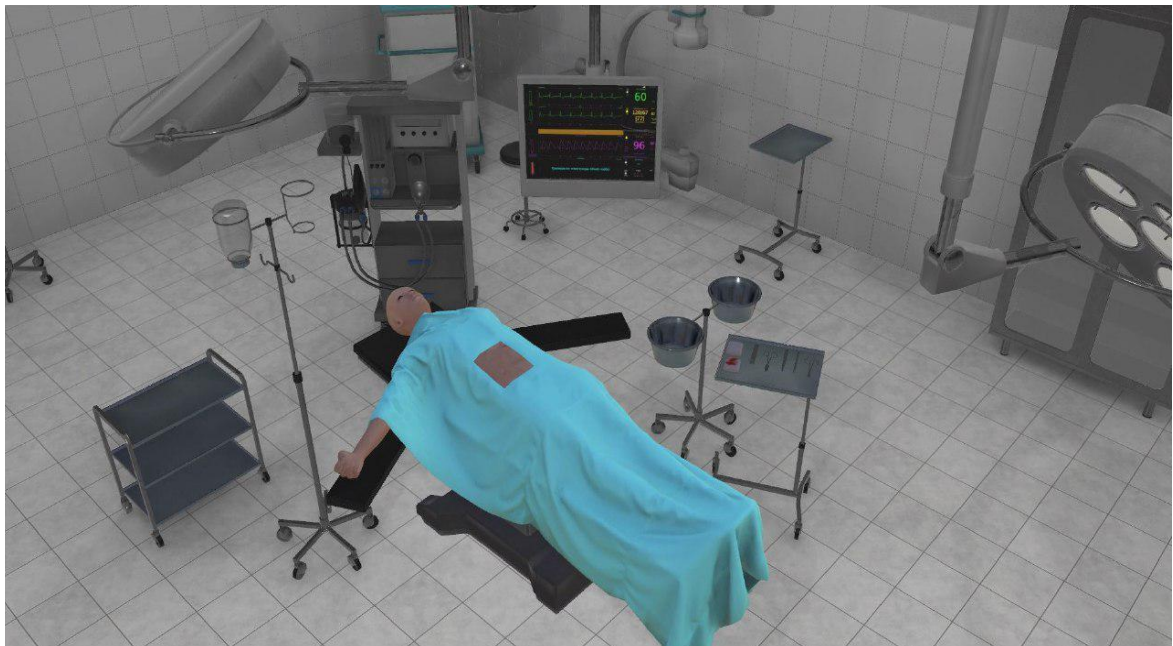


Рисунок 4.11 – Общий вид виртуальной хирургической операционной с расставленным освещением

4.3.1.2 Виртуальное окружение

Для симулятора хирургической операционной было создано реалистичное окружение (см. Приложение Е.2). Основные интерактивные трёхмерные объекты,

которые были смоделированы, – это специальный операционный стол, пациент, который на нём лежит, и стол с различными хирургическими инструментами, необходимыми для проведения операций (см. Приложение D.3). Также были добавлены элементы окружения, такие как: хирургические светильники, капельницы, монитор жизненно важных функций пациента и другие. Были настроены рассеянный источник света за окном и точечные источники света для каждой модели лампы (рис. 4.11).

4.3.1.3 Звуковое сопровождение

При работе над системой имитации звука разрезания кожи и мышечной ткани во время операции была применена следующая логика: для начала был создан основной мультитрек – сущность в FMOD, которая может содержать в себе сразу несколько звуковых дорожек, способных сменять друг друга с какой-то вероятностью при каждом новом воспроизведении. Основной мультитрек будет длиться около 5-ти секунд и будет содержать три дорожки с записью «чавкающих» звуков, которые будут имитировать реакцию кожных и мышечных тканей на разрезание и раздвигание их хирургическими инструментами. Благодаря функции рандомизатора, примененной к питчу (высоте) каждой из использованных дорожек, тональность звуков будет постоянно варьироваться в пределах 1.8 полутона выше и ниже оригинального питча семплов, что создаст ощутимую, но совсем ненавязчивую вариативность звучания, что в свою очередь положительно скажется на реалистичности звуков и не даст игроку при желании уследить последовательную смену звуковых лупов и разрушить эффект присутствия.

Дополнительным атрибутом для обеспечения вариативности будет служить параметр Speed, который по умолчанию принимает значение «0» и может изменяться от 0 до 100. К нему привязан фейдер громкости 5-ти дополнительных мультитреков с более интенсивно звучащими семплами того же типа, таким образом,

что при увеличении скорости раздвигания тканей звук будет более интенсивным, чем при плавных движениях пользователя.

На мастер-шине данного события установлен многополосный эквалайзер с глубоким вырезом в диапазоне до 88.9 Гц (-19.7 ДБ) и менее глубоким от 88.9 Гц до 4.37 КГц (-3.73 ДБ). Это дефолтная позиция выреза при значении параметра Speed, равном нулю. При увеличении скорости ДБ-метр вырезов постепенно возвращается к нулевому уровню, что возвращает низкие частоты звуку и создает еще большее впечатление ускорения движения. К каждой дорожке с мультитреками подключен спатиализатор, обеспечивающий правильную имитацию источника звука.

4.3.2 Применение методики обучения в виртуальной операционной

Погружаясь в среду виртуальной операционной, студент выбирает операцию из списка предложенных. До того, как начать тренировку практических навыков, студент должен иметь достаточно знаний о методике проведения этой операции [96]. Поэтому при выборе операции студент сначала проходит обучение, ассистируя виртуальному опытному хирургу, который будет последовательно рассказывать ему о том, какие нужно выбрать инструменты, затем – о всех этапах операции, обосновывая каждое свое действие. При необходимости студент может вернуться к этому этапу. В случае, если во время ассистенции студент будет ошибочно выполнять указания хирурга, на него будут начисляться штрафные баллы.

Далее студент переходит на первый уровень, из набора предложенных инструментов он выбирает необходимые для данной операции. На этом уровне он имеет право на подсказку, однако за ошибки и подсказки будут вычитаться баллы. Если он набирает меньше 70% или не успевает по времени, операция считается не пройденной, и он проходит этот уровень заново.

На втором уровне нет подсказок, всё как в реальной клинической ситуации, и если студент ошибается, пациент на определенный тип действия выдает стандартный ответ, запрограммированную реакцию, иногда достаточно сложную, вплоть до летального исхода.

По завершению каждого уровня студент набирает определенные баллы, формируется список лидеров и его результат транслируется в социальную сеть. За счет использования геймификации процесс обучения превращается в игровой процесс, и студенты стремятся, оттачивая навыки, достичь высоких результатов по сравнению со своими однокурсниками.

4.3.3 Многопользовательский режим в виртуальной операционной

Unity Networking даёт возможность сделать систему многопользовательской. В симуляторе два обучающихся управляют своими собственными игровыми объектами в двух разных экземплярах проекта с авторитетным сервером, контролирующим и синхронизирующим действие. Необходимо уметь брать предметы и использовать их для операции. Например, пользователь в роли ассистента должен придерживать края раны в то время, как другой пользователь в роли главного хирурга выполняет манипуляции внутри раны.

Выводы

На нескольких различных примерах реализации виртуальных тренажеров продемонстрированы в рамках АС:

1. методика создания сценария обучения при помощи конструктора;
2. отдельные элементы по повышению иммерсивности виртуальной среды;
3. способы контроля знаний после прохождения тренажерного обучения и оценки вовлеченности;
4. реализация многопользовательского режима.

ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ

При внедрении результатов автоматизированной системы в коммерческих и образовательных организациях (см. Акты внедрения в Приложении А) были проведены как субъективные тесты, так и объективные оценки по иммерсивности разработанных виртуальных сред и вовлеченности в процесс обучения:

1. Для создания обучающих тренажеров с погружением в виртуальную реальность для получения долабораторного опыта по курсу “Методы анализа, применимые в биотехнологических лабораториях”, один из примеров обучающих тренажеров в биотехнологической лаборатории с погружением в виртуальную реальность описан в Главе 4, раздел 4.1 для проведения иммуноферментного анализа по выявлению красной волчанки.
2. Для создания обучающих тренажеров с погружением в виртуальную реальность для получения навыков по базовым хирургическим операциям, один из примеров обучающих тренажеров в виртуальной хирургической операционной с погружением в виртуальную реальность описан в Главе 4, раздел 4.2 для проведения открытой операции аппендэктомии.
3. Для подготовки студентов следственной практике с использованием обучающих полигонов с погружением в виртуальную реальность, созданных на основе реальных дел. Применение дополнительно проектирования запахов [7] способствует более полному погружению [121] в процесс производства расследования уголовного дела. Студенты отрабатывают на виртуальном полигоне следственной практики изученные в теории приёмы, которые сложно отработать в повседневной жизни. Пример обучающего полигона по

проведению ситуационной экспертизы при осмотре места происшествия описан в Главе 4, раздел 4.3.

4. Для увеличения конверсии продаж создана виртуальная демонстрация строящихся зданий для строительной компании Унистрой [67]. Эффект погружения в VR достигается за счёт высокореалистичного графического окружения, звукового сопровождения, предлагаемых интерактивных сценариев, с прогулкой по демонстрируемым апартаментам и выбором интерьерных решений.
5. Компания GDC [97] использует разработанные тренажёры для демонстрации различным компаниям (например, российскому представительству французской компании “Leroy Merlin”, одному из крупнейших европейских DIY-ритейлеров¹⁷, крупной российской фармацевтической компании Санофи, агропромышленному комплексу ФосАгро, Агентству Инноваций города Москвы и др.) как оптимальное решение повышения квалификации специалистов разного профиля, или разработки решений совместной работы в виртуальной реальности удалённого коллектива.
6. Корпорация по производству учебного оборудования Зарница [40] использует разработанные тренажёры для продвижения VR-решений в профессиональные учебные заведения, например, для VR-полигона обогащения руды – для студентов горных техникумов.

Полученные свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ [54–56] представлены в Приложении В.

5.1 Оценка эффективности использования автоматизированной системы

Для описания результатов эффективности использования автоматизированного подхода можно опираться на сравнение с одной из ранних версий виртуаль-

¹⁷ DIY-ритейл (от англ. Do It Yourself – рус. “сделай это сам”) на сегодняшний день считается одним из наиболее перспективных рынков.

ного обучающего тренажёра по проведению экспериментов в биотехнологической лаборатории, реализованной как standalone-решение [2], в этой версии не был использован конструктор сценариев, все возможные действия были запрограммированы “в лоб”. Для поддержки учебного курса для площадок дистанционного обучения “Методы анализа, применимые в биотехнологических лабораториях” [53], необходимо было разработать блок различных виртуальных экспериментов – по теме “Методы молекулярной биологии”: иммуноферментный анализ, выделение нуклеиновых кислот (ДНК/РНК), полимеразная цепная реакция (ПЦР), электрофорез нуклеиновых кислот в агарозном геле, ПЦР в режиме реального времени, выделение плазмидной ДНК, выделение общего белка из образца, 1D и 2D электрофорез, иммуноблоттинг (вестерн блот анализ); по теме “Методы работы с культурами клеток”: работа с культурами эукариотических клеток (культивирование, пассирование, криоконсервация), проточная цитофлуориметрия, иммунофлуоресцентный анализ экспрессии специфичных белков, микроскопия; по теме “Методы работы с прокариотическими организмами”: работа с бактериальными клетками, приготовление сред для культивирования бактериальных клеток, приготовление компетентных клеток и их трансформация; по теме “Гистологические методы исследования”: подготовка ультратонких срезов и их окрашивание. Чтобы быстро реализовать такой блок виртуальных экспериментов автоматизированный подход стал единственным верным решением. Первый опыт автоматизации с переходом на нодовый конструктор сценариев дал прирост в скорости проектирования виртуальной среды эксперимента в 2 раза, но так как работа методиста была довольно рутинная, был предложен подход с сериализацией json-сценариев, описанный в разделе 2.1 Главы 2, – такой подход дал прирост в скорости проектирования виртуальной среды эксперимента уже в 5 раз, так как на этапе методической работы приходится провести лишь формализацию сценарных ходов по известным протоколам проведения экспериментов.

5.2 Гомоморфная редукция физических моделей в виртуальные

Компьютерная реализация сложных математических моделей, описывающих реальные физические или технологические процессы, до сих пор наталкивается на ограниченную производительность компьютеров и требует использования недоступных вычислительных ресурсов. Методы редукции моделей позволяют привести такие модели к более простому виду, но к эквивалентной ей в некотором смысле (изоморфной, гомоморфной), полученной из исходной в результате определенного преобразования (морфизма). Важно, что при таких преобразованиях сохраняются интересующие свойства исходных физических моделей. Редукция сложной модели целесообразна, когда гомоморфная ей модель имеет более простой вид, более узко – существует компьютерный алгоритм симуляции. Компьютерное решение задачи на основе гомоморфной виртуальной модели является по существу прототипным физическим решением, и поэтому может частично (или полностью) заменять исходное физическое решение [45].

В терминах реализации иммерсивных виртуальных сред гомоморфизм физических процессов позволяет создать упрощенную виртуальную модель, получившую с помощью морфизма свойства, важные для понимания при обучении симулируемых процессов.

Некоторые подходы в проектировании разных сложных технических систем, например, (а) декомпозиция сложных задач выбора максимальных вариантов проектируемых систем на основе общей схемы последовательного анализа и отбраковки вариантов описана в [16]; (б) процессы проектирования по известному прототипу на базе алгоритмов теории аппроксимации множеств выбора и гомоморфизмов оптимизационных решающих процессов описаны в [9].

В отличие от математических и физических моделей, виртуальные модели могут не только имитировать физическую реальность, но и способны воспроизводить такие явления, которые невозможно увидеть или ощутить в реальных про-

цессах. Так, процесс распространения тепла в материале конструкции нельзя увидеть при работе физического устройства, но виртуальная модель легко визуализирует этот процесс, отображая разными цветами нагретые и холодные слои материала [10].

Построение иммерсивной виртуальной среды с элементами технологических или физических процессов должно сопровождаться нахождением необходимых и достаточных условий для редукции до гомоморфных виртуальных моделей.

Представленные в диссертации примеры (см. Главу 4) являются (в терминах математической теории виртуализации [10]) транспозиционными динамическими виртуальными моделями и обладают свойствами замещаемости, грубости и адекватности.

Выводы

1. Описано несколько из внедрений АС в коммерческих и образовательных организациях.

2. Предложен подход для сравнения результатов качественных и количественных затрат при создании виртуальных тренажеров и дана оценка эффективности использования АС в 10 раз.

3. Подчёркнуто, что редукция сложной физической модели к гомоморфной ей целесообразна, когда существует более простое компьютерное решение для симуляции описываемых ею процессов. Построение гомоморфной виртуальной модели должно сопровождаться нахождением необходимых и достаточных условий для редукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации решены следующие задачи и достигнуты следующие результаты:

- разработана модель виртуального тренажера, позволяющая описывать сценарии различных предметных областей в структурированной форме, удобной для автогенерации виртуальных тренажеров;
- предложен подход к созданию многоролевых взаимодействий в виртуальной реальности для обучения проблемам, требующим ситуационного управления в коллективе;
- спроектирован, разработан и внедрен инструментарий для создания многоцелевых многопользовательских обучающих тренажеров с использованием виртуальной реальности;
- разработана методика, позволяющая создавать виртуальные тренажеры на основе проектирования сценариев без участия технических специалистов;
- апробирована методика обучения с использованием виртуальных тренажеров, позволяющих заменить реальные физические объекты и системы гомоморфными виртуальными;
- спроектирована и разработана подсистема для снятия и интерпретации биосигналов человека, погруженного в иммерсивную виртуальную обучающую среду;
- предложены подходы к оценке степени иммерсивности виртуальной обучающей среды для конкретных пользователей;
- предложены подходы для оценки вовлеченности в процесс обучения пользователя, находящегося в иммерсивной виртуальной обучающей среде;
- проведено анкетирование на тестовой группе для релевантности полученных результатов.

На основе решенных научных и технологических задач созданы:

- комплекс для обучения основам биотехнологическим анализов в виртуальной реальности;
- комплекс для обучения проведению хирургических операций в виртуальной реальности;
- комплекс для проведения криминалистических осмотров мест происшествия в виртуальной реальности;
- система для демонстрации интерьеров апартаментов строящихся жилых комплексов с виртуальной иммерсивной средой, влияющей на повышение конверсии продаж.

Разработанная автоматизированная система не является узкоспециализированной и применима в других областях деятельности, где требуется включение в разработку тренажеров в виртуальной реальности специалистов предметной области, методических консультантов, не знакомых с программированием, но играющих активную роль при создании авторского сценария обучения.

Диссертационное исследование выполнено с использованием открытых технологий и без использования проприетарного программного обеспечения. Работа выполнена частично за счет средств субсидии, выделенной Казанскому (Приволжскому) федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности (проекты “Развитие моторных навыков с помощью интерфейсов обратной связи в виртуальной реальности” № 0211/02.11.10122.001 и “Экосистема Ontomath как составляющая всемирной цифровой математической библиотеки“ № 1.2368.2017/ПЧ), в рамках Программы повышения конкурентоспособности КФУ (в направлении – разработка виртуальных обучающих тренажеров, поддерживающих разные учебные курсы), а также при реализации проектов поддержки информационной структуры предприятий-заказчиков.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ, УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, ТЕРМИНОВ

ПЭТ – позитронно-эмиссионная томография.

РФП – радиофармпрепарат.

ЭМГ – электронейромиография.

МЭГ – магнитоэнцефалография.

фМРТ – функциональная магнитно-резонансная томография.

МР-спектроскопия – магнитно-резонансная спектроскопия.

ОФЭКТ – однофотонная эмиссионная компьютерная томография.

ТМС – транскраниальная магнитная стимуляция.

ЭЭГ – электроэнцефалография.

КГР – кожно-гальваническая реакция.

FFT – преобразованием Фурье.

STFT – преобразования Фурье по короткому промежутку времени.

Эмоциональные вычисления (Affective Computing) – область исследований и разработки систем и устройств, которые могут распознавать, интерпретировать, обрабатывать и имитировать человеческие эмоции.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Абрамов, В. Д.** Визуальный редактор сценариев для виртуальных лабораторий [Текст] / В. Д. Абрамов, М. М. Абрамский, В. В. Кугуракова, Н. Р. Манахов, А. Р. Маславиен // Электронные библиотеки. – 2016. – Т. 19. – № 6. – С. 483–501.
2. **Абрамов, В. Д.** Виртуальные лаборатории как средство обучения биомедицинским технологиям [Текст] / В. Д. Абрамов, В. В. Кугуракова, А. А. Ризванов, М. М. Абрамский, Н. Р. Манахов, М. Е. Евстафьев // Электронные библиотеки. – 2016. – Т. 19. – № 3. – С. 129–148.
3. **Авербух, Н. В.** Психологические аспекты феномена присутствия в виртуальной среде [Текст] / Н. В. Авербух // Вопросы психологии. – 2010. – № 5. – С. 105–113.
4. **Авербух, Н. В.** Феномен присутствия и его влияние на эффективность решения интеллектуальных задач в средах виртуальной реальности [Текст] / Н. В. Авербух, А. А. Щербинин // Психология. Журнал Высшей школы экономики. – 2011. – Т. 8. – № 4. – С. 102–119.
5. Автомобильный тренажер ОТКВ-2М [Электронный ресурс] : ООО НЛП “Тренер”. – Россия, Москва. – URL: <http://www.npp-trener.ru/go.php?page=otkv2m> (дата обращения 5.09.2018).
6. Акт “О направлении методических рекомендаций по реализации дополнительных профессиональных программ” [Электронный ресурс] / Письма Министерства образования и науки Российской Федерации, № ВК–1013/06 от 21 апреля 2015 г. – 2015. – URL: <http://минобрнауки.рф/документы/6250> (дата обращения 5.09.2018).
7. **Антонов, И. О.** Программирование запахов для виртуального осмотра места происшествия [Текст] / И. О. Антонов, К. В. Зезегова, В. В. Кугуракова,

Е. Н. Лазарев, М. Р. Хафизов // Электронные библиотеки. – 2018. – Т. 21. – № 3–4. – С. 301–313.

8. **Афанасьев, В. О.** Системы визуализации и виртуального окружения в задачах исследования космоса: настоящее и будущее [Текст] / В. О. Афанасьев, Д. А. Байгозин, Ю. М. Батулин, П. П. Даниличева, Б. С. Долговесов, Е. Н. Еремченко, И. П. Казанский, А. С. Клименко, С. В. Клименко, А. В. Леонов и др. // В кн.: Космонавтика XXI века. Попытка прогноза развития до 2101. – РТСофт, 2010. – С. 185–256.

9. **Ахрем, А. А.** Виртуальное проектирование и принятие решений [Текст] / А. А. Ахрем, В. З. Рахманкулов // Автоматизация проектирования, 1997, № 4. – С. 20–30.

10. **Ахрем, А. А.,** Математическая теория виртуализации процессов проектирования и трансфера технологий [Текст] / А. А. Ахрем, И. М. Макаров, В. З. Рахманкулов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 316 с.

11. **Бодров, В. А.** Психология профессиональной деятельности. Теоретические и прикладные проблемы [Текст] / В. А. Бодров. – М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 2006. – 623 с.

12. **Бояшова, С.А.** Метрологическая основа построения автоматизированной системы тестирования [Текст] / С.А. Бояшова // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2009. – Т. 52. – № 5. – С. 82–84.

13. **Бояшова, С.А.** Метрологический подход к понятию профессиональной компетентности специалиста [Текст] / С.А. Бояшова // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2009. – Т. 52. – № 9. – С. 82–85.

14. **Брылевская, А. А.** Философские аспекты проблемы восприятия образов компьютерной виртуальной реальности [Текст] / А. А. Брылевская // Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина. – 2009. – Т. 1. – № 3. – С. 147–156.

15. **Величковский, Б. Б.** Когнитивный контроль и чувство присутствия в виртуальных средах [Текст] / Б. Б. Величковский, А. Н. Гусев, В. Ф. Виноградова, О. А. Арбекова // Экспериментальная психология. – 2016. – Т. 9. – № 1. – С. 5–20.
16. **Вязгин, В. А.** Математические методы автоматизированного проектирования [Текст] / В. А. Вязгин, В. В. Федоров // Изд-во: М.: Высшая школа, 1989. – 184 с.
17. **Гайсин, Р. Р.** Кроссплатформенный SaaS инструмент трехмерной визуализации в публичном планировании архитектурной среды [Текст] / Р. Р. Гайсин, В. В. Кугуракова // Сборник материалов Международной научно-практической конференции “Эффективное управление устойчивым развитием территорий”. – Казань, Институт управления и территориального развития КФУ. – 2013. – Т. 2. – С. 5–7.
18. **Гайсин, Р. Р.** Трехмерная платформонезависящая визуализация данных томографии / Р. Р. Гайсин, А. В. Никифорова, В. В. Кугуракова, О. А. Саченков // Научно-технический вестник Поволжья №4. – 2013. – С. 137–140.
19. **Гёбель, М.** Научная визуализация в виртуальном окружении [Текст] / М. Гёбель, С. В. Клименко // Программирование. – Т. 4. – 1994. – С. 29–46.
20. **Гладкова, А.** Интервью с Андреем Ивашенцевым (Game Insight) о будущем VR и AR [Электронный ресурс] / А. Гладкова // Хабр. – 2016. – URL: <https://habr.com/company/mobio/blog/316542/> (дата обращения 7.09.2018).
21. **Голиков, Ю. Я.** Психология автоматизации управления техникой [Текст] / Ю. Я. Голиков, А. Н. Костин. – М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 1996. – 160 с.
22. ГОСТ 34.003-90. Автоматизированные системы. Термины и определения. – Взамен ГОСТ 24.003-84, ГОСТ 22487-77; введ. 1992-01-01. [Текст] – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 21 с.

23. ГОСТ 34.601-90. Автоматизированные системы. Стадии создания. – Введ. 1992-01-01. [Текст] – М.: Издательство стандартов, 1991. – 8 с.
24. Графическая среда разработки приложений LabVIEW [Электронный ресурс]. – National Instruments, США. – URL: <http://labview.ru> (дата обращения 5.09.2018).
25. **Гринченко, С.** Создатели виртуальности: краткий обзор производителей тренажёрных систем [Текст] / С. Гринченко // Defense Express. Экспорт оружия и оборонный комплекс Украины. – 2008. – № 4. – С. 35–37.
26. **Гю-хи, Х.** Использование патентных данных при определении будущих потребностей в компетенциях: кейс по информационной безопасности сетей и систем [Текст] / Х. Гю-хи // Применение технологических форсайтов для определения будущих потребностей в компетенциях: материалы международного семинара СКОЛКОВО и МОТ; Международное бюро труда. – Женева: МОТ, 2014. – С. 36–62.
27. **Давтян, А. Г.** Компетентность и профессионализм в актуальном дискурсе [Текст] / А. Г. Давтян, Т. А. Деменкова, О. А. Шабалина // Системные проблемы надёжности, качества, мат. моделирования, информ. и электронных технологий в инновационных проектах: (Инноватика-2007): матер. междунар. конф. и Рос. науч. школы / Рос. акад. надёжности [и др.]. – М., 2007. – Ч. 3. – С. 80–81.
28. Дальневосточный федеральный университет, магистерская программа по виртуальной и дополненной реальности [Электронный ресурс]. – Россия, Владивосток. – URL: <https://www.dvfu.ru/admission/program-m/09.04.01.php> (дата обращения 7.09.2018).
29. **Даниличева, П. П.** Виртуальное повествование как инновационная образовательная технология [Текст] / П. П. Даниличева, С. А. Фомин, С. В. Клименко, Ю. М. Батулин, А. А. Серебров, Д. Ю. Щербинин // Труды Первой международной конференции “Трёхмерная визуализация научной, технической и социальной

реальности. Кластерные технологии моделирования”. – Ижевск, 2009. – Т. 2. – С. 123–125.

30. **Денисон, Э. Ф.** Исследование различий в темпах экономического роста [Текст] / Э. Ф. Денисон. – М.: Прогресс, 1971. – 646 с.

31. **Затхей, В. А.** Формально-логический аппарат представления знаний о процессах управления обучением в экспертных обучающих системах [Текст] / В. А. Затхей, Н. В. Шаронова, И. Е. Лещенко // АСУ и приборы автоматики. – Харьков: Министерство образования и науки Украины, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, 2005. – № 130. – С. 52–56.

32. **Зинченко, Ю. П.** Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы [Текст] / Ю. П. Зинченко, Г. Я. Меньшикова, Ю. М. Баяковский, А. М. Черноризов, А. Е. Войскунский // Национальный психологический журнал. – 2010. – № 2 (4). – С. 64–71.

33. Институт физико-технической информатики [Электронный ресурс]. – Протвино. – URL: <http://icpt.su> (дата обращения 7.09.2018).

34. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы [Текст] : ГОСТ 34.201-89, ГОСТ 34.602-89, РД 50-682-89. – Введ. 1990-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 32 с.

35. **Кадиков, М.** Разрушители атмосферы [Электронный ресурс] / М. Кадиков // Интересное о дизайне уровней. – 2018. – URL: <http://level-design.ru/2018/09/immersion-breakers/> (дата обращения 10.09.2018).

36. Казанский (Приволжский) федеральный университет [Электронный ресурс]. – Казань. – URL: <http://kpfu.ru> (дата обращения 7.09.2018).

37. **Клименко, С. В.** Аванго: система разработки виртуальных окружений [Текст] / С. В. Клименко, И. Н. Никитин, Л. Д. Никитина. – Москва–Протвино: Институт физико-технической информатики, 2006. – 252 с.

38. **Ковалёв, А. И.** Психофизиологические механизмы иллюзии движения собственного тела [Текст] : дисс. ... канд. психол. наук : 19.00.02 / Ковалёв Артём Иванович . – М., 2017. – 229 с.
39. **Колесов, В. И.** Клиника и лечение острого аппендицита [Текст] / В. И. Колесов. – Л.: Медицина, 1972.
40. **Коротеев, Г. Л.** Профессиональная пригодность и способности обучаемого [Текст] / Г. Л. Коротеев, А. П. Чернышев // Психологический журнал. – 1989. – №3. – С. 93–98.
41. Корпорация “Зарница” [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.czarnitza.ru/> (дата обращения 5.09.2018).
42. **Крылов, А. А.** Человек в автоматизированных системах управления [Текст] / А. А. Крылов. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1972. – 192 с.
43. **Кугуракова, В. В.** Автоматизированный подход для создания многопользовательских тренажеров в виртуальной реальности [Текст] / В. В. Кугуракова // Научный сервис в сети Интернет: труды XX Всероссийской научной конференции (17–22 сентября 2018 г., г. Новороссийск). – М.: ИПМ им. М. В. Келдыша, 2018. – С. 313–320.
44. **Лискин, В. М.** О степени подобия тренажера реальному объекту управления [Текст] / В. М. Лискин, С. Ф. Сергеев, А. Н. Мешков // Структура и динамика познавательной и исполнительной деятельности. Труды ВНИИТЭ. Эргономика. – Вып. 33. – М., 1987. – С. 29–37.
45. **Макаров, И. М.** Виртуальное моделирование и интеллектуальное управление сложными компьютерно-интегрированными системами [Текст] / И. М. Макаров, В. З. Рахманкулов, А. А. Ахрем // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2007. – № 2. – С. 11–24.

46. **Матлин, А. О.** Автоматизированная система создания интерактивных средств обучения в образовательном процессе [Текст] / А. О. Матлин, С. А. Фоменков // Открытое образование. – 2012. – Т. 2. – С. 18–20.
47. **Михайлов, В. Ю.** Виртуальная лаборатория как средство обеспечения коллективной научно-методической работы [Текст] / В. Ю. Михайлов, В. М. Гостев, В. В. Кугуракова, В. А. Чугунов // Информационные технологии в образовании: Сб. трудов XII международн. конф. Часть IV (Москва, 4–8 ноября 2002 г.). – М.: МИФИ, 2002. – С. 31–34.
48. Московский физико-технический институт, кафедра системной интеграции и менеджмента [Электронный ресурс]. – Россия, Москва. – URL: <https://mipt.ru/dgap/bases/sim.php> (дата обращения 7.09.2018).
49. ОАО “Корпорация «Аэрокосмическое оборудование»” [Электронный ресурс]. – Россия, Санкт-Петербург. – URL: <http://www.aequipment.ru> (дата обращения 5.09.2018).
50. **Падерно, П. И.** Надежность и эргономика биотехнических систем [Текст] / П. И. Падерно, Е. П. Попечителей. – СПб.: ООО “Техномедиа”. – Изд-во “Элмор”, 2007. – 264 с.
51. **Пономаренко, В. А.** Принцип активного оператора в автоматизированных системах управления [Текст] / В. А. Пономаренко, Н. Д. Завалова // Авиационная психология. – М.: Институт авиационной и космической медицины, 1992. – С. 87–99.
52. Пресс-релиз Нобелевской премии по физиологии и медицине за 2000 год [Electronic resource]. – URL: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2000/summary/> (online; accessed 5.09.2018).
53. **Ризванов, А. А.** Методы анализа, применимые в биотехнологических лабораториях [Текст] : Учебный курс дистанционного обучения / А. А. Ризванов, М. О. Гомзикова, Ю. Н. Давидюк, М. Н. Журавлева, В. В. Соловьева, В. В. Кугу-

ракова, В. Д. Абрамов // Институт фундаментальной медицины и биологии КФУ. – Казань. – 2016. – 14 с.

54. **Сахибгареева, Г.Ф.** Концепт инструмента автоматического создания сценарного прототипа компьютерной игры [Текст] / Г. Ф. Сахибгареева, В. В. Кугуракова // Электронные библиотеки. – 2018. – Т. 21. – №3-4. – С. 235-249.

55. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, бакалавриат по программе “Технологии виртуального прототипирования в машиностроении” [Электронный ресурс]. – Россия, Санкт-Петербург. – URL: <https://spb.postupi.online/programma/998/> (дата обращения 5.09.2018).

56. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611733. Программа для симуляции биотехнологических лабораторий в виртуальной реальности [Текст] / В. В. Кугуракова, В. Д. Абрамов, А. А. Ризванов, М. Р. Хафизов, Н. Л. Блатт; заявитель и правообладатель Фед. гос. автоном. образоват. учреждение высш. образ. Казанский фед. ун-т. – № 2017662952; заявл. 12.12.2017; зарег. 06.02.2018. – [1] с.

57. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619724. Кроссплатформенное программное ядро для интерактивного моделирования трехмерных динамических сцен [Текст] / И. В. Цивильский, Р. Р. Гайсин, В. В. Кугуракова; заявитель и правообладатель ООО “Вайтл Код” – № 2013615622; заявл. 03.06.2013; зарег. 14.10.2013. – [1] с.

58. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611797. Кроссплатформенный программный комплекс для симуляции биотехнологических лабораторий [Текст] / В. В. Кугуракова, В. Д. Абрамов, А. А. Ризванов, М. Р. Хафизов, Н. Л. Блатт; заявитель и правообладатель Фед. гос. автоном. образоват. учреждение высш. образ. Казанский фед. ун-т. – № 2017662888; заявл. 12.12.2017; зарег. 07.02.2018. – [1] с.

59. **Селиванов, В. В.** Виртуальная реальность как метод и средство обучения [Текст] / В. В. Селиванов, Л. Н. Селиванова // ОТО. – 2014. – №3. – С. 378–391.
60. **Сергеев, С. Ф.** Обучающие и профессиональные иммерсивные среды [Текст] / С. Ф. Сергеев. – М.: Народное образование, 2009. – 432 с.
61. **Сергеев, С. Ф.** Эргономика иммерсивных сред: методология, теория, практика [Текст] : дис. ... д-ра психол. наук : 19.00.03. / Сергеев Сергей Федорович. – СПб., 2010. – 420 с.
62. **Сергеев, С. Ф.** Эргономические проблемы проектирования интерфейса на базе индуцированных виртуальных сред [Текст] / С. Ф. Сергеев // Мир Авионики. – 2006. – № 3. – С. 62–67.
63. **Скворцов, А. А.** Предпосылки использования дистанционных образовательных технологий в наукоемкой образовательной среде вуза [Текст] / А. А. Скворцов // Вестник ТГУ. – 2015. – № 2 (142). – С. 96–101.
64. **Сметюх, Н. П.** Многофункциональные виртуальные тренажеры для подготовки экипажей судов рыбопромыслового флота [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Сметюх Надежда Павловна. – СПб., Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2017. – 185 с.
65. **Соловьёва, Л. Н.** Виртуальная реальность как феномен современного информационного общества [Текст] / Л. Н. Соловьёва // Известия Института инженерной физики, 2014. – № 2 (32). – С. 39–42.
66. **Столбова, И. Д.** Компетентностный формат обучения как инновационное качество образовательного процесса [Текст] / И. Д. Столбова, Е. С. Дударь // Управление качеством образования. – 2012. – С. 75–79.
67. Унистрой [Электронный ресурс]. – URL: <https://unistroyrf.ru/> (дата доступа: 10.09.2018).

68. **Фаулер, М.** UML. Основы: Краткое руководство по стандартному языку объектного моделирования [Текст] : пер. с англ. / М. Фаулер. – 3-е изд. – СПб.: Символ-Плюс, 2004. – 192 с. : ил.
69. **Фимин, А. Ю.** Социально-философский анализ виртуальной реальности [Текст] : дис. ... философ. наук : 09.00.11 / Фимин Аким Юрьевич. – Волгоград, 2007. – 122 с.
70. **Хокинг, Дж.** Unity – в действии. Мультиплатформенная разработка на C# [Текст] : [рус.] / Дж. Хокинг. – 2. – СПб: Питер, 2016. – 336 с.
71. **Цивильский, И. В.** Одновременное определение границ объектов и эффект затенения от окружения для архитектурного и транспортного рендеринга [Текст] / И. В. Цивильский, Р. Р. Гайсин, В. В. Кугуракова // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы. Материалы IV международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 579–588.
72. **Чванова, М. С.** Дистанционное обучение в наукоемкой образовательной среде [Текст] / М. С. Чванова, Н. А. Котова, А. А. Скворцов, И. А. Киселева, А. А. Молчанов // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – № 6. – С. 1795–1804.
73. **Чепурная, Ю. В.** Ситуационное управление в адаптивной компьютеризированной системе тестирования обучаемых [Текст] / Ю. В. Чепурная (Ю. В. Мартынова) // Экспертные оценки элементов учебного процесса: материалы XI-ой межвуз. науч.-практ. конф. – Харьков: Народная украинская академия, 2009. – С. 65–66.
74. **Четвергова, М. В.** Применение виртуальной интерактивной стоматологической лаборатории для обучения врачей-стоматологов [Электронный ресурс] / М. В. Четвергова, И. Н. Кустикова, И. Я. Моисеева, О. П. Родина, О. А. Водопя-

- нова // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2623> (дата обращения 5.09.2018).
75. **Шабалина, О. А.** Компетентностно-ориентированная модель процесса обучения [Текст] / О. А. Шабалина // М. : Информация и связь. – 2013. – № 2. – С. 171–174.
76. **Шабалина, О. А.** Управление системой подготовки разработчиков программного обеспечения с использованием обучающих компьютерных игр [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.13. 10 / Шабалина Ольга Аркадьевна. – Волгоград, Волгоградский государственный технический университет, 2017. – 346 с.
77. Школа дизайна Национального исследовательского университета “Высшая школа экономики”, бакалавриат “Гейм-дизайн и виртуальная реальность” [Электронный ресурс]. – Россия, Москва. – URL: <http://design.hse.ru/gamedesign> (дата обращения 7.09.2018).
78. **Шлаен, П. Я.** Эргономика для инженеров: Эргономическое обеспечение проектирования человеко-машинных комплексов: проблемы, методология, технологии. Монография [Текст] / П. Я. Шлаен, В. М. Львов. // Тверь: ТвГУ, 2004. – 476 с.
79. Электроэнцефалограф Neuron-Spectrum-4/P [Электронный ресурс] : Компания NeuroSoft. – URL: <http://neurosoft.com/ru/catalog/view/id/18> (дата обращения 5.09.2018).
80. Южный федеральный университет, лаборатория виртуальной реальности [Электронный ресурс]. – Россия, Ростов-на-Дону. – URL: <http://sfedu.ru/news/54557> (дата обращения 7.09.2018).
81. **Abramov, V. D.** Virtual biotechnological lab development [Text] / V. D. Abramov, V. V. Kugurakova, A. A. Rizvanov, M. M. Abramskiy, N. R. Manakhov, M. E. Evstafiev, D. S. Ivanov // BioNanoScience. – 2017. – Vol. 7. – Is. 2. – P. 363–365.

82. Aten Virtual Biology Lab [Electronic resource]. – URL: <http://ateninc.com/homepage/virtual-lab.html> (online; accessed 5.09.2018).
83. **Balamuralithara, B.** Virtual Laboratories in Engineering Education: The Simulation Lab and Remote Lab [Text] / B. Balamuralithara, P. C. Woods // Computer Applications in Engineering Education. – 2009. – Vol. 17. – Is. 1. – P. 108–118.
84. **Baturin, Y. M.** Virtual Space Experiments and Lessons from Space [Text] / Y. M. Baturin, P. P. Danilicheva, S. V. Klimenko, A. A. Serebrov // Proceedings of ED-MEDIA 2007. – Vancouver BC. – 2007. – Vol. 1. – P. 4195–4200.
85. **Bishop, G.** Research Directions in Virtual Environments [Text] / G. Bishop, W. Bricken, F. Brooks, M. Brown, C. Burbeck, N. Durlach, S. Ellis, H. Fuchs, M. Green, J. Lackner, et al. // Computer Graphics. – Vol. 26. – № 3. – 1992. – P. 153–183.
86. BiTronics Lab [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.bitronicslab.com/guide/> (дата обращения 5.09.2018).
87. Bolt [Electronic resource]. – URL: <https://ludiq.io/bolt> (дата обращения 5.09.2018).
88. **Bos, D. O.** EEG-based Emotion Recognition: The Influence of Visual and Auditory Stimuli [Electronic resource] / D. O. Bos // 2007. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/EEG-based-Emotion-Recognition-The-Influence-of-and-Bos/5097b37a30b8d7a8d2bb03b307be5bf5deab73c4> (online; accessed 5.09.2018).
89. **Boyer, K. E.** Balancing Cognitive and Motivational Scaffolding in Tutorial Dialogue [Text] / K. E. Boyer, R. Phillips, M. Wallis, M. Vouk, J. Lester // Lecture Notes in Computer Science (LNCS) (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2008. – Vol. 5091. – P. 239–249.
90. **Bronshtein, A.** A quick introduction to k-Nearest Neighbors algorithm [Electronic resource] / A. Bronshtein. – 2017. – URL: <https://medium.com/@adi.bronshtein/a->

quick-introduction-to-k-nearest-neighbors-algorithm-62214cea29c7 (online; accessed 5.09.2018).

91. **Chanel, G.** Emotion assessment: Arousal evaluation using EEG's and peripheral physiological signals [Text] / G. Chanel, J. Kronegg, D. Grandjean, T. Pun // Technical Report. – 2005. – Vol. 4105. – P. 530–537.

92. CryEngine [Electronic resource]. – URL: <https://www.cryengine.com/> (online; accessed 5.09.2018).

93. **Derbali, L.** Assessing Motivational Strategies in Serious Games Using Hidden Markov Models [Text] / L. Derbali, R. Ghali, C. Frasson // Proceedings of the 26th Int. Florida Artificial Intelligence Research Society Conference. – 2013. – P. 538–541.

94. **Eid, M.** A guided tour in haptic audio visual environments and applications [Text] / M. Eid, M. Orozco, A. El Saddik // Int. J. of Advanced Media and Communication. – 2007. – Vol. 1. – № 3. – P. 265–297.

95. **Fenn, J.** Mastering the Hype Cycle [Text] / J. Fenn, M. Raskino. – Harvard Business Press, 2008. – 339 с.

96. **Fernández-Avilés, D.** Virtual labs: A new tool in the education: Experience of Technical University of Madrid [Text] / D. Fernández-Avilés, D. Dotor, D. Contreras, J. Carlos Salazar // 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). – 2016. – P. 271-272.

97. FMOD. Firelight Technologies [Electronic resource]. – URL: <https://www.fmod.com> (online; accessed 5.09.2018).

98. **Gallagher, A. G.** Virtual Reality Simulation for the Operating Room. Proficiency-Based Training as a Paradigm Shift in Surgical Skills Training [Text] / A. G. Gallagher, E. M. Ritter, G. Higgins, M. P. Fried, G. Moses, C. D. Smith, R. M. Satava // Annals of Surgery. – 2005. – Vol. 241 (2). – P. 364–372.

99. GDC (ICL Services, ОАО АйСиЭл КПО-ВС) [Электронный ресурс]. – Казань. – URL: <http://www.icl.ru/> (дата обращения 5.09.2018).

100. **George, A.** Grätzer General Lattice Theory: Second Edition Springer [Text] / A. George. – 2003. – 663 p.
101. **Hammet, F.** Virtual reality [Text] / F. Hammet. – New York, 1993.
102. **Hamming, R. W.** Numerical Methods for Scientists and Engineers [Text] / R. W. Hamming. – McGraw-Hill, 1962.
103. **Heradio, R.** Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis [Text] / R. Heradio, Daniel Galan, D. Luis de la Torre, F. J. Cabrerizo, E. Herrera-Veidma, S. Dormido // Computers & Education. – 2016. – Vol. 98. – P. 14–38.
104. Hhmi biointeractive [Electronic resource]. – Howard Hughes Medical Institute. – URL: <http://www.hhmi.org/biointeractive/explore-virtual-labs> (online; accessed 5.09.2018).
105. Houghton Mifflin Harcourt WOW biolab [Electronic resource]. – URL: https://www.classzone.com/books/hs/ca/sc/bio_07/virtual_labs/virtualLabs.html (online; accessed 5.09.2018).
106. How Random Forest algorithm works in machine learning [Electronic resource]. – 2017. – URL: <https://medium.com/@Synced/how-random-forest-algorithm-works-in-machine-learning-3c0fe15b6674> (online; accessed 5.09.2018).
107. Initiative of Ministry of Human Resource Development [Electronic resource]. – URL: <http://vlab.co.in> (online; accessed 5.09.2018).
108. **Jiau, H. C.** Enhancing Self-motivation in Learning Programming Using Game-based Simulation and Metrics [Text] / H. C. Jiau, J. C. Chen, K. Ssu // IEEE Transactions on Education. – 2009. – Vol. 52. – № 4. – P. 555–562.
109. **Krueger, M.** Artificial Reality [Text] / M. Krueger // Addison-Wesley, 1983.
110. **Kugurakova, V. V.** Development of VR system to enhance understanding process of robot mechanisms [Text] / V. V. Kugurakova, A. Yu. Lushnikov, A. R. Nizamutdinov, T. Satdarov // ICAROB 2018: Proceedings of the 2017 International Conference on Artificial Life and Robotics. – Japan, Beppu. – 2018. – P. 95.

111. **Kugurakova, V. V.** Neurobiological plausibility as part of criteria for highly realistic cognitive architectures [Text] / V. V. Kugurakova, M. O. Talanov, D. S. Ivanov // *Procedia Computer Science*. 7th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures (BICA 2016). – USA, New York. – 2016. – Vol. 88. – P. 217–223.
112. **Kugurakova, V. V.** Neurotransmitters Level Detection Based on Human Bio-Signals, Measured in Virtual Environments [Text] / V. V. Kugurakova, K. P. Ayazgulovala // *Proceedings of the Ninth Annual Meeting of the BICA Society. Biologically Inspired Cognitive Architectures Meeting*. – 2018. – Vol. 848. – P. 209–216.
113. **Kugurakova, V. V.** Towards the immersive VR: measuring and assessing realism of user experience [Text] / V. V. Kugurakova, A. M. Elizarov, M. R. Khafizov, A. Yu. Lushnikov, A. R. Nizamutdinov // *ICAROB 2018: Proceedings of the 2017 International Conference on Artificial Life and Robotics*. – Japan, Beppu. – 2018. – P. 96.
114. **Kugurakova, V. V.** Virtual Reality-based immersive simulation for invasive surgery training [Text] / V. V. Kugurakova, V. D. Abramov, R. Sultanova, I. V. Tsvil'skiy, M. O. Talanov // *European Journal of Clinical Investigation*. – 2018. – P. 224–225.
115. **Kugurakova, V. V.** Virtual surgery system with realistic visual effects and haptic interaction [Text] / V. V. Kugurakova, M. R. Khafizov, R. D. Akhmetsharipov, A. Yu. Lushnikov, D. R. Galimova, V. D. Abramov, O. Correa Madrigal // *ICAROB 2017: Proceedings of the 2017 International Conference on Artificial Life and Robotics. AROB 22nd Anniversary (ICAROB 2017)*. – Japan, Miyazaki. – 2017. – P. P86–P89.
116. **Kugurakova, V. V.** Visual editor of scenarios for virtual laboratories [Text] / V. V. Kugurakova, V. D. Abramov, M. M. Abramskiy, N. R. Manakhov, A. R. Maslaviev // *10th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE 2017)*. – France, Paris. – 2017. – P. 242–247.
117. **Lang, P. J.** The emotion probe: Studies of motivation and attention [Text] / P. J. Lang // *American Psychologist*. – 1995. – Vol. 50 (5). – P. 372–385.

118. **Lorist, M. M.** Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue [Text] / M. M. Lorist, M. Boksem, K. Ridderinkhof // *Cognitive Brain Research*. – 2005. – Vol. 24. – P. 199–205.
119. **Lövheim, H.** A new three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters [Text] / H. Lövheim // *Medical Hypotheses*. – 2012. – Vol. 78. – Is. 2. – P. 341–348.
120. **Mallat, S. G.** A theory for multi-resolution signal decomposition: The wavelet representation [Text] / S. G. Mallat // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 1989. – Vol. 11 (7). – P. 674–693.
121. **Manghisi, V. M.** Experiencing the Sights, Smells, Sounds, and Climate of Southern Italy in VR [Text] / V. M. Manghisi, M. Fiorentino, M. Gattullo, A. Boccaccio, V. Bevilacqua, G. L. Cascella, M. Dassisti, A. E. Uva // *IEEE Computer Graphics and Applications*. – 2017. – Vol. 37. – No 6. – P. 19–25.
122. **Merzagora, A. C.** Wavelet analysis for EEG feature extraction in deceptive detection [Text] / A. C. Merzagora, S. Bunce, M. Izzetoglu, B. Onaral // *IEEE Proceedings on EBMS*. – 2006. – Vol. 6. – P. 2434–2437.
123. **Miyake, A.** The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “Frontal lobe” tasks: a latent variable analysis [Text] / A. Miyake, N. P. Friedman, M. J. Emerson, A. H. Witzki, A. Howerter, T. D. Wager // *Cognitive psychology*. – 2000. – Vol. 41. – No 1. – P. 49–100.
124. **Mohammadpour, M.** Classification of EEG-based emotion for BCI applications [Text] / M. Mohammadpour, S. M. R. Hashemi, N. Houshmand // Paper presented at the 7th Conference on Artificial Intelligence and Robotics, IRANOPEN 2017. – 2017. – P. 127–131.
125. MSF 4.0 and Microsoft Team Services [Electronic resource]. – URL: <http://geekswithblogs.net/cyoung/archive/2005/12/16/63354.aspx> (online; accessed 5.09.2018).

126. **Murugappan, M.** An Investigation on visual and audiovisual stimulus based emotion recognition using EEG [Electronic resource] / M. Murugappan, M. Rizon, R. Nagarajan, S. Yaacob // Transactions on Medical Engineering and Informatics. – 2009. – Vol. 1 (3). – P. 342–356.
127. **Murugappan, M.** Time-frequency analysis of EEG signals for human emotion detection [Text] / M. Murugappan, M. Rizon, R. Nagarajan, S. Yaacob, D. Hazry, I. Zunaidi // IFMBE Proceedings. – 2008. – Vol. 21. – P. 262–265.
128. **Nakagawa, S.** Measurements of brain magnetic fields associated with apparent self-motion [Text] / S. Nakagawa, S. Nishiike, M. Tonoike, N. Takeda, and T. Kubo // International Congress, 2002. – Series 1232. – P. 367–371.
129. **Nedic, Z.** Remote laboratories versus virtual and real laboratories [Text] / Z. Nedic, J. Machotka, A. Nafalski // Frontiers in Education (FIE 2003 33rd Annual). – 2003. – Vol. 1.
130. Neuralink [Electronic resource]. – URL: <https://www.neuralink.com/> (online; accessed 5.09.2018).
131. **Notebaert, W.** Cognitive control acts locally [Text] / W. Notebaert, T. Verguts // Cognition. – 2008. – Vol. 106. – P. 1071–1080.
132. **Nystrom, R.** Game Programming Patterns [Text] / R. Nystrom // Genever Benning, 2014. – 380 p.
133. OpenSim [Electronic resource]. – Logicamp, ScienceSim, Openvue et al. – URL: <http://opensimulator.org/> (online; accessed 6.09.2018).
134. Ponsse [Electronic resource]. – URL: <https://www.ponsse.com/ru/produkcija/simulyatory-ponsse> (online; accessed 5.09.2018).
135. **Potkonjak, V.** Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review [Text] / V. Potkonjak, M. Gardner, V. Callaghan, P. Mattila, C. Guetl, V. M. Petrovic, K. Jovanovich // Computers & Education. – 2016. – Vol. 95. – P. 309–327.

136. Presence questionnaire (Witmer & Singer, Vs. 3.0, Nov. 1994). Revised by the UQO Cyberpsychology Lab [Electronic resource]. – 2004. – URL: http://w3.uqo.ca/cyberpsy/docs/qaires/pres/PQ_va.pdf (online; accessed 5.09.2018).
137. **Raineri, D.** Virtual laboratories enhance traditional undergraduate biology laboratories [Text] / D. Raineri // Biochemistry and Molecular Biology Education. – 2016. – Vol. 29. – Is. 4. – P. 160–162.
138. **Ranasinghe, N.** A demonstration of season traveller: Multisensory narration for enhancing the virtual reality experience [Text] / N. Ranasinghe, P. Jain, N. T. N. Tram, D. Tolley, Y. Liangkun, C. E. W. Tung, K. Shamaiah // Paper presented at the Conference on Human Factors in Computing Systems – Proceedings. – 2018.
139. **Ranasinghe, N.** Digital taste and smell communication [Text] / N. Ranasinghe, K. Karunanayaka, A. D. Cheok, O. N. Newton, H. Nii, P. Gopalakrishnakone // Paper presented at the BODYNETS 2011 – 6th International ICST Conference on Body Area Networks, 2012. – P. 78–84.
140. **Ranasinghe, N.** Digital taste interface [Text] / N. Ranasinghe, A. D. Cheok, H. Nii, O. N. N. Fernando, G. Ponnampalam // UIST'11 Adjunct – Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 2011. – P. 11–12.
141. **Ranasinghe, N.** Simulating the sensation of taste for immersive experiences [Text] / N. Ranasinghe, A. D. Cheok, R. Nakatsu, E. Y. Do // Paper presented at the ImmersiveMe 2013 – Proceedings of the 2nd International Workshop on Immersive Media Experiences, Co-Located with ACM Multimedia 2013. – 2013. – P. 29–34.
142. **Rebecca, N.** What is a decision tree algorithm? [Electronic resource] / N. Rebecca // – URL: <https://medium.com/@SeattleDataGuy/what-is-a-decision-tree-algorithm-4531749d2a17> (online; accessed 5.09.2018).
143. **Rollings, A.** Game Architecture and Design [Text] / A. Rollings and D. Morris // A New Edition, New Riders, 2004. – 930 p.

144. **Russell, J. A.** A Circumplex model of affect [Text] / J. A. Russell // Journal of Personality and Social Psychology. – 1980. – Vol. 39(6). – P. 1161–1178.
145. **Savan, P.** Machine learning. Chapter 5: Random Forest Classifier [Electronic resource] / P. Savan. – URL: <https://medium.com/machine-learning-101/chapter-5-random-forest-classifier-56dc7425c3e1> (online; accessed 5.09.2018).
146. Second Life [Electronic resource]. – Second Life Grid, Second Life Enterprise. – URL: <https://secondlife.com> (online; accessed 22.09.2018).
147. **Sefton, J.** The roots of open-world games [Electronic resource] / J. Sefton. – <https://www.gamesradar.com/the-roots-of-open-world-games/> (online; accessed 5.09.2018).
148. **Serrano, B.** Virtual reality and stimulation of touch and smell for inducing relaxation: A randomized controlled trial [Text] / B. Serrano, R.M. Baños, C. Botella // Computers in Human Behavior. – 2016. – Vol. 55. – P. 1–8.
149. Shader Forge [Electronic resource] – URL: <http://www.acegikmo.com/shaderforge> (online; accessed 5.09.2018).
150. **Shigapov, M. I.** Design of Digital Gloves with Feedback for VR [Text] / M. I. Shigapov, V. V. Kugurakova, E. Yu. Zykov // Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018). – 2018. – P. 604–608.
151. Soundsnap. Sound Effects Download [Electronic resource]. – URL: <https://www.soundsnap.com> (online; accessed 5.09.2018).
152. **Stan, L. C.** Simulation Technology in Educational Process [Text] / L. C. Stan // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2014. – Vol. 116. – P. 4521–4525.
153. **Takahashi, K.** Remarks on emotion recognition from multi-modal bio-potential signals [Text] / K. Takahashi, A. Tsukaguchi // Proceedings of IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication. – 2004. – P. 95–10.
154. **Talanov, M.** Emotional simulations and depression diagnostics [Text] / M. Talanov, J. Vallverdú, B. Hu, P. Moore, A. Toshev, D. Shatunova, A. Maganova,

- D. Sedlenko, A. Leukhin // *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. – 2016. – Vol. 18. – P. 41–50.
155. **Tchitchigin, A.** Robot dream [Text] / A. Tchitchigin, M. Talanov, L. Safina, M. Mazzara // *Smart Innovation, Systems and Technologies*. – 2016. – Vol. 58. – P. 291–298.
156. **Tomkins, S.** Affect imagery consciousness volume I the positive affects [Text] / S. Tomkins // Springer Publishing Company. – New York, 1962.
157. **Tomkins, S.** Affect imagery consciousness volume II the negative affects [Text] / S. Tomkins // Springer Publishing Company. – New York, 1963.
158. **Tomkins, S.** Affect imagery consciousness volume III the negative affects anger and fear [Text] / S. Tomkins // Springer Publishing Company. – New York, 1991.
159. **Tsivilskiy, I. V.** Hybrid Shader For Simultaneous Edge Detection And Ambient Shading [Text] / I. V. Tsivilskiy, R. R. Gaisin, V. V. Kugurakova // *Quid-investigacion Ciencia Y Tecnologia*. – 2017. – Is. 28. – P. 345–351.
160. Tunneling – an experimental VR locomotion technique by brantlew [Electronic resource]. – URL: https://www.reddit.com/r/oculus/comments/3qku1s/tunneling_an_experimental_vr_locomotion_technique/ (online; accessed 10.09.2018).
161. Ubisoft Entertainment [Electronic resource]. – URL: <https://www.ubisoft.com/> (online; accessed 7.09.2018).
162. Unigine [Electronic resource]. – URL: <https://unigine.com/> (online; accessed 5.09.2018).
163. Unity [Electronic resource]. – URL: <http://unity3d.com> (online; accessed 5.09.2018).
164. Unreal Engine 4 [Electronic resource]. – URL: <https://www.unrealengine.com> (online; accessed 5.09.2018).
165. Virtual Orator [Electronic resource] : RMIT University (Australia) and Institute For Mental Health. – URL: <https://publicspeaking.tech> (online; accessed 7.09.2018).

166. Virtual Reality Tool Kit (VRTK) [Electronic resource]. – URL: <https://vrtoolkit.readme.io> (online; accessed 5.09.2018).
167. **Vorobyeva, D. V.** VR & Web GUI Shell: Interactive Web-System For Virtual Reality [Text] / D. V. Vorobyeva, A. D. Leukhin, V. V. Kugurakova // Revista Publicando. – 2017. – Vol. 4. – Is. 13. – P. 542–554.
168. VR-костюм полного погружения TeslaSuit [Electronic resource]. – URL: <https://teslasuit.io> (online; accessed 5.09.2018).
169. VR-тренажёр экипажей субмарин Maritime [Electronic resource] : Компания Immerse. – Великобритания. – URL: <https://immerse.io> (online; accessed 5.09.2018).
170. VR-тренажер электромеханика РЖД [Электронный ресурс]. – Tengo interactive. – Россия, Екатеринбург. – URL: <https://tengointeractive.ru> (дата обращения 7.09.2018).
171. VR-тренажёр LapSim [Electronic resource]. – URL: <https://surgicalscience.com/systems/lapsim/basic-skills/> (online; accessed 5.09.2018).
172. VR-тренажёр Military Vehicle Simulator [Electronic resource] : Компания ECA Group. – France. – URL: <https://www.ecagroup.com/en/solutions/military-vehicle-simulator> (online; accessed 5.09.2018).
173. **Witmer, B. G.** Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire [Text] / B. G. Witmer, M. J. Singer // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 1998. – Vol. 7 (3). – P. 225–240.
174. **Witmer, B. G.** Revised factor structure. The factor structure of the Presence Questionnaire [Text] / B. J. Witmer, C. J. Jerome, M. J. Singer // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 2005. – Vol. 14 (3). – P. 298–312.
175. World of the Tanks [Electronic resource]. – URL: <https://worldoftanks.ru/> (online; accessed 10.09.2018).

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

Рисунок 1.1 – Семинар с использованием одного из приложений виртуальной реальности Virtual Orator	20
Рисунок 1.2 – Фаза преодоления недостатков VR-технологий	22
Рисунок 2.1 – Пример графического инструмента	43
Рисунок 2.3 – Диаграмма классов нодового конструктора без универсального подхода к созданию сценариев	44
Рисунок 2.4 – Упрощенная диаграмма классов сценария	47
Рисунок 2.5 – Пример сценария, описанного в нодовом редакторе	48
Рисунок 2.6 – Пример цепочки последовательных связей нескольких шагов	49
Рисунок 2.7 – Пример отрывка сценария с распараллеливанием	49
Рисунок 2.8 – Стартовый узел (ScenarioStartAction)	49
Рисунок 2.9 – Компонент повторения действий (Loop)	50
Рисунок 2.10 – Компонент перемещения объекта (MoveLocalTo)	50
Рисунок 2.11 – Компонент изменения активности (ObjectActivation)	50
Рисунок 2.12 – Компонент создания дочернего объекта (PutInsideAnotherObject)	51
Рисунок 2.13 – Компонент включения анимации (SetAnimatorState)	51
Рисунок 2.14 – Компоненты SetPosition, SetRotation, SetScale	51
Рисунок 2.15 – Компонент добавления сообщений пользователю (ShowMessage)	52
Рисунок 2.16 – Компонент вставки (SpawnObject)	52
Рисунок 2.17 – Компонент паузы (Wait)	52
Рисунок 2.18 – Компонент выбора (WaitEnter)	53
Рисунок 2.19 – Длинный линейный сценарий в нодовом представлении	53

Рисунок 2.20 – Линейная часть сценария в представлении в виде графа	54
Рисунок 2.21 – Линейная часть сценария в представлении в виде списка	54
Рисунок 2.22 – Результат работы json-сериализатора	56
Рисунок 2.23 – Пример сгенерированной Id игрового объекта	57
Рисунок 2.24 – Логическая схема работы сценария	58
Рисунок 2.25 – Алгебраическая решетка как модель пространства знаний обучающего курса	61
Рисунок 2.26 – “Железный треугольник” вовлеченности	63
Рисунок 2.27 – Классификация обучающих игр	66
Рисунок 2.28 – Трехмерная модель эмоций и моноаминовых нейротрансмиттеров	70
Рисунок 3.1 – Диаграмма деятельности, отражающая алгоритм подготовки с учетом предтренажерной и тренажерной фаз	86
Рисунок 3.2 – Диаграмма Исикавы комплекса работ по созданию и работе виртуального тренажера	88
Рисунок 3.3 – Импорт VRTK в Unity-проект	91
Рисунок 3.4 – Диаграмма компонентов автоматизированной системы	93
Рисунок 3.5 – Диаграмма последовательности процесса создания виртуального тренажера	94
Рисунок 3.6 – Диаграмма состояний виртуального тренажера	96
Рисунок 3.7 – Диаграмма прецедентов для конструктора сценариев	97
Рисунок 3.8 – Диаграмма прецедентов для пользователя, находящегося в VR	97
Рисунок 4.1 – Иллюстрация выливания жидкости в виртуальной биотехнологической лаборатории	100
Рисунок 4.2 – Иллюстрация открытия дверей инкубатора в виртуаль-	101

ной биотехнологической лаборатории	
Рисунок 4.3 – Вид интерактивного предмета – центрифуги	102
Рисунок 4.4 – Общий вид одной из первых версий отображения виртуальной биотехнологической лаборатории	102
Рисунок 4.5 – Общий вид более поздней версии виртуальной биотехнологической лаборатории	103
Рисунок 4.6 – Другой ракурс виртуальной биотехнологической лаборатории, отображающий достаточную иммерсивность – детали на полках и стенах, не только необходимые, но и “лишние” предметы	104
Рисунок 4.7 – Реалистичное освещение, тени и отражения, разная поглощаемость света материалами, рассеивание света – эффекты, усиливающие погружение	104
Рисунок 4.8 – Настройка характеристик озвучки столкновения колб в виртуальной лаборатории ИФА	107
Рисунок 4.9 – Учёт силы столкновения колб при озвучке взаимодействия	107
Рисунок 4.10 – Примеры элементов, геймифицирующие процесс обучения: (а) дневник; (б) подсказки	108
Рисунок 4.11 – Общий вид виртуальной хирургической операционной с расставленным освещением	114

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1 – Сопоставление направлений исследований, предусмотренных специальностью 05.13.11, и результатов, полученных в диссертации	12
Таблица 2.1 – Уровни нейромедиаторов, участвующих в эмоциях в кубе Лёвхейма	72
Таблица 2.2 – Результаты по прогнозированию уровня норадреналина	74
Таблица 2.3 – Результаты по прогнозированию уровня серотонина	74
Таблица 2.4 – Результаты по прогнозированию уровня дофамина	74
Таблица 2.5 – Значения коэффициентов корреляции	75

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Акты об апробации, акты о внедрении, дипломы

УТВЕРЖАЮ
Проректор Казанского (Приволжского)
федерального университета
профессор Кийсов А.И.
«30» августа 2018



СПРАВКА

о внедрении результатов
диссертационной работы В.В. Кугураковой
«Математическое и программное обеспечение многопользовательских
тренажеров с погружением в иммерсивные виртуальные среды»

Результаты диссертационной работы Кугураковой Влады Владимировны «Математическое и программное обеспечение многопользовательских тренажеров с погружением в иммерсивные виртуальные среды» внедрены в учебный процесс Казанского (Приволжского) федерального университета, в частности:

1. Внедрена в учебный процесс для получения долабораторного опыта VR–тренажёр «виртуальная биотехнологическая лаборатория» при изучении обучающимися Института фундаментальной медицины и биологии дисциплин бакалавриата, магистратуры и специалитета.
2. Внедрена в учебный процесс для получения дооперационного опыта VR–тренажёр «виртуальная операционная» при изучении обучающимися Института фундаментальной медицины и биологии дисциплин специалитета «Лечебное дело».
3. Методологические подходы соискателя применены для подготовки методического материала при разработке новых виртуальных экспериментов и виртуальных открытых хирургических операций.
4. Предложенная автором автоматизированная система создания виртуальных многопользовательских тренажёров нашла применение в курсе переподготовки и повышения квалификации специалистов в рамках получения дополнительного образования, в форме тренинг-курсов, семинаров обучения персонала без отрыва от производства и программ консультирования управленческого персонала.

Зам. директора по научной
деятельности Института
фундаментальной медицины и
биологии Казанского
(Приволжского) федерал
университета, к.м.н., до



Р.И. Файзуллин

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по образовательной деятельности
Казанского (Приволжского) федерального
университета



профессор Д. А. Таурский

30 августа 2018 г.



СПРАВКА
о внедрении результатов
диссертационной работы В.В. Кугураковой
«Математическое и программное обеспечение многопользовательских
тренажеров с погружением в иммерсивные виртуальные среды»

Результаты диссертационной работы Кугураковой Влады Владимировны по теме: «Математическое и программное обеспечение многопользовательских тренажеров с погружением в иммерсивные виртуальные среды» в виде программно-аппаратного комплекса «Виртуальный полигон осмотра происшествия» внедрен в учебный процесс на Юридическом факультете Казанского (Приволжского) федерального университета и используется для преподавания учебных дисциплин «Криминалистика», «Теория оперативно-розыскной деятельности» и «Проблемы криминалистической тактики» студентам дневного отделения 3 и 4 курса.

Декан Юридического факультета,
кандидат юридических наук, доцент



Л.Т. Бакулина

Заведующий кафедры уголовного
процесса и криминалистики,
Юридического факультета
кандидат юридических наук, доцент



И.О. Антонов

89172695884

СПРАВКА

о внедрении результатов работы по созданию симуляционного комплекса в виртуальной реальности

Результаты работы по договору между ООО «СтройУслуги» (г.Казань) и ФГАОУВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», по выполнению работы по созданию симуляционного комплекса в виртуальной реальности, использующее разработанное в рамках диссертационного исследования Кугураковой Влады Владимировны на тему «Математическое и программное обеспечение многопользовательских тренажеров с погружением в иммерсивные виртуальные среды» автоматизированную систему, внедрены в производственный процесс компании: размещены в офисах продаж для демонстрации интерактивного Жилого Комплекса «ArtCity» (г.Казань), с использованием шлемов виртуальной реальности.

Интерактивный комплекс включает в себя высокореалистичные 3D модели внутреннего двора жилищного комплекса и окружающего пространства, с интерактивными элементами, влияющими на повышение иммерсивности. Оптимизация процесса визуализации с количеством кадров в секунду в средний момент не меньше 90 приводит к комфортному погружению в виртуальные апартаменты. При проведении демонстрации на большом количестве заинтересованных потребителей отмечено, что геймифицированные элементы при выборе квартир и интерьеров, разные режимы освещения, динамичное звуковое окружение, эффект туннелирования при телепортации в виртуальном пространстве значительно повышает конверсии продаж.

ООО «СтройУслуги»
420053, Республика Татарстан,
г.Казань ул.Журналистов, д.62, а/я 93
ИНН 1660075460 / КПП 166001001
ОГРН 1041630233699
р/с 40702810300050020486
АКБ «Энергобанк» (ПАО) г.Казань
к/с 30101810300000000770
БИК 049205770

Директор ООО «СтройУслуги»

/ Арсентьев Р.С. «СтройУслуги»

29.09





Общество с ограниченной
ответственностью
«Глобал Дата Консалтинг энд
Сервисез» (ООО «ДжиДиСи
Сервисез»)
Группа компаний ICL

Адрес: 420029, г. Казань,
Сибирский тракт, 34, корпус 1
Тел.: +7(843) 272 26 03,
Факс: +7 (843) 272 39 52
E-MAIL: pr@icl-services.com
ОГРН 1101690062638, ИНН
1660146230

Исх. № _____

От _____

На № _____

От _____

Акт
о внедрении результатов диссертационного исследования
Кугураковой Влады Владимировны

Результаты диссертационного исследования Кугураковой В.В. на тему «Математическое и программное обеспечение многопользовательских тренажеров с погружением в иммерсивные виртуальные среды», представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук, внедрены в практику деятельности Общества с ограниченной ответственностью «Глобал Дата Консалтинг энд Сервисез» (группа компаний ICL) в виде автоматизированной системы «Тренажер в виртуальной реальности» для гипермаркетов строительных материалов.

Автоматизированная система представляет собой продвинутый конструктор, который дает возможность пользователю на основе вводимых параметров (метраж, стены, площадь, измерения, расположение оконных и дверных проемов и др.) создать иммерсивную симуляцию из множества готовых объектов, представляемых гипермаркетом. При этом происходит создание исполняемого приложения-тренажера, в котором пользователь с помощью технологии виртуальной реальности может ознакомиться с разработанным им трехмерным решением. Использование данного приложения-тренажера позволяет пользователю примерить возможные интерьерные решения к своей жилплощади и на основе этих данных принять решение о покупке.

Результаты внедрения автоматизированной системы, предложенной автором диссертационного исследования Кугураковой В.В., положительным образом сказываются на коммерческой деятельности Общества с ограниченной ответственностью «Глобал Дата Консалтинг энд Сервисез».

Директор ДжиДиСи



С.В. Соловьев



business incubator



СЕРТИФИКАТ

УЧАСТНИКУ DEMO DAY
SATELLITE ACCELERATOR

*Кузнецова Ольга
Владимировна*

Директор ГАУ «ИТ-парк»

Гречев А.О.



SATELLITE Accelerator
факультатив по технологическому
предпринимательству



2015



ДИПЛОМ

финалиста

конкурса школьных и студенческих
технологических проектов в сфере
информационных технологий
«Digital Start»

Арх Виз

САБИРОВ С.И.

Руководитель Бизнес-инкубатора
Технопарка в сфере высоких
технологий "ИТ-парк"

10 апреля 2018 г.



ДЕУЛЕТ АВТОНОМИЯЛЕ БЕШМАСЫ
ЮГАРЫ ТЕХНОЛОГИЯ ЕЛКЭСЕНДЕ ТЕХНОПАРК «ИТ-ПАРК»
ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ТЕХНОПАРК В СФЕРЕ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ «ИТ-ПАРК»

ДИПЛОМ

финалиста

конкурса школьных и студенческих
технологических проектов в сфере
информационных технологий
«Digital Start»

VR Labs

САБИРОВ С.И.

Руководитель Бизнес-инкубатора
Технопарка в сфере высоких
технологий "ИТ-парк"

10 апреля 2018 г.



ДИПЛОМ

ПОБЕДИТЕЛЯ

в номинации «Лучший студенческий ИТ-проект»

конкурса школьных и студенческих технологических проектов
в сфере информационных технологий «Digital Start»

10 апреля 2018 г.

*СИМУЛЯТОР В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ
ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ
ОСНОВАМ*

САБИРОВ С.И.

Руководитель Бизнес-инкубатора
Технопарка в сфере высоких
технологий «ИТ-парк»



Приложение В. Копии свидетельств регистрации программ для ЭВМ

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611733

Программа для симуляции биотехнологических лабораторий в виртуальной реальности / Кугуракова В.В., Абрамов В.Д., Ризванов А.А., Хафизов М.Р., Блатт Н.Л. – № 2018611733; заявл. 12.12.2017; в реестре программ для ЭВМ с 06.02.2018.



**Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2018611797**

Кроссплатформенный программный комплекс для симуляции биотехнологических лабораторий / Кугуракова В.В., Абрамов В.Д., Ризванов А.А., Хафизов М.Р., Блатт Н.Л. – № 2018611797; заявл. 12.12.2017; в реестре программ для ЭВМ с 07.02.2018.



**Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2013619724**

Кроссплатформенное программное ядро для интерактивного моделирования трех-
мерных динамических сцен / Цивильский И.В., Гайсин Р.Р., Кугуракова В.В. –
№ 2013619724; в реестре программ для ЭВМ с 14.10.2013.



Приложение D. Интерактивные 3D объекты

Приложение D.1. Объекты виртуальной биотехнологической лаборатории

- Колба с образцом крови (40 мл крови в каждой). Действие: открыть и закрыть крышку;
- центрифуга, в которую помещаются образцы крови. У центрифуги должны быть непрозрачная крышка и на передней панели таймер и кнопки, с помощью которых его можно настраивать, а также кнопка запуска центрифуги; необходимо сделать и другие неактивные кнопки, как на примере ниже. Действие: закладывание (или изъятие колб) с кровью из центрифуги; открытие (или закрытие) крышки; добавление (или убавление) времени; запуск центрифуги;
- противовес для центрифуги – точно такая же колба, как колба с образцом крови; закладывается в центрифугу при условии, что образцов крови нечетное количество;
- колба с сывороткой крови (40 мл);
- колба с образцами крови после центрифуги; четко видны состав крови и линия переходов; действия: открыть (или закрыть) крышку;
- дозатор и дозатор для малых порций;
- необходимость взятия проб разных жидкостей; дозатор и дозатор для малых порций отличаются рабочей поверхностью, у последнего она меньше; дозировка настраивается с помощью клавиш «больше» и «меньше» на передней панели дозатора; дозировка показывается в небольшом окне между кнопок «больше» и «меньше»; действия: убавить (или прибавить) дозировку; взять жидкость (при этом рабочая поверхность дозатора окрашивается в цвет

жидкости), вылить жидкость (рабочая поверхность вновь становится прозрачной, активируется нажатием клавиши мыши);

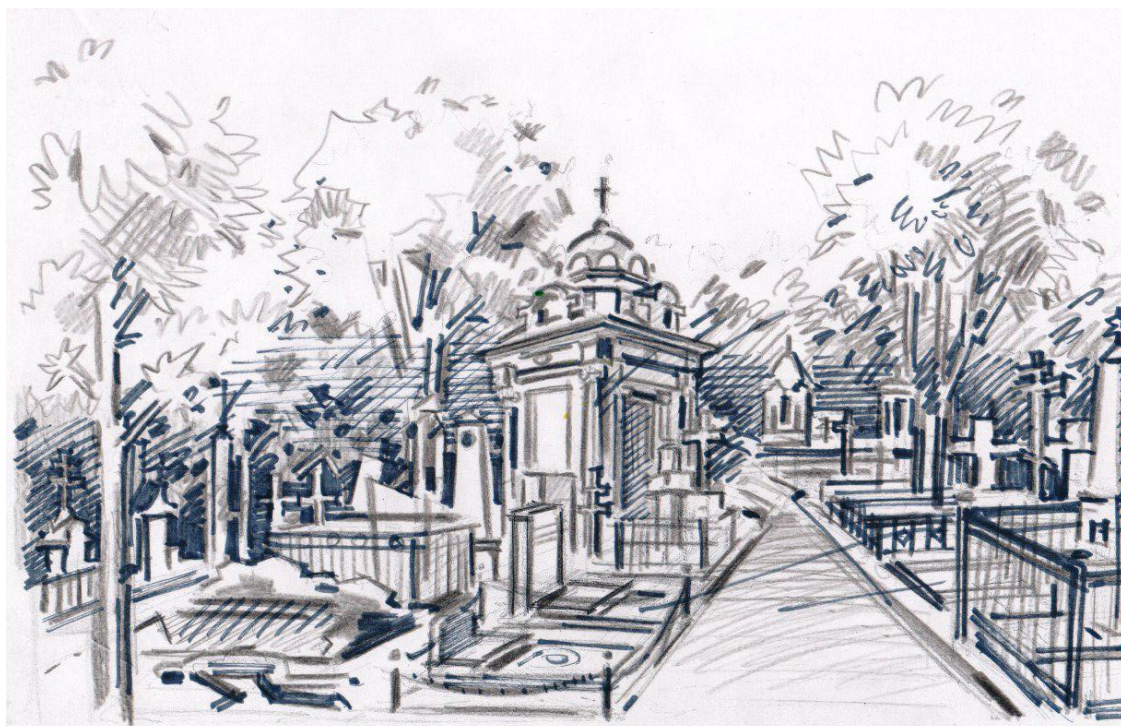
- малая колба для растворов (для раствора 1:2) должна выглядеть как уменьшенная копия колбы для крови, в длину – на $2/3$, а в диаметре – на половину; действия: влить и вылить кровь, закрыть и открыть крышку; взболтать, при этом жидкости, которые были в ней, перемешаются;
- колба для растворов, должна быть меньше в диаметре в два раза, чем колба для крови; действия: влить и вылить кровь, закрыть и открыть крышку; взболтать, при этом жидкости, которые были в ней, перемешаются;
- слив для биологических жидкостей, большая банка со значком биологической угрозы; действие: закрыть и открыть крышку;
- банки с растворами, из них берутся растворы: фосфатно-солевой буферного (ФСБ), поликанальных кроличьих антител (ПКА), пероксидазы хрена, раствора антител СКВ – системная красная волчанка; этикетку сделать белой, а черными буквами – название раствора не ней; раствор ФСБ сделать больше других по размеру; действия: открыть и закрыть банку;
- инкубатор – необходим для проведения тестирования, на нём должны быть небольшой дисплей размером для таймера (отсчёт в минутах), кнопки прибавления и убавления минут на таймере, небольшой дисплей размером для температуры (в градусах Цельсия), кнопка добавления температуры, кнопка убавления температуры, кнопка запуска; в инкубатор ставится микропланшет, окошко инкубатора должно быть прозрачным, чтобы видеть помещаемые в него предметы; при установке времени и температуры и после нажатия кнопки включения в инкубаторе должен загораться свет, а время должно вести обратный отсчет; действия: добавить (или убавить) время, добавить (или убавить) температуру, открыть (или закрыть) дверь, включить, свет внутри загорается при включении;

- микропланшет – необходим для проведения реакций с кровью, в лунки заливается жидкость из дозаторов; активные лунки (с которыми предстоит работать) подсвечиваются; также необходима возможность подписи столбцов и строчек, как на фотографии ниже; действие – влить или вылить жидкость с помощью дозатора;
- держатель для колб; действия: вставить (или убрать) колбу.

Приложение D.2. Объекты виртуального осмотра места происшествия

- входная группа;
- могильные камни;
- склепы;
- сторожка;
- урна;
- каменный забор;
- статуя женщины;
- гроб;
- тела преступников и жертвы;
- видеокамера;
- яма с насыпью;
- ограды;
- памятники;
- часовня;
- лавочка;
- поребрики;
- статуя горгульи;
- дорожки;
- лопата;
- деревья;
- сигаретные окурки;
- гильзы.

Один из скетчей для общего вида виртуального осмотра места преступления
(выполнил Н. Ф. Рябов, член Союза дизайнеров Республики Татарстан)



Приложение D.3. Объекты виртуальной хирургической операционной

- «пациент» и отдельные органы;
- операционный стол;
- хирургические светильники;
- капельницы;
- шкафы для медицинских инструментов;
- монитор жизненно важных функций пациента;
- наркозно-дыхательный аппарат;



- стол с инструментами:
 - комплект для сбора и сортировки медицинских отходов,
 - корнцанги, зажим Микулича,
 - кровоостанавливающий зажим, салфетки,
 - крючки Фарабефа, иглодержатель,
 - изогнутые ножницы, скальпель,
 - тупоконечные ножницы, моток кетгутовых ниток,
 - пинцеты, иголки,
 - чистые ватные тампоны, ватные тампоны в йодовом растворе.

Приложение Е. Иллюстрации виртуальных тренажёров

Приложение Е.1. Виртуальный полигон осмотра места происшествия



Приложение Е.2. Виртуальная хирургическая операционная



Приложение F. Сценарии виртуальных тренажёров

Приложение F.1. Протокол прохождения эксперимента ИФА

Для проведения иммуноферментного анализа необходимо выполнить следующие шаги:

- Необходимо 30 мл крови пациента;
- далее необходимо выработать сыворотку крови, для этого образцы крови помещают в центрифугу на 15 минут;
- после того как сыворотка выработана, необходимо разделить ее на три образца в следующих пропорциях 1:2, 1:10, 1:100;
- с помощью дозатора берётся 1 мл сыворотки и выливается в 1 колбу;
- подготовить микропланшет для иммуноферментного анализа;
- промаркировать микропланшет по вертикали: пациенты, позитивная и негативная пробы; по горизонтали: концентрация раствора 1:2, 1:10, 1:100;
- из каждой колбы с раствором сыворотки крови взять с жидкость помощью дозатора для малых порций 0.1 мл и влить её в колонки пациентов;
- с помощью дозатора для малых порций необходимо взять 0.1 мл раствора антител «СКВ» и добавить в ячейки под колонкой «положительная проба»;
- с помощью дозатора для малых порций необходимо взять 0.1 мл раствора ФСБ и влить его в каждую ячейку негативной пробы;
- поставить микропланшет в инкубатор на 15 минут, при температуре 37° С;
- по истечении времени достать из инкубатора микропланшет;
- с помощью дозатора для малых порций убрать растворы из каждой ячейки по одному;
- далее необходимо промыть каждую ячейку с помощью раствора ФСБ;
- для этого с помощью дозатора для малых порций берется 0.1 мл ФСБ и заливается в каждую ячейку;

- с помощью дозатора для малых порций убрать растворы из каждой ячейки по одному;
- берётся раствор поликанальных кроличьих антител (ПКА);
- с помощью дозатора для малых порций берётся 0.1 мл ПКА и вливается в каждую ячейку планшета;
- поставить микропланшет в инкубатор на 15 минут при температуре 37 градусов;
- по истечении времени достать из инкубатора микропланшет;
- с помощью дозатора для малых порций убрать растворы из каждой ячейки по одному;
- далее необходимо промыть каждую ячейку с помощью раствора ФСБ;
- для этого с помощью дозатора для малых порций берётся 0.1 мл ФСБ и заливается в каждую ячейку;
- с помощью дозатора для малых порций убрать растворы из каждой ячейки по одному;
- берётся раствор пероксидазы хрена (horseradish peroxidase) и заливается в каждую активную ячейку микропланшета;
- устанавливается таймер на 15 минут.

Приложение F.2. Части сценария ИФА (в списочном представлении)

Расположение буферного раствора PBS-20+Tween в планшете

Single Scenario (Script)

Name of the scenario:
Scenario_1_Name

Size: 23

Resource	State	Quantity	Step ID
buffer	Taken	NONE	Scenario_1_Step_0
buffer	Opened	NONE	Scenario_1_Step_1
bathtub	Have	PBS	Scenario_1_Step_2
buffer	Closed	NONE	Scenario_1_Step_3
buffer	Placed	NONE	Scenario_1_Step_4
poli_dispenser	Taken	NONE	Scenario_1_Step_5
poli_dispenser	Have	Tip	Scenario_1_Step_6
poli_dispenser	NONE	Mcl_100	Scenario_1_Step_7
pf_microplate	Have	PBS	Scenario_1_Step_8
pf_microplate	Have	K	Scenario_1_Step_9
pf_microplate	Have	C1	Scenario_1_Step_10
pf_microplate	Have	C2	Scenario_1_Step_11
pf_microplate	Have	C3	Scenario_1_Step_12
pf_microplate	Have	C4	Scenario_1_Step_13
pf_microplate	Have	C5	Scenario_1_Step_14
pf_microplate	Have	C6	Scenario_1_Step_15
pf_microplate	Have	C7	Scenario_1_Step_16
pf_microplate	Have	H1	Scenario_1_Step_17
pf_microplate	Have	H2	Scenario_1_Step_18
pf_microplate	Have	H3	Scenario_1_Step_19
pf_microplate	Have	H4	Scenario_1_Step_20
pf_microplate	Have	H5	Scenario_1_Step_21
poli_dispenser	Havent	Tip	Scenario_1_Step_22

Инкубация планшета с буферным раствором

Single Scenario (Script)

Name of the scenario:
Scenario_2_Name

Size: 7

Scenario	State	Condition	Step
pf_microplate	Have	Wrap	Scenario_2_Step_0
Incubator	Opened	NONE	Scenario_2_Step_1
Incubator	Have	Microplate	Scenario_2_Step_2
Incubator	Closed	Microplate	Scenario_2_Step_3
Incubator	Prepared	Microplate	Scenario_2_Step_4
Incubator	Launched	Microplate	Scenario_2_Step_5
Incubator	Finished	Microplate	Scenario_2_Step_6

Инкубация планшета с конъюгатом

Single Scenario (Script)

Name of the scenario:
Scenario_4_Name_1

Size: 10

Scenario	State	Condition	Step
konjigat	Taken	NONE	Scenario_4_Step_0
konjigat	Opened	NONE	Scenario_4_Step_1
bathtub	Have	Konjigat	Scenario_4_Step_2
konjigat	Closed	NONE	Scenario_4_Step_3
konjigat	Placed	NONE	Scenario_4_Step_4
poli_dispenser	Taken	NONE	Scenario_4_Step_5
poli_dispenser	NONE	Mcl_100	Scenario_4_Step_6
poli_dispenser	Have	Tip	Scenario_4_Step_7_User
pf_microplate	Have	Konjigat	Scenario_4_Step_8_User
poli_dispenser	Havent	Tip	Scenario_4_Step_9_User

Встряхивание планшета со СТОП-реагентом (серной кислотой)

Single Scenario (Script)

Name of the scenario:
Scenario_9_Name

Size: 6

Scenario	State	Condition	Step
pf_pst-60HL	Opened	NONE	Scenario_9_Step_0
pf_pst-60HL	Have	Microplate	Scenario_9_Step_1
pf_pst-60HL	Closed	Microplate	Scenario_9_Step_2
pf_pst-60HL	Prepared	Microplate	Scenario_9_Step_3
pf_pst-60HL	Launched	Microplate	Scenario_9_Step_4
pf_pst-60HL	Finished	Microplate	Scenario_9_Step_5

Очистка планшета

Single Scenario (Script)

Name of the scenario:
Scenario_3_Name_1

Size: 26

Scenario

Incubator	Opened	Microplate	Scenario_3_Step_0
Incubator	Havent	Microplate	Scenario_3_Step_1
pf_microplate	Have	NONE	Scenario_3_Step_2
clean_water	Taken	NONE	Scenario_3_Step_3
clean_water	Opened	NONE	Scenario_3_Step_4
bathtub	Have	Clean_water	Scenario_3_Step_5
clean_water	Closed	NONE	Scenario_3_Step_6
clean_water	Placed	NONE	Scenario_3_Step_7
poli_dispenser	Taken	NONE	Scenario_3_Step_8
poli_dispenser	Have	Tip	Scenario_3_Step_9
poli_dispenser	NONE	Mcl_300	Scenario_3_Step_10
poli_dispenser	Have	Clean_water	Scenario_3_Step_11_Us
poli_dispenser	Upside_down_rotated	Clean_water	Scenario_3_Step_12_Us
pf_microplate	Have	Clean_water	Scenario_3_Step_13_Us
poli_dispenser	Havent	Tip	Scenario_3_Step_14_Us
pf_pst-60HL	Opened	Microplate	Scenario_3_Step_15_Us
pf_pst-60HL	Have	Microplate	Scenario_3_Step_16_Us
pf_pst-60HL	Closed	Microplate	Scenario_3_Step_17_Us
pf_pst-60HL	Prepared	Microplate	Scenario_3_Step_18_Us
pf_pst-60HL	Launched	Microplate	Scenario_3_Step_19_Us
pf_pst-60HL	Finished	Microplate	Scenario_3_Step_20_Us
pf_pst-60HL	Opened	Microplate	Scenario_3_Step_21_1_l
pf_pst-60HL	Havent	Microplate	Scenario_3_Step_21_2_l
pf_pst-60HL	Closed	Microplate	Scenario_3_Step_21_3_l
pf_microplate	Have	NONE	Scenario_3_Step_22_Us
pf_microplate	Knocked	NONE	Scenario_3_Step_23_Us

Подготовка планшета с конъюгатом (пероксидазы хрена)

Single Scenario (Script)
 Name of the scenario:
 Scenario_3_Name_2
 Size: 15

Scenario	State	Condition	Step
poli_dispenser	Have	Clean_water	Scenario_3_Step_11_Use
poli_dispenser	Upside_down_rotated	Clean_water	Scenario_3_Step_12_Use
pf_microplate	Have	Clean_water	Scenario_3_Step_13_Use
poli_dispenser	Havent	Tip	Scenario_3_Step_14_Use
pf_pst-60HL	Opened	Microplate	Scenario_3_Step_15_Use
pf_pst-60HL	Have	Microplate	Scenario_3_Step_16_Use
pf_pst-60HL	Closed	Microplate	Scenario_3_Step_17_Use
pf_pst-60HL	Prepared	Microplate	Scenario_3_Step_18_Use
pf_pst-60HL	Launched	Microplate	Scenario_3_Step_19_Use
pf_pst-60HL	Finished	Microplate	Scenario_3_Step_20_Use
pf_pst-60HL	Opened	Microplate	Scenario_3_Step_21_1_l
pf_pst-60HL	Havent	Microplate	Scenario_3_Step_21_2_l
pf_pst-60HL	Closed	Microplate	Scenario_3_Step_21_3_l
pf_microplate	Have	NONE	Scenario_3_Step_22_Use
pf_microplate	Knocked	NONE	Scenario_3_Step_23_Use

Встряхивание планшета с конъюгатом

Single Scenario (Script)
 Name of the scenario:
 Scenario_4_Name_2
 Size: 10

Scenario	State	Condition	Step
poli_dispenser	Have	Tip	Scenario_4_Step_7_Use
pf_microplate	Have	Konjigat	Scenario_4_Step_8_Use
poli_dispenser	Havent	Tip	Scenario_4_Step_9_Use
pf_microplate	Have	Wrap	Scenario_4_Step_10
pf_pst-60HL	Opened	NONE	Scenario_4_Step_11
pf_pst-60HL	Have	Microplate	Scenario_4_Step_12
pf_pst-60HL	Closed	Microplate	Scenario_4_Step_13
pf_pst-60HL	Prepared	Microplate	Scenario_4_Step_14
pf_pst-60HL	Launched	Microplate	Scenario_4_Step_15
pf_pst-60HL	Finished	Microplate	Scenario_4_Step_16

Подготовка планшета для инкубации с ТМБ

Single Scenario (Script)

Name of the scenario:
Scenario_6_Name_1

Size: 10

Scenario	State	Material	Step
tmb_test	Taken	NONE	Scenario_6_Step_0
tmb_test	Opened	NONE	Scenario_6_Step_1
bathtub	Have	Tmb	Scenario_6_Step_2
tmb_test	Closed	NONE	Scenario_6_Step_3
tmb_test	Placed	NONE	Scenario_6_Step_4
poli_dispenser	Taken	NONE	Scenario_6_Step_5
poli_dispenser	NONE	Mcl_100	Scenario_6_Step_6
poli_dispenser	Have	Tip	Scenario_6_Step_7_UsedInCy
pf_microplate	Have	Tmb	Scenario_6_Step_8_UsedInCy
poli_dispenser	Havent	Tip	Scenario_6_Step_9_UsedInCy

Встряхивание планшета с ТМБ

Single Scenario (Script)

Name of the scenario:
Scenario_7_Name

Size: 6

Scenario	State	Material	Step
pf_pst-60HL	Opened	NONE	Scenario_7_Step_0
pf_pst-60HL	Have	Microplate	Scenario_7_Step_1
pf_pst-60HL	Closed	Microplate	Scenario_7_Step_2
pf_pst-60HL	Prepared	Microplate	Scenario_7_Step_3
pf_pst-60HL	Launched	Microplate	Scenario_7_Step_4
pf_pst-60HL	Finished	Microplate	Scenario_7_Step_5

Подготовка планшета к очистке (с серной кислотой)

Name of the scenario:
Scenario_8_Name_1

Size: 10

Scenario	State	Material	Step
stop_reagent	Taken	NONE	Scenario_8_Step_0
stop_reagent	Opened	NONE	Scenario_8_Step_1
bathtub	Have	Stop	Scenario_8_Step_2
stop_reagent	Closed	NONE	Scenario_8_Step_3
stop_reagent	Placed	NONE	Scenario_8_Step_4
poli_dispenser	Taken	NONE	Scenario_8_Step_5
poli_dispenser	NONE	Mcl_50	Scenario_8_Step_6
poli_dispenser	Have	Tip	Scenario_8_Step_7_UsedInCy
pf_microplate	Have	Stop	Scenario_8_Step_8_UsedInCy
poli_dispenser	Havent	Tip	Scenario_8_Step_9_UsedInCy

Приложение F.3. Сценарий аппендэктомии в виртуальной операционной

1. Общая анестезия.

2. Обработка антисептиком:

- a. Ведущей рукой взять корнцанги;
- b. Взять инструментом ватный тампон из ванночки с 5% раствором йода;
- c. Обработать всю поверхность живота пациента смоченным тампоном круговыми движениями;
- d. Повторить пункты e-g;
- e. Выбросить ватный тампон в урну;
- f. Повторить дважды;
- g. Убрать инструмент;

3. Погружение до мышц:

- a. Взять скальпель ведущей рукой;
- b. Поместите скальпель на живот пациента и следуйте визуальной подсказке;
- c. Взять ватный тампон неведущей рукой;
- d. Рассечь кожу и подкожную клетчатку скальпелем (косым разрезом длиной 8—10 см в правой паховой области);
- e. Одновременно обмакивать вытекающую из разреза кровь ватным тампоном;
- f. Рассечь небольшую часть апоневроза в центре скальпелем;
- g. Поместите скальпель на живот пациента и следуйте визуальной подсказке;
- h. Убрать скальпель;
- i. Выбросить ватный тампон в урну;
- j. Взять изогнутые ножницы;
- k. Рассечь апоневроз ножницами по направлению к верхнему углу;
- l. Рассечь апоневроз ножницами по направлению к нижнему углу;
- m. Убрать изогнутые ножницы.

4. Погружение до внутренних органов:

- a. Взять тупоконечные ножницы;
- b. Расслоить внутреннюю косую и поперечную мышцы живота по ходу мышечных волокон с помощью тупоконечных ножниц;
- c. Убрать ножницы;
- d. Взять 2 крючка Фарабефа;
- e. Расширить края раны крючками;
- f. Отпустить крючки (остаются в воздухе зафиксированным);
- g. Взять в неведущую руку пинцет;
- h. Взять в ведущую руку пинцет;
- i. Приподнять поперечную фасцию живота двумя руками с помощью пинцетов;
- j. Отпустить пинцеты;
- k. Взять в ведущую руку изогнутые ножницы;
- l. Рассечь небольшую часть поперечной фасции в центре ножницами;
- m. Убрать ножницы;
- n. Взять в неведущую руку зажим Микулича;
- o. Взять в ведущую руку изогнутые ножницы;
- p. Захватить верхний край брюшины зажимом;
- q. Рассечь брюшину ножницами по направлению к верхнему углу;
- r. Захватить нижний край брюшины зажимом;
- s. Рассечь брюшину ножницами по направлению к нижнему углу;
- t. Убрать зажим;
- u. Убрать изогнутые ножницы.

5. Извлечение аппендикса:

- a. Поиск слепой кишки через отверстие раны;
- b. Захват слепой кишки через отверстие раны пальцами с помощью марлевой салфетки;

с. Извлечение её с аппендиксом из разреза;

6. Отсечение брыжейки аппендикса:

a. Взять в неведущую руку зажим;

b. Взять в ведущую руку кровоостанавливающий зажим;

с. Захватить брыжейку аппендикса зажимом;

d. Наложить на основание брыжейки кровоостанавливающий зажим;

e. Отпустить зажим (остаётся в воздухе зафиксированным);

f. Отпустить кровоостанавливающий зажим (остаётся в воздухе зафиксированным);

g. Взять изогнутые ножницы;

h. Отсечь брыжейку ножницами.

7. Подготовка удаления аппендикса:

a. Взять кетгутовую нить;

b. Перевязать основание аппендикса;

с. Взять ножницы;

d. Отрезать края нити;

e. Убрать ножницы;

f. Взять иглодержатель в ведущую руку;

g. Взять нить с иглой;

h. Установить иглу в иглодержатель;

i. Проткнуть иглой середину основания брыжейки;

j. Отпустить иглодержатель;

k. Перехватить иглу иглодержателем с другой стороны;

l. Убрать иглу из нити;

m. Убрать инструменты;

n. Перевязать основание брыжейки руками с одной стороны;

o. Перевязать основание брыжейки руками полностью с другой стороны;

- p. Убрать кровоостанавливающий зажим;
- q. Сделать ещё 2 узла;
- r. Взять ножницы;
- s. Отрезать края нити;
- t. Убрать ножницы;
- u. Взять иглодержатель, иглу и установить её в иглодержатель;
- v. Наложить серозно-мышечный кисетный шов на стенку слепой кишки вокруг основания аппендикса;
- w. Шов не затягивать;
- x. Убрать инструменты;

8. Удаление аппендикса:

- a. Взять кровоостанавливающий зажим;
- b. Взять пинцет;
- c. Наложить кровоостанавливающий зажим чуть выше места перевязки;
- d. Захватить пинцетом место перевязки;
- e. Отпустить инструменты (остаются зафиксированными в воздухе);
- f. Взять скальпель;
- g. Между пинцетом и зажимом с помощью скальпеля отсекают аппендикс;
- h. Убрать все инструменты, кроме пинцета;
- i. Ведущей рукой взять корнцанги;
- j. Взять инструментом ватный тампон из ванночки с йодом;
- k. Обработать культю аппендикса ватным тампоном;
- l. Выбросить ватный тампон в урну;
- m. Убрать инструмент;
- n. Пинцетом вправить отросток внутрь слепой кишки;
- o. Затянуть шов и перевязать;

9. Зашивание органов:

- a. Взять ведущей рукой иглодержатель;
- b. Взять неведущей рукой иглу с нитью;
- c. Установить иглу в иглодержатель;
- d. Взять иглой нить;
- e. Иглой проткнуть верхний правый край кишки;
- f. Иглой проткнуть верхний левый край кишки;
- g. Отпустить иглодержатель;
- h. Перехватить иглодержателем иглу с другой стороны;
- i. Вынуть иглу из нити;
- j. Убрать инструменты;
- k. Перевязать нити руками;
- l. Сделать три узла;
- m. Взять ножницы;
- n. Отрезать один край нити;
- o. В другой край вставить иглу;
- p. Повторить пункты а-т;
- q. Убрать инструменты.

10. Вправление органов:

- a. Аккуратно вправить органы внутрь раны;
- b. Ведущей рукой взять корнцанги;
- c. Взять инструментом ватный тампон;
- d. Обмакнуть кровь внутри раны;
- e. Выбросить ватный тампон в урну;
- f. Убрать инструмент;

11. Зашивание мягких тканей:

- a. Взять ведущей рукой иглодержатель;

- b. Взять неведущей рукой иглу с нитью;
- c. Установить иглу в иглодержатель;
- d. Взять неведущей рукой пинцет;
- e. Пинцетом оттянуть верхний правый край брюшины;
- f. Иглой проткнуть верхний правый край брюшины;
- g. Пинцетом оттянуть верхний левый край брюшины;
- h. Иглой проткнуть верхний левый край брюшины;
- i. Отпустить пинцет;
- j. Пинцетом захватить иглу;
- k. Отпустить иглодержатель;
- l. Перехватить иглодержателем иглу с другой стороны;
- m. Вынуть иглу из нити;
- n. Убрать инструменты;
- o. Перевязать нити руками;
- p. Сделать три узла;
- q. Взять ножницы;
- r. Отрезать края нити;
- s. Повторить пункты а-г для апоневроза;
- t. Повторить пункты а-г для подкожной клетчатки;

12.Зашивание кожи:

- a. Взять ведущей рукой иглодержатель;
- b. Взять неведущей рукой иглу с нитью;
- c. Установить иглу в иглодержатель;
- d. Взять неведущей рукой пинцет;
- e. Проткнуть ткани через кожу в подкожный слой слева свреху раны;
- f. Придержать иглу пинцетом и перехватить иглодержателем;
- g. Пинцетом оттянуть верхний правый край кожи;

- h. Провести иглу через внутреннюю часть кожи и вывести наружу;
- i. Пинцетом оттянуть верхний левый край кожи;
- j. Провести иглу через внутреннюю часть кожи и вывести наружу;
- k. Повторить пункты g-j;
- l. Вывести иглу через кожу наружу снизу раны;
- m. Затянуть края раны.

Приложение F.4. Концепция VR-полигона осмотра места происшествия

Разработана на основе реальных протоколов с места происшествий (далее – протоколы №1, №2, №3).

Пользователь берет на себя роль Следователя. У него нет предыстории (бекграунд), которая накладывала бы свои отпечатки на его ведение дела. Пользователь идентифицирует действия, совершенные в VR, как свои собственные.

Действия происходят при ясной солнечной погоде, соответственно, при хорошем освещении.

Осмотр трупа, найденного рядом с могилой (на основе протокола №3).

Следователь находится на кладбище в ясный погожий день. В ходе изучения окрестностей он находит труп мужчины (далее Труп №1). Труп №1 расположен рядом с могилой, которая выглядит новой, но дата на надгробии гласит о другом.

Следователь осматривает Труп №1. В ходе осмотра он собирает следующие данные.

Одежда и обувь:

- Серые шерстяные брюки, подпоясанные коричневым кожаным ремнем с металлической пряжкой спереди.
- На ногах коричневые кожаные полуботинки с подошвами из микропористой резины и коричневые трикотажные носки.

Телосложение и внешность:

- Правильного телосложения, удовлетворительного питания.
- Голова покрыта черными, слегка вьющимися волосами.
- Шея короткая, грудная клетка правильной цилиндрической формы, симметричная.
- Живот на уровне грудной клетки.

- Наружные половые органы сформированы правильно.
- Задний проход сомкнут, в окружности каловые массы.
- Кости конечностей на ощупь целы.

Описание лица:

- Усы и борода гладко выбриты.
- Глаза закрыты, роговицы тусклые, слизистая век бледная, с мелкоточечными темно-красными кровоизлияниями.
- Кости носа на ощупь целы, носовые ходы свободны.
- Рот закрыт, видимые зубы целы, язык в полости рта, полость рта свободна от постороннего содержимого.

Температура тела:

- Труп на ощупь теплый, за исключением открытых участков лица и кистей рук.
- Температура трупа, измеренная электронным термометром в ткани печени, составила 32,623°C при температуре окружающей среды 18,372°C. Повторный замер температуры произведен через 15 минут. Температура в печени 32,428°C при температуре окружающей среды 18,383°C.

Следы крови:

- На левой половине передней поверхности брюк, ниже пояса – множественные пятна буро-красного цвета, похожие на кровь, в виде продольных потеков.
- Сзади несколько ниже пояса, брюки обильно пропитаны влажной кровью.
- На носках, полуботинках сверху – множественные бурые округлые пятна размерами до 2×2 см, похожие на кровь.
- Подошва левого полуботинка выпачканы кровью. в области грудной клетки, особенно на задней поверхности, выпачканы кровью.
- Волосы обильно выпачканы кровью.

Повреждения:

- Трупные пятна слабо выражены, бледно-фиолетовые, в виде отдельных участков, расположены на спине. При надавливании они исчезают и вновь появляются через 10 сек.
- На голове, в области теменного бугра округлая припухлость диаметром 5 см.
- На лбу слева от средней линии прямолинейная рана длиной 3 см, с неровными осадненными краями, округлыми углами. Рана направлена сверху вниз и слегка снаружи внутрь. В глубине раны между ее краями видны соединяющие их тканевые перемиčky белесоватого цвета. Нарушение целостности кости в области раны не отмечается.
- В окружности левого глаза кровоподтек 4×6 см сине-багрового цвета с отеком мягких тканей данной области.
- У правого угла рта множественные красные ссадины размерами от 0,5×0,5 см до 1×1,5 см овальной формы.
- На середине горизонтальной ветви нижней челюсти слева в поперечном направлении расположена полулунной формы рана длиной 3 см, с неровными, осадненными, слегка разошедшимися краями. В глубине раны виден косо идущий перелом челюсти.
- В областях вторых межфаланговых суставов на тыльной поверхности третьего и четвертого пальцев правой кисти неглубокие дугообразные и прямолинейные кожные раны длиной около 0,5 см каждая. Края ранок пропитаны кровью. Всего ранок две на третьем пальце, одна на четвертом.

Другие данные:

- Возраст на вид 30-40 лет.
- Кожные покровы бледные.
- Высыхание кожи и слизистых не заметно.

- У основания большого пальца на тыльной поверхности правой кисти - голубовато-синяя татуировка “Коля 1972”.
- На полу (на земле?) под спиной трупа обнаружены обрывки трикотажной коричневой шелковой рубашки с короткими рукавами с замком “молния” спереди на груди. Рубашка сплошь пропитана полусохшей кровью.
- На правом плече, снаружи, в средней трети и на передней поверхности его в верхней трети, а также на шее спереди, в области перехода в грудную клетку, кровяные отпечатки подошв резинового сапога такого же характера, как на полу (на земле?).
- Трупное окоченение хорошо выражено в мышцах лица, в мышцах кистей и стоп. В прочих мышцах отсутствует.

Далее Следователь совершает следующие действия:

- Проводит фотосъемку места происшествия, Трупа №1 и следов.
- Составляет план места происшествия.
- Производит фотосъемку общего вида местности, могилы, у которой обнаружен Труп №1 и его головы.
- Заполняет фототаблица.

Осмотр трупа, найденного под гробом (на основе протокола № 2).

После осмотра Трупа №1 вскрывается могила, рядом с которой он найден. Под могилой найден труп мужчины (далее Труп №2). В ходе осмотра Следователь собирает следующие данные:

Одежда и обувь:

- Футболка зеленого цвета.
- Джинсы синего цвета.
- На ногах кроссовки, сочетающие белый, синий, красный и серый цвета.
- Носки черного цвета.

Телосложение и внешность:

- Труп мужчины правильного телосложения, удовлетворительного питания.
- Описание внешности отсутствует

Описание лица: Описание лица отсутствует

Температура тела:

- Кожные покровы рук, лица, шеи, в районе подмышечных впадин, груди, спины и живота на ощупь холодные.

Температура тела в области прямой кишки 25°C (время измерения 10 минут).

Следы крови: Описание следов крови отсутствует

Повреждения:

- На видимой части одежды и тела, видимых повреждений не обнаружено.
- Трупные пятна сине-багрового цвета сплошные, располагаются на левой половине лица, слева на боковой поверхности шеи, передней области груди, живота, на передней поверхности обеих бедер и голени. При надавливании бледнеют.
- На майке, в передней верхней области груди имеется повреждение линейно-щелевидной формы, длиной 2,5 см, ниже которого имеется потек бурого цвета, направленный сверху вниз. Длина потека 3,5 см, ширина 8 мм.
- В передней верхней области груди имеется рана линейно-щелевидной формы, длиной 2,5 см. Края раны имеют вид острых углов, красные, ровные.

Другие данные:

- Труп был перевернут на спину.
- Возраст на вид 35 – 40 лет.
- Общий цвет кожных покровов бледно-серый.
- Трупное окоченение четко выражено в жевательных мышцах, мышцах верхних и нижних конечностей.

После осмотра Трупа №2 Следователь берет следующие образцы:

- С кистей рук трупа, на увлажненные поролоновые губки, были взяты образцы микрочастиц и отдельно упакованы в конверты № 1 и № 2.
- Вместе с частями ногтевых пластин были взяты образцы подногтевого содержимого правой и левой руки и так же отдельно упакованы в конверты № 3 и № 4.

Далее Следователь совершает следующие действия:

- С трупа были сняты одежда и обувь, которые сфотографированы, отдельно упакованы в картонные коробки. Коробки снабжены пояснительными бирками с подписями следователя и понятых.
- Производится фотосъемка общего вида местности, могилы, в которой обнаружен Труп №2 и его головы. Заполняется фототаблица.
- В ходе осмотра Трупа №2 Следователем изъята кепка коричневого цвета размером 15х30 см со следами бурого цвета, похожими на кровь.

Осмотр трупа, найденного в гробу (на основе протокола № 1).

В могиле найден труп мужчины (далее Труп №3). В ходе осмотра Следователь собирает следующие данные:

Одежда и обувь:

- Костюм черного цвета
- Рубашку белого цвета
- Плавки синего цвета
- Туфли черного цвета.
- Карманы отсутствуют.

Телосложение и внешность:

- Телосложение трупа среднее.
- Волосы на голове темно-русые средней длины.

Описание лица:

- Нос прямой.
- Губы толстые.
- Глаза карие.
- Брови густые, дугообразные.

Температура тела: Описание отсутствует за ненадобностью.

Следы крови: Описание отсутствует за ненадобностью.

Повреждения:

- В теменной части головы дыра неправильной формы размером 7х6 см.

Другие данные:

- Труп лежит на спине, руки вдоль туловища.
- На вид по лицу возраст трупа примерно 30 - 40 лет.
- Живот мягкий.
- Татуировки на теле отсутствуют.
- Длина туловища трупа 175 см.

Далее Следователь совершает следующие действия:

- Производится фотосъемка общего вида местности, могилы, в которой обнаружен Труп №2 и его головы. Заполняется фототаблица.
- В ходе осмотра Трупа №2 Следователем изъята кепка коричневого цвета размером 15х30 см со следами бурого цвета, похожими на кровь.

Действия, завершающие осмотр

Трупы направляются в БСМЭ по Тайской области.

Перед началом, в ходе либо по окончании осмотра трупа от участвующих лиц: понятых Смешковой Т.И. и Палахова И.М., судебно-медицинского эксперта БСМЭ по Тайской области Рухарева В.Я. заявления не поступают. Следователь заполняет протоколы, исходя из полученных данных.