

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)» (СПбГТИ(ТУ))»

На правах рукописи



АСЛАНОВ РОМАН ЭДВИНОВИЧ

**ВИРТУАЛЬНЫЕ ТРЕНАЖЕРЫ В ПОДСИСТЕМЕ АСУП ДЛЯ
ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

Специальность 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Большаков Александр Афанасьевич

Санкт-Петербург – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ В ПОДСИСТЕМАХ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ.....	12
1.1 Характеристика подсистемы подготовки персонала АСУП для операторов металлорежущих станков с применением виртуальных тренажеров	12
1.2 Описание структуры и видов симуляторов и тренажеров с технологией виртуальной реальности	19
1.3 Анализ и выбор программного и аппаратного обеспечения для разработки и реализации систем виртуальной реальности для использования в ППП АСУП	23
1.4 Постановка задачи	33
Заключение по первой главе.....	35
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПОСТРОЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ПОДСИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ.....	37
2.1 Построение онтологической модели в виде семантической сети подсистемы подготовки персонала автоматизированной системы управления производством	37
2.2 Разработка метода проектирования, построения, тестирования и реализации виртуальных тренажеров для ППП АСУП	43
2.3 Разработка структуры процесса создания программных и визуальных модулей виртуальных тренажеров для ППП АСУП.....	50
2.4 Разработка структуры процесса создания программных модулей для виртуальных тренажеров для ППП АСУП	53
2.5 Разработка структуры процесса создания базы данных для виртуальных тренажеров для ППП АСУП	57
2.6 Разработка структуры процесса создания 3D-моделей для виртуальных тренажеров для ППП АСУП	59
2.7 Разработка структуры процесса оптимизации программных компонент для виртуальных тренажеров для ППП АСУП	63
2.8 Описание метода Кондорсе для поиска лучшей альтернативы при оценке качества визуализации тренажера	66
Заключение по второй главе.....	74

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ПОДСИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ.....	77
3.1 Разработка функциональных требований к тренажеру виртуальной реальности по работе специалистов на токарных и фрезерных станках	77
3.2 Разработка архитектуры виртуального тренажера ППП АСУП.....	80
3.3 Разработка функционального обеспечения виртуального тренажера ППП АСУП	81
3.4 Построение диаграммы прецедентов.....	83
3.5 Построение контекстной диаграммы.....	84
3.6 Построение диаграммы деятельности	85
3.7 Разработка графического окружения.....	90
Заключение по третьей главе.....	91
ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ППП АСУП	93
4.1 Описание функциональных характеристик разработанного виртуального тренажера подготовки операторов токарных и фрезерных станков в ППП АСУП	93
4.2 Характеристика задания и его выполнения на токарном станке с использованием виртуального тренажера.....	100
4.3 Применение методики оценки эффективности визуализации разработанного виртуального тренажера подсистемы подготовки персонала АСУП методом Кондорсе	105
4.4 Оценка эффективности использования разработанного виртуального тренажера	108
Заключение по четвертой главе.....	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	113
ГЛОССАРИЙ	117
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	119
Приложение А. Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ	147
Приложение Б. Копии актов об использовании результатов диссертационного исследования	149
Приложение В. Проект на Смартке АСИ	155

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Автоматизированные системы управления производством (АСУП) представляют сложный комплекс, состоящий из множества взаимосвязанных подсистем для управления производственными процессами организации. Подсистема подготовки персонала (ППП) является одним из важнейших компонентов АСУП, которая предназначена для подготовки, мониторинга и управления кадровым составом производственного процесса. Важным аспектом производства с использованием металлорежущих станков являются обучающие системы, которые позволяют подготовить специалистов согласно требованиям предприятия. Для эффективной подготовки таких специалистов подсистема подготовки персонала должна обладать современными инструментами обучения.

В настоящее время современными инструментами обучения являются технологии виртуальной реальности, которые всё более широко применяются при подготовке и оценке квалификации персонала АСУП. Использование виртуальных тренажеров позволяет обеспечить обучение профессиональным навыкам сотрудников в условиях физической недоступности в учебном центре станков, машин и механизмов, необходимых для организации подобной оценки в реальных производственных условиях, а также в случаях, когда простой производственного оборудования повлечет большие издержки производства. При этом снижается потребность в дорогостоящем обучении на рабочем месте, сокращаются денежные затраты на расходные материалы, уменьшается количество обучающего персонала.

Таким образом, виртуальные тренажеры являются современным инструментом для повышения эффективности подготовки специалистов в ППП АСУП. Они позволяют обеспечить безопасную, гибкую и реалистичную среду для тестирования, обучения и оптимизации производственных процессов.

Степень проработанности темы. Построению и применению симуляторов виртуальной реальности и тренажерных комплексов посвящены работы следующих исследователей: Чистякова Т.Б., Мартинов Г.М., Матлин А.В., Петров Д.Н., Гиацинтов А.М., Ли В. Г., Халиуллин А.Р., Сметюх Н.П., Ишкильдин

Р.Р., Краснянский М.Д., Кравченко О.А., Костыгова Д.М., Пью С.Т., Коцюба И.Ю., Андросов А.Ю., Кугуракова В.В., Захаров А.Ю. Архипов А.Е., Глазырин А.Е., Обухов А.Д., Солодов С.В., Федорищев Л.А., Дудырев Ф.Ф., Lerner D., Sven M., Dawley L., Qingyang I, Qian L и др. Однако не разработаны модели и методы, регламент построения на их основе виртуальных тренажеров для использования в ППП АСУП с применением металлорежущих станков.

Поэтому важной народно-хозяйственной задачей является разработка моделей, методов и алгоритмов по проектированию, построению и реализации виртуальных тренажеров для подсистемы подготовки операторов для управления металлорежущими станками АСУП.

Цель диссертационной работы – повышение эффективности подсистемы подготовки операторов для управления металлорежущими станками АСУП на основе виртуальных тренажеров.

Эффективность связана с качеством процессов построения виртуальных тренажеров, а также организации профессиональной подготовки с их использованием в ППП АСУП, которое обеспечивает выполнение операторами обязанностей на профессиональном уровне при одновременном снижении количества различных нарушений, уменьшении временных и финансовых затрат. Количественные показатели для оценки эффективности: 1) сокращение времени разработки виртуальных тренажеров требуемой функциональности; 2) повышение качества подготовки специалиста (среднего балла) на основе увеличения часов практической подготовки, а также отработанных навыков; 3) сокращение денежных затрат на расходные материалы.

Объектом исследования являются виртуальные тренажеры в подсистемах подготовки операторов металлорежущих станков автоматизированных систем управления производствами.

Предметом исследования являются модели, методы и алгоритмы разработки виртуальных тренажеров и их применения в подсистеме подготовки персонала АСУ производствами для обучения работе на металлорежущих станках.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить ряд **задач**.

1. Проанализировать применение виртуальных тренажеров для подготовки специалистов промышленного сектора, методы проектирования и разработки программной и визуальной частей, выбора аппаратных устройств, сформулировать требования к разработке и реализации виртуальных тренажеров для подсистемы подготовки персонала АСУ производствами.

2. Разработать метод автоматизированного построения виртуальных тренажеров для подсистемы подготовки персонала АСУ производствами с применением функциональных видеороликов и формализованного процесса проектирования и разработки в виде структур процесса создания программных и визуальных модулей с учетом специфики разработки тренажеров под виртуальную реальность,

3. Разработать онтологическую модель в виде семантической сети для построения виртуальных тренажеров для подсистемы подготовки операторов АСУ производствами с использованием металлорежущих станков.

4. Разработать метод оценки качества визуализации разработанного виртуального тренажера для подготовки операторов металлорежущих станков с применением метода Кондорсе, для выбора лучшей альтернативы.

5. Провести апробацию виртуальных тренажеров для подсистемы АСУ производствами подготовки операторов металлорежущих станков для определения эффективности и качества профессионального обучения.

Методология и методы исследования. В диссертационной работе применялись методы объектно-ориентированного анализа и проектирования программных средств, системного анализа, принцип Кондорсе для выбора альтернативного решения.

Научная новизна.

1. Разработан метод автоматизированного построения виртуальных тренажеров для подсистемы подготовки персонала АСУ производствами, *отличающийся* работой с заказчиком на основе предоставления с производства функциональных видеороликов, а также формализацией процесса

проектирования и разработки в виде структур процесса создания программных и визуальных модулей с учетом специфики разработки тренажеров виртуальной реальности, *что позволило* оперативно осуществлять мониторинг правильности выполнения операций, уменьшить ошибки разработчика, а также сократить время разработки технического описания, таким образом, повысить результативность процесса проектирования и разработки виртуальных тренажеров для обучения операторов металлорежущих станков (п. 7).

2. Разработана онтологическая модель для построения виртуальных тренажеров для подготовки операторов металлорежущих станков в ППП АСУ производствами, *отличающаяся* использованием выявленных основных понятий и отношений между ними в предметной области работы операторов металлорежущих станков и реализацией с использованием инструментальной программной среды Protege, *что позволило* повысить эффективность планирования и стандартизации для подготовки операторов металлорежущих станков в ППП АСУ производствами (п. 8).

3. Предложен метод оценки эффективности визуализации разработанного виртуального тренажера подготовки операторов токарной и фрезерной обработок ППП АСУ производствами, *отличающийся* применением метода поиска лучшей альтернативы, который основывается на принципе Кондорсе, *что позволило* определить лучшую альтернативу на основе ранжирования экспертных оценок при выборе визуализации тренажера виртуальной реальности для ППП АСУ производствами (п. 13).

Работа соответствует научной специальности: 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»: пункт 7 «Теоретические основы и методы моделирования и управления организационно-технологическими системами и киберфизическими производственными комплексами»; пункт 8 «Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления и их цифровых двойников»; пункт 13 «Методы планирования, оптимизации, отладки, сопровождения,

модификации и эксплуатации функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включающие задачи управления качеством, финансами и персоналом».

Теоретическую и методологическую основу исследования составляют труды отечественных: Чистякова Т.Б., Матлин А.В., Петров Д.Н., Гиацингов А.М., Ли В. Г., Халиуллин А.Р., Сметюх Н.П., Ишкильдин Р.Р., Кравченко О.А., Костыгова Д.М., Пьо С.Т., Коцюба И.Ю., Андросов А.Ю., Кугуракова В.В., Захаров А.Ю. Архипов А.Е., Глазырин А.Е., Солодов С.В., Федорищев Л.А., Дудырев Ф.Ф. и др. и зарубежных: Lerner D., Sven M., Dawley L., Qingyang I, Qian L. и др. исследователей по теоретическим и практическим аспектам разработки, исследования и применения симуляторов виртуальной реальности и тренажерных комплексов для подготовки специалистов различных предметных областей.

Теоретическая значимость результатов диссертации заключается в обосновании использования предложенных методов и онтологической модели для проектирования и построения виртуальных тренажеров подсистемы подготовки персонала АСУП в различных сферах промышленного производства. Для проектирования компонентов виртуальных тренажеров для АСУП установлена применимость диаграмм нотаций IDEF0, деятельности и прецедентов UML, а также принципа Кондорсе для выбора альтернативного решения в задаче оценки визуальной составляющей.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в сокращении временных и финансовых затрат на выполнение проектных работ с применением предложенных методов разработки технического задания с использованием видеоконтента, онтологической модели и структуры процесса создания программных и визуальных модулей виртуальных тренажеров, а также методов разработки архитектуры приложения исполняющих алгоритмов и визуальных компонентов тренажера виртуальной реальности для подсистемы подготовки персонала АСУП.

Реализация и внедрение. Использование метода проектирования виртуальных тренажеров для ППП АСУП, онтологической модели в виде семантической сети и способа разработки симуляторов виртуальной реальности, метода разработки архитектуры приложения, исполняющих алгоритмов и визуальных компонентов виртуальных тренажеров с использованием диаграмм нотаций IDEF0, диаграмм деятельности и прецедентов UML и принципа Кондорсе для поиска лучшей альтернативы при принятии решений выбора лучшей визуализации в ООО «АЙТИПРО» позволили повысить эффективность разработки виртуальных тренажеров на 32%.

Разработанный виртуальный тренажер подсистемы подготовки операторов токарной и фрезерной обработок автоматизированной системы управления производством используется в ГБПОУ МГОК. Приложение показало эффективность при подготовке операторов металлорежущих станков АСУП. Внедрение результатов исследования повысило качество подготовки операторов металлорежущих станков АСУП на 9,64%.

Результаты диссертационной работы использованы при разработке нового федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 09.02.10 Разработка компьютерных игр, дополненной и виртуальной реальности приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 25.06.2024 № 441 "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта (Зарегистрирован 25.07.2024 № 78924).

Разработанный программный комплекс «Лаборатория универсальной токарной и фрезерной обработки в среде виртуальной реальности (VR)» используется для подготовки обучающихся по направлению машиностроения в области токарной и фрезерной обработок ГАУ СО «Агентство по развитию человеческого капитала».

В Центре опережающей профессиональной подготовки Ростовской области структурного подразделения государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения Ростовской области

«Ростовский-на-Дону колледж связи и информатики» предложенные программно-инструментальные средства применяются в профессиональной ориентации школьников.

Результаты исследования используются в образовательном процессе ГБПОУ Колледж «Царицыно» при обучении студентов по специальности 09.02.07 Информационные системы и программирование в рамках профессиональной дисциплины «Разработка виртуальной и дополненной реальности», при проведении конкурсов профессионального мастерства по компетенции «Разработка виртуальной и дополненной реальности» и компетенции «Разработка виртуальных миров» Всероссийского чемпионатного движения по профессиональному мастерству "Профессионалы", а также при проведении демонстрационного экзамена по компетенции «Разработка виртуальной и дополненной реальности» для студентов учреждений среднего профессионального образования РФ.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Метод автоматизированного проектирования виртуальных тренажеров для обучения операторов металлорежущих станков в ППП АСУ производствами.

2. Онтологическая модель для построения виртуальных тренажеров для обучения операторов металлорежущих станков в ППП АСУ производствами.

3. Метод оценки эффективности визуализации разработанного виртуального тренажера подготовки операторов токарной и фрезерной обработок ППП АСУ производствами с использованием принципа Кондорсе для выбора альтернативного решения.

4. Программное обеспечение – виртуальный тренажер для подсистемы подготовки операторов металлорежущих станков АСУ производствами.

Апробация работы. Результаты диссертационного исследования обсуждались на VI Всероссийском Форуме федеральных учебно-методических объединений в системе СПО (Москва, 2021); Международном форуме Kazan Digital Week (Казань, 2021); VIII ежегодной всероссийской научно-практической

конференции «Цифровизация общества: состояние, проблемы, перспективы» (Москва, 2021); Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции «Актуальные проблемы теории и практики обучения физико-математическим и техническим дисциплинам в современном образовательном пространстве» (Курск, 2022); XV Международной научно-практической конференции «Шамовские чтения» (Москва, 2023); международных конференциях: «Математические методы в технике и технологиях» (Ярославль, 2022; Н. Новгород, 2023; Казань, 2024); «Кибер-физические системы: проектирование и моделирование» CYBERPHYS:2022 – «Cyber-Physical Systems Design And Modelling» (Ярославль, 2022).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 20 печатных работ, среди которых 6 – в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 – индексируемых в БД Scopus, 1 монография, получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ в Роспатенте РФ.

Личный вклад автора. Разработаны метод проектирования виртуальных тренажеров для АСУП [5], метод построения архитектуры приложения, алгоритмов и визуальных компонентов с использованием диаграмм нотаций IDEF0, диаграмм деятельности и прецедентов UML, структуры базы данных, а также принципа Кондорсе для выбора альтернативного решения [1, 2, 3, 7]. Разработано и апробировано программное обеспечение тренажера виртуальной реальности подсистемы подготовки операторов металлорежущих станков АСУП [6, 72, 143]. Разработаны виртуальные тренажеры для обучения, оценки компетенций специалистов и студентов, а также для профессиональной ориентации школьников [8, 9].

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и 3 приложений. Диссертационная работа изложена на 155 печатных страницах машинописного текста, в т.ч. содержит рисунков – 37, таблиц – 17. Список литературы включает 176 наименований.

ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ В ПОДСИСТЕМАХ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

В настоящей главе рассматриваются основные понятия, проводится исследование подсистемы подготовки персонала АСУП, а именно операторов металлорежущих станков с применением виртуальных тренажеров.

Анализируются навыки и умения специалистов, а также возможные нештатные ситуации. Рассматриваются структура и виды симуляторов и виртуальных тренажеров, а также выполнен анализ и выбор программного и аппаратного обеспечения для разработки и реализации систем виртуальной реальности применимых для ППП АСУП. Сформулирована задача разработки и реализации виртуальных тренажеров для ППП АСУП.

1.1 Характеристика подсистемы подготовки персонала АСУП для операторов металлорежущих станков с применением виртуальных тренажеров

Автоматизированные системы управления производством (АСУП) представляют сложный комплекс, состоящий из множества взаимосвязанных подсистем для управления производственными процессами организации [106]. Подсистема подготовки персонала (ППП) является одним из важнейших компонентов АСУП, которая предназначена для подготовки, мониторинга и управления кадровым составом производственного процесса.

Типовая структура предприятия представлена на рис. 1.1 [32], в которой выделена исследуемая в настоящей работе подсистема подготовки персонала, которая относится к блоку работы с кадрами – отдел кадров. В нашем случае – это подсистема подготовки персонала, которая организует подготовку операторов металлорежущих станков на производстве.

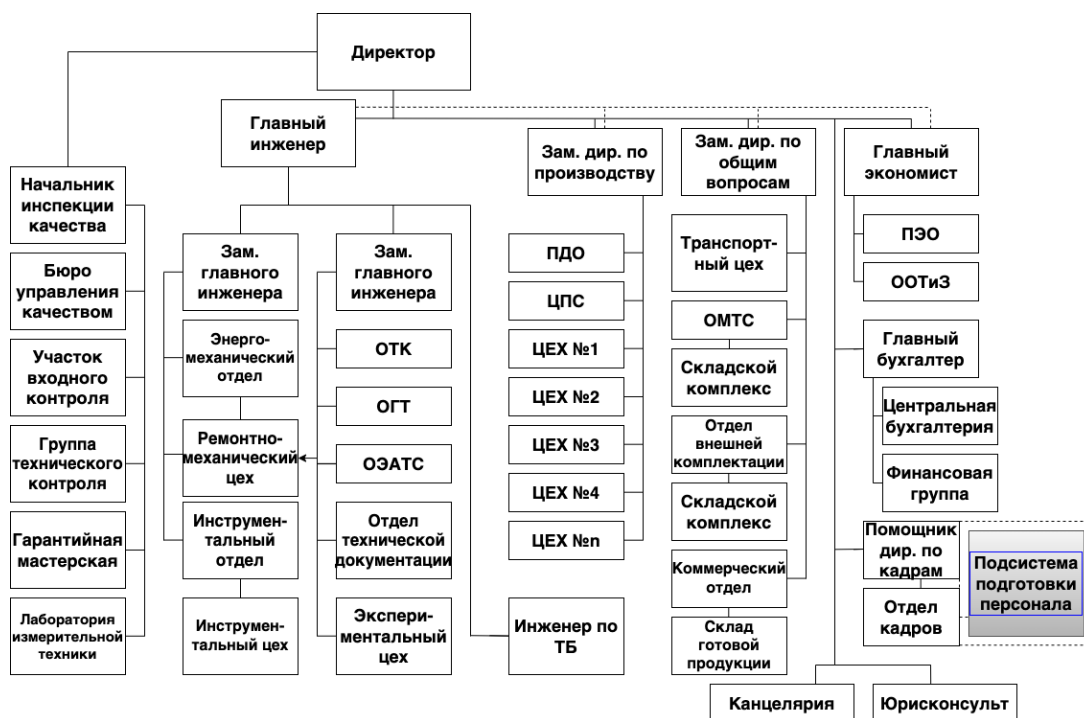


Рисунок 1.1 – Общая структура предприятия

Подготовка персонала АСУП является сложным и дорогостоящим процессом. Это связано с тем, что работа специалистов требует точности, мастерства и навыков в управлении этим сложным оборудованием. Это включает умение обрабатывать различные материалы, правильно установить инструменты и контролировать процесс обработки. В работе специалистов существуют определенные опасности, связанные с работой на металлорежущих станках, которые могут привести к травмам и несчастным случаям. Это требует особой осторожности, знания правил безопасности и опыта работы с этим оборудованием. Специалисты работают на дорогостоящем оборудовании, которое требует тщательного обращения. Ошибки могут привести к повреждению этого оборудования, что может иметь финансовые последствия.

Процесс работы специалиста на станках требует определенных знаний и навыков, в т.ч. в техники безопасности [19]. Точность, внимательность и умение принимать решения [134] являются важными качествами для успешной работы в этой области. Получение навыков работы специалиста станках включает ряд определенных этапов.

Организационная структура и порядок работы персонала отдела подсистемы подготовки персонала автоматизированной системы управления производством для обучения специалистов с использованием виртуальных тренажеров представлен на рисунке 1.2.

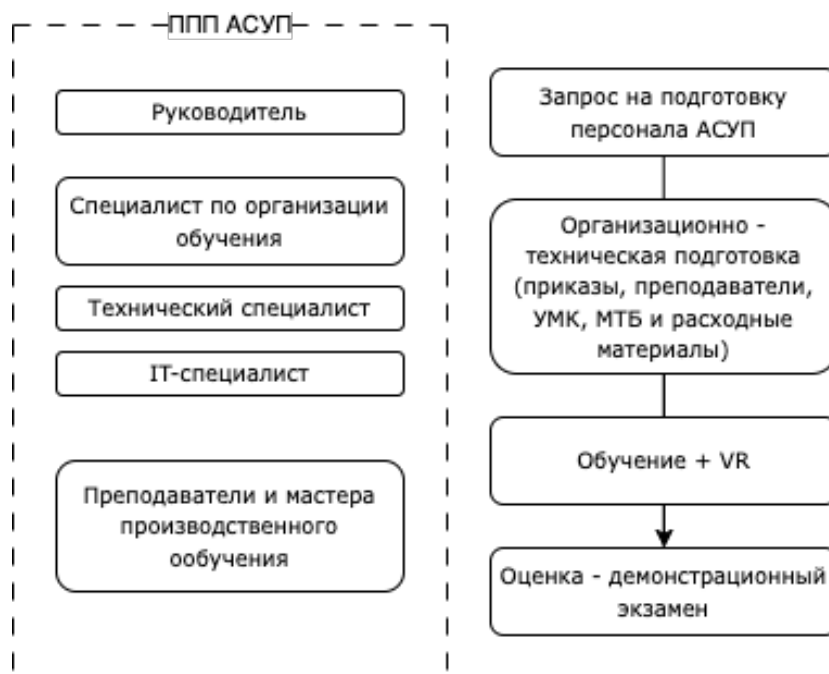


Рисунок 1.2 – Организационная структура отдела ППП АСУП для обучения специалистов с использованием виртуальных тренажеров

Следует отметить, что при работе на станках могут возникать различные нештатные ситуации [166], которые могут привести к серьезным последствиям.

Для предотвращения нештатных ситуаций и обеспечения безопасности при работе на оборудовании необходимо строго соблюдать правила безопасности, регулярно обслуживать и проверять оборудование, а также обеспечивать должное обучение и навыки операторов. Моделирование нештатных ситуаций практически невозможно без специализированных тренинговых систем, компьютерных тренажеров и симуляторов [44, 106].

Исходя из вышеизложенного, применение обучающих систем [20] для подготовки специалистов, согласно требованиям предприятия, является важнейшим инструментом ППП АСУП. Для эффективной подготовки таких специалистов подсистема подготовки персонала должна обладать современными

инструментами обучения. Инструменты в виде обучающих систем ППП направлены на достижение требуемого результата для повышения эффективности АСУП. В настоящее время современными инструментами обучения являются технологии виртуальной реальности [161, 170], которые всё более широко применяются в подготовке и оценке квалификации персонала АСУП.

Использование виртуальных тренажеров [26, 150, 158, 159] позволяет обеспечить обучение и оценку профессиональных навыков сотрудников в условиях физической недоступности в учебном центре оборудования, необходимого для организации подобной оценки в реальных производственных условиях, а также в случаях, когда его простой повлечет большие издержки производства [59]. При этом снижается потребность в дорогостоящем обучении на рабочем месте, сокращаются денежные затраты на расходные материалы, уменьшается количество обучающего персонала [39].

Виртуальные тренажеры позволяют обучаться в виртуальной среде, где риски травм и повреждений сведены к минимуму. Они могут получать навыки и экспериментировать без реальных последствий [28, 29]. Виртуальные тренажеры предлагают высокую степень реализма, что позволяет обучающимся погрузиться в виртуальную рабочую среду, имитирующую реальное оборудование и процессы работы. Это помогает им овладеть навыками и привыкнуть к условиям работы на производстве [165]. Виртуальные тренажеры предлагают интерактивные сценарии и обратную связь, что позволяет обучающимся получать непосредственную информацию о собственных действиях и улучшать навыки в режиме реального времени [172]. Использование виртуальных тренажеров может быть экономически более выгодным [138, 121], чем обучение на реальном оборудовании. Они могут снизить затраты на материалы и оборудование, а также уменьшить риск повреждения оборудования во время обучения. Эти преимущества делают тренажеры виртуальной реальности эффективным инструментом для обучения специалистов по работе на оборудовании, позволяя им приобретать навыки и опыт, необходимые для успешной работы на производстве.

Важным аспектом является применение обучающих систем, которые позволяют подготовить специалистов согласно требованиям предприятия. Для эффективной подготовки таких специалистов подсистема подготовки персонала должна обладать современными инструментами обучения. Инструменты в виде обучающих систем ППП направлены на достижение результата для повышения эффективности АСУП. Обычно подсистема подготовки персонала АСУП работает с использованием традиционных методов обучения. Для повышения эффективности ППП АСУП с применением виртуальных тренажеров необходимо рассмотреть два варианта: 1) работающую систему необходимо дополнить новым функционалом, людьми и разработать план мероприятий, 2) полностью создавать новую систему на основе тренажера виртуальной реальности. Под эффективностью далее понимается качество организации процесса профессиональной подготовки, которое обеспечивает выполнение операторами обязанностей на профессиональном уровне при одновременном снижении количества различных нарушений, уменьшении временных и экономических затрат. Количественные показатели для оценки эффективности: 1) повышение значения количественных показателей характеристики специалиста (среднего балла) на основе увеличения часов практической подготовки, а также отработанных навыков, которые невозможно получить на реальном оборудовании; 2) сокращение денежных затрат на расходные материалы.

Таким образом, создается проект, в основе которого осуществляется проектирование, разработка и реализация виртуальных тренажеров [154] для подготовки операторов промышленного оборудования. Для эффективного решения этой задачи необходимо определить предметную область, специфику работы, разработать техническое задание, этапы разработки и т.д. Разработка виртуальных тренажеров – это сложный [43, 76], дорогостоящий и длительный процесс, поэтому актуальна разработка методов и моделей, которые позволят разрабатывать виртуальные тренажеры быстрее, качественнее и дешевле. Методы и модели разработки компьютерных обучающих систем требуют

тщательной проработки алгоритмов и методов системного и математического анализа. Так в работах [21, 22, 38, 40, 52, 75, 84, 105, 108, 127, 147] рассматриваются различные подходы разработки как, собственно, приложений, так и отдельных компонентов для виртуальных тренажеров.

Таким образом, можно сформулировать достоинства использования виртуальных тренажеров при обучении, которые представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристика различных вариантов обучения

№	Ограничения при обучении на реальных производственных станках	Преимущества использования как дополнение к реальному обучению виртуальных тренажеров
1.	Использование реального оборудования в обучении снижает производственные мощности.	Виртуальный тренажер позволяет уменьшить время работы оборудования, которое используется в производстве. Уменьшает износ комплектующих и риск поломки.
2.	Значительное использование расходных материалов при обучении.	Виртуальный тренажер позволяет экономить расходные материалы.
3.	Только теоретическая отработка навыков в случаях возникновения нештатных ситуаций.	Виртуальный тренажер обеспечивает возможность отрабатывать нештатные ситуации.
4.	Риски получения травм для новичков.	Виртуальный тренажер позволяет обучающимся практиковаться без риска получения травм и повреждения оборудования.
5.	Ограничения по работе на реальном оборудовании.	Виртуальный тренажер позволяет многократно повторять одни и те же операции, что может значительно повысить уровень мастерства.

Системный анализ позволяет выявить входные и выходные характеристики ППП АСУП, на основе которых создается модель, отражающая взаимодействие системы с пользователями и внешними источниками данных (см. рис. 1.3).

Системный анализ позволяет определить входные и выходные воздействия ППП АСУП, результатом которого является модель,

описывающая взаимодействие системы с другими системами, пользователями и внешними источниками данных (см. рис. 1.3).

К входным данным относится информация о создаваемой продукции и действиях, которые должны выполнить обучающиеся по работе на оборудовании и т.п.

К выходным относится информация о продукции и оценке навыков работы на оборудовании с критериями виртуальной среды.

Пользователями являются преподаватели специальных дисциплин, обучающие и специалисты производства, работающие на сложном оборудовании.



Рисунок 1.3 – Контекстная диаграмма IDEF0 в общем виде

Мониторинг и управление работой на оборудовании осуществляется специальной системой, контролирующей процесс работы на этом оборудовании по специальным критериям, основываясь на инструкции по правилам работы. Эти действия обеспечивают функционирование оборудования с оценками качества процесса по заданным критериям.

При построении модели примем основные допущения.

1. Критерии оценки выполнения работы на оборудовании учитывают специфику производства и базируются на задании специалиста.
2. Инструкции по правилам работы на оборудовании и при случаях нештатных ситуаций должны учитывать специфику производства.

3. Процесс функционирования оборудования должен быть реализован по принципу традиционного обучения, при этом необходимо учитывать специфику виртуальной среды.

1.2 Описание структуры и видов симуляторов и тренажеров с технологией виртуальной реальности

Симулятор или тренажер виртуальной реальности – это компьютерная программа, которая позволяет создать виртуальную среду и симулировать в ней определенные ситуации или действия, которые могут быть использованы для обучения, тренировки, развлечения или исследования [33, 124, 125].

Структура симуляторов и тренажеров с использованием технологии виртуальной реальности может варьироваться в зависимости от конкретного приложения и целей использования. В общем случае такие системы обычно включают следующие компоненты.

Гарнитура виртуальной реальности (VR Headset): основное устройство, которое надевается на голову пользователя и позволяет ему погрузиться в виртуальное окружение. Гарнитура обычно включает дисплеи для каждого глаза, а также датчики отслеживания движения, такие как акселерометр, гироскоп и датчики отслеживания положения.

Операционное программное обеспечение (VR Software): симуляторы и тренажеры виртуальной реальности работают на специальном программном обеспечении, которое управляет виртуальным окружением, включая отображение графики, взаимодействие с пользователем и обработку ввода. Это программное обеспечение может быть разработано внутри компании или использовать сторонние платформы для разработки VR-приложений.

Устройства отслеживания движения (Motion Tracking Devices): для обеспечения взаимодействия пользователя с виртуальным окружением, симуляторы и тренажеры VR могут использовать различные устройства отслеживания движения. Это могут быть контроллеры или датчики, которые

позволяют пользователю манипулировать объектами в виртуальном пространстве, а также отслеживать и реагировать на движения и жесты.

Виртуальные модели и сценарии: симуляторы и тренажеры VR создают виртуальные модели и сценарии, которые имитируют реальные условия и задачи. Это могут быть модели оборудования, рабочих процессов, оборудования, производственных линий, медицинских процедур и других элементов, которые требуют тренировки или изучения. Виртуальные модели и сценарии разрабатываются с учетом специфических требований каждого приложения [53, 57].

Обратная связь и аналитика: симуляторы и тренажеры VR могут предоставлять обратную связь пользователю о его действиях и результате. Это может быть реализовано в виде звуковых эффектов [153], вибрации контроллеров, текстовой информации или визуальных индикаторов. Кроме этого, системы VR могут записывать данные о действиях пользователя и предоставлять аналитическую информацию для оценки производительности и прогресса.

Структура симуляторов и тренажеров VR включает аппаратные и программные компоненты, которые работают совместно, чтобы создать реалистичную и интерактивную виртуальную среду для обучения, тренировки или других задач, связанных с конкретной областью применения [107].

Согласно различным исследованиям, осмысленное применение тренажеров виртуальной реальности в обучении и оценки профессиональных компетенций профильных специалистов положительно влияет на результаты обучения. Так, например, в статье [175] описана проблема безопасности в строительной отрасли, гибель людей на стройках, несчастные случаи и травмы. Показано, как дополнительное средство обучения технологии виртуальной реальности облегчило непрерывное обучение новым сотрудникам и «освежили» знания действующих сотрудников.

В статье [81] рассматривается применение тренажера виртуальной реальности для обучения водителей специальной транспортной техники. В статье [51] рассматривается использование тренажеров виртуальной

реальности при обучении вождению автомобиля. Проводится сравнительный анализ аппаратного оборудования виртуальной реальности для использования при обучении вождению. Показано, что для снижения аварийности требуется повышение качества вождения пользователей. В статье [145] рассматривается разработка и реализация VR тренажера для автомобильного предприятия.

В статье [95] проведено исследование пригодности применения сварочного тренажера виртуальной реальности для обучения навыкам и технологии сварки у обучаемых. Показано, что тренажер подходит для ознакомления с базовыми операциями сварки, а также повышает мотивацию новых стажеров к большему изучению.

В работах [29, 100, 130] представлен опыт разработки и реализации тренажера виртуальной реальности в нефтегазодобывающей отрасли. В статье [123] рассматриваются тренажеры для подготовки кадров для горных работ.

В статье [101] описан опыт использования тренажеров виртуальной реальности при обучении пользователей технике безопасности.

В статье [88] рассматривается использование авиасимуляторов в образовательном процессе высшей школы. Обучение работы с системами беспилотных летательных аппаратов рассматривается в работе [41]. Повышение интереса к профессии и уровня сформированности компетенций у будущих летчиков рассматривается в работе [47]. Здесь VR симуляторы обучения летчиков – безопасный, эффективный и повторяемый метод тренировки. Это позволяет тренировать в разных сценариях, повышая навыки летчиков. Симуляторы удобны и доступны в любое время и месте, поэтому всё более популярны в авиации.

В статье [2] рассматривается применение VR/AR в здравоохранении. Применение виртуальной реальности (VR) в здравоохранении предоставляет многочисленные преимущества [164]. Здесь VR используется для обучения и тренировок медицинского персонала в реалистичных и безопасных симуляциях [94, 103, 173]. Хирурги могут планировать сложные операции и проводить точные процедуры с использованием VR [160]. Также VR

применяется для реабилитации пациентов после травм [148, 157] и инсультов, для улучшения диагностики и визуализации медицинских данных [48]. Это помогает уменьшить боли и стресс у пациентов, а также позволяет использовать в психотерапии и образовании о здоровье и болезнях. Применение VR в здравоохранении способствует оптимизации медицинских процессов и повышению качества медицинской помощи [149].

Преимущества использования иммерсивных технологий и, в частности, технологии виртуальной реальности в различных профессиональных сферах отмечаются многими исследователями в работах [1, 49, 54, 59, 102, 128].

Информатизация как базис трансформации образовательного процесса имеет ключевую роль в подготовке специалистов высокого уровня [61, 63, 65, 133]. Использование иммерсивных симуляторов и тренажеров в образовательном процессе технических вузов, колледжей при подготовке специалистов транспорта, авиации и других областей рассматривались в работах [23, 56, 60, 80, 87, 88, 119]. При обучении различных школьных дисциплин – в работе [10]. В работах [71, 93] рассматривается отношение студентов профессиональных образовательных организаций к обучению с использованием технологии виртуальной реальности.

Существуют различные технологии и методологии разработки приложений виртуальной реальности [130, 142]. Они отличаются подходами к разработке: видами использованного инструментального программного обеспечения, аппаратных устройств, применяемых языков программирования, методов моделирования и т.д. [3, 30, 31, 43, 46, 64, 78, 81, 98, 99, 100, 175]. При этом определяется экономическая эффективность разработки и показатели целесообразности [58, 111].

1.3 Анализ и выбор программного и аппаратного обеспечения для разработки и реализации систем виртуальной реальности для использования в ППП АСУП

В настоящее время существуют множество различных устройств виртуальной реальности, применимых для ППП АСУП. В табл. 1.2. проведен сравнительный анализ современных систем виртуальной реальности. Выполнен анализ доступности, возможности портативного использования, оценка автором устройств, применимых для разработки тренажеров для ППП АСУП. Анализ и выбор аппаратного обеспечения VR для подготовки кадров должны основываться на конкретных требованиях организации, бюджете и ожиданиях от тренировочных программ. Рекомендуется провести тщательное исследование, ознакомиться с обзорами и получить консультацию у специалистов в этой области, чтобы принять обоснованное решение [51].

При сложном комплексном анализе в VR-шлемах следует также рассматривать разрешение и качество дисплея, возможности отслеживания движения, комфорт и эргономику. В устройствах отслеживания обратить внимание на контроллеры. Выбор контроллеров желателен с высокой точностью и реактивностью, чтобы пользователь мог манипулировать объектами в виртуальном пространстве с высокой степенью реалистичности. Системы базовых станций при наличии должны обеспечивать точное отслеживание положения и ориентации пользователя в пространстве. Это повысит реалистичность и точность тренировочного опыта [90].

Производительность компьютерной системы должна отвечать требованиям к графической мощности. Для запуска высококачественных визуальных симуляций виртуальной реальности потребуется мощная графическая карта (GPU) с поддержкой VR и достаточным объемом видеопамати (VRAM). Также необходим центральный процессор (CPU) с высокой производительностью, чтобы обеспечить плавное функционирование VR-приложений и обработку данных в реальном времени. Оперативная

память (RAM) требуется с достаточным объемом оперативной памяти для обеспечения плавного выполнения VR-приложений без задержек и снижения производительности.

Важно также убедиться, что выбранное аппаратное обеспечение совместимо с платформами и программным обеспечением, которые используются для разработки и запуска VR-симуляций. Необходимо также учитывать бюджетные ограничения и доступность аппаратных решений на рынке, чтобы выбрать наиболее подходящие варианты.

Для разработки и реализации тренажеров виртуальной реальности, применимых для ППП АСУП, автором предлагаются следующие устройства: Oculus Quest 2. Основные возможности. Здесь Oculus Quest 2 – это автономная виртуальная реальность (VR), т.е. система, разработанная компанией Oculus, дочерней компанией Facebook. Это устройство позволяет пользователям наслаждаться полноценным виртуальным миром без необходимости подключения к компьютеру или игровой консоли. Причем, Oculus Quest 2 оснащен встроенными датчиками отслеживания движения и контроллерами, позволяющими пользователю взаимодействовать с виртуальной средой. Также поддерживает режим привязки к ПК, который позволяет использовать его совместно с компьютерной игровой библиотекой. *Уровень сложности освоения.* При этом Oculus Quest 2 отличается относительно низким уровнем сложности освоения. Он разработан с учетом удобства использования и имеет простой интерфейс пользователя, что делает его доступным для широкой аудитории. Основные функции и контроллеры легко усваиваются даже новичками в области виртуальной реальности. *Отрасли применения.* Система Oculus Quest 2 имеет широкий спектр отраслей применения. В игровой индустрии предлагает уникальный игровой опыт, позволяющий игрокам погрузиться в виртуальные миры и взаимодействовать с ними. Также находит применение в области образования, где может быть использован для создания иммерсивных образовательных симуляций и виртуальных экскурсий.

Таблица 1.2 – Современные системы виртуальной реальности

№	Наименование	Доступность и ценовой сегмент	Портативность устройства	Используется для VR тренажеров АСУП	Оценка автора
1	Oculus Quest 2	Oculus Quest 2 предлагается по цене, начиная от 299 долларов США за модель с 64 ГБ памяти и 399 долларов США за модель с 256 ГБ памяти.	Да	Да	5
2	HTC Vive Cosmos	HTC Vive Cosmos доступен по цене 699 долларов США.	Нет	Да	4
3	PlayStation VR	PlayStation VR доступен по цене около 299 долларов США.	Нет	Да	4
4	Valve Index	Valve Index доступен по цене 999 долларов США (комплект базовой модели).	Нет	Да	5
5	Oculus Rift S	Oculus Rift S доступен по цене 399 долларов США.	Нет	Да	4
6	Oculus Go	Oculus Go доступен по цене, начиная от 199 долларов США за модель с 32 ГБ памяти и 249 долларов США за модель с 64 ГБ памяти.	Да	Да	3
7	Samsung Gear VR	Samsung Gear VR доступен по цене около 129 долларов США.	Да	Да	3
8	Lenovo Mirage Solo	Lenovo Mirage Solo доступен по цене около 399 долларов США.	Да	Да	3
9	Windows Mixed Reality Headsets	Цены начинаются от примерно 300 долларов США и могут достигать 500 долларов США и выше.	Нет	Да	4
10	Pimax VR Headsets	Цены на Pimax VR Headsets зависят от модели и конфигурации. Pimax 8K и Pimax 5K+ доступны примерно по цене от 700 до 1 000 долларов США.	Нет	Да	4
11	Oculus Rift	Oculus Rift доступен по цене около 399 долларов США.	Нет	Да	4
12	HTC Vive Pro	HTC Vive Pro доступен по цене около 799 долларов США.	Нет	Да	5
13	HTC Vive Focus	HTC Vive Focus доступен по цене около 599 долларов США.	Да	Да	4
14	Sony PlayStation VR 2 (PSVR2)	Sony PlayStation VR 2 пока не объявлена, так как она еще не вышла на рынок.	Нет	Да	5
15	Varjo VR-2 Pro	Varjo VR-2 Pro доступен по цене около 5 995 долларов США.	Нет	Да	5
16	HP Reverb G2	HP Reverb G2 доступен по цене около 599 долларов США.	Нет	Да	4
17	Google Daydream View	Google Daydream View доступен по цене около 99 долларов США.	Да	Да	2
18	Razer OSVR	Razer OSVR доступен по цене около 399 долларов США.	Нет	Да	1
19	StarVR One	Цена StarVR One пока не объявлена, так как она еще не вышла на рынок.	Нет	Да	5
20	Xtal VR Headset	Цена Xtal VR Headset пока не объявлена.	Нет	Да	5
21	Pico 4	Цена около 500 долларов США за комплект	Да	Да	5

При этом Oculus Quest 2 также может использоваться в медицинской области, например, для психотерапии или облегчения боли. Кроме этого, она имеет потенциал в области тренировок и фитнеса, предлагая интерактивные тренировки и виртуальные соревнования.

HTC Vive Pro. Основные возможности. Здесь HTC Vive Pro – это высококачественная система виртуальной реальности, разработанная компанией HTC. Она обладает высоким разрешением и широким углом обзора, что обеспечивает более реалистичный и детализированный виртуальный опыт. При этом HTC Vive Pro включает шлем с интегрированными наушниками и датчиками отслеживания, а также контроллеры для взаимодействия с виртуальными объектами. *Уровень сложности освоения.* Система HTC Vive Pro имеет средний уровень сложности освоения. Ее установка и настройка требуют некоторых технических навыков. Однако, после начальной настройки, использование HTC Vive Pro становится более интуитивным, пользователь довольно быстро привыкает к контроллерам и функциям системы. *Отрасли применения.* Система HTC Vive Pro применяется в различных отраслях. В игровой индустрии она предоставляет высококачественный виртуальный игровой опыт, позволяющий пользователям погрузиться в увлекательные виртуальные миры. При этом HTC Vive Pro также находит применение в области архитектуры и дизайна, где может быть использована для визуализации и моделирования проектов. Может быть применена в образовательных целях для создания интерактивных обучающих программ и симуляций. Кроме этого, HTC Vive Pro также может быть использована в медицине для тренировок, реабилитации и психотерапии.

Сравнительный анализ программного обеспечения для разработки приложений виртуальной реальности представлен в табл. 1.3. В настоящее время Unity и Unreal Engine4 являются явными лидерами [27, 104, 118, 132].

Unity – это популярное программное обеспечение для разработки игр и интерактивных приложений, включая тренажеры виртуальной реальности (VR).

Предоставляет разработчикам мощные инструменты и функциональность, специально адаптированные для создания VR-

приложений. При этом Unity обладает встроенной поддержкой для основных VR-платформ, таких как Oculus Quest 2, Oculus Quest 3, HTC Vive, Windows Mixed Reality и других. Это позволяет разработчикам легко создавать VR-тренажеры, совместимые с различными устройствами. Причем, Unity предлагает интуитивно понятный визуальный редактор, позволяющий создавать и манипулировать объектами виртуальной среды. Разработчики могут импортировать 3D-модели, текстуры и анимации, а также определить взаимодействие с объектами в VR-тренажеры [169].

Кроме этого, Unity поддерживает несколько языков программирования, включая C# [24, 68, 83, 141] и JavaScript, что позволяет разработчикам создавать сложную логику и взаимодействие в VR-приложениях [68]. Они могут создавать сценарии, управлять поведением объектов и реализовывать пользовательские функции [25]. Также Unity предоставляет возможности для симуляции физических свойств объектов виртуального мира. Разработчики могут определить параметры, такие как гравитация, трение и столкновения, чтобы достигнуть более реалистичного поведения объектов в VR-тренажере. Причем, Unity позволяет разработчикам создавать VR-приложения с многопользовательским режимом, что открывает возможности для коллективной работы и взаимодействия между пользователями в виртуальной среде [92].

Unreal Engine 4 (UE4) – это мощный и популярный движок разработки игр и визуализации, который также широко используется для создания виртуальной реальности (VR) и VR тренажеров. При этом Unreal Engine 4 обладает передовыми возможностями визуализации, позволяющими создавать реалистичные и высококачественные визуальные эффекты в виртуальной среде. Он поддерживает продвинутый фотореализм, динамическое освещение, эффекты частиц, теней и многое другое. Кроме этого, UE4 предоставляет инструменты для моделирования физических свойств объектов, включая гравитацию, столкновения, силы и другие физические эффекты. Это позволяет создавать реалистичные и интерактивные симуляции в VR.

Таблица 1.3 – Программное обеспечение для разработки приложений виртуальной реальности ППП АСУП

№	Наименование	Доступность и ценовой сегмент	Уровень освоения (оценка автора)	Используется для VR тренажеров АСУП	Оценка автора
1	Unreal Engine	Бесплатно, однако, при коммерческом использовании требуется уплата 5% от выручки после достижения порога в \$1 млн.	Высокий уровень сложности.	Да	5
2	Unity	Бесплатные лицензии для некоммерческого использования.	Средний уровень сложности.	Да	5
3	CryEngine	Бесплатные лицензии для некоммерческого использования. Для коммерческих проектов требуется обсуждение с командой CryEngine, чтобы получить информацию о подходящей лицензии и ценовой политике.	Высокий уровень сложности.	Да	4
4	Amazon Lumberyard	Бесплатные лицензии для некоммерческого использования. предоставляемый Amazon Web Services. Платные дополнительные услуги.	Средний уровень сложности.	Да	3
5	Godot	Godot является бесплатным и открытым исходным кодом игровым движком, доступным для всех разработчиков. Распространяется под лицензией MIT, можно использовать его без ограничений.	Простой уровень сложности. Предлагает хорошую документацию и обучающие ресурсы. Некоторые продвинутые функции могут потребовать дополнительного изучения.	Да	4
6	Blender Game Engine	Blender Game Engine является частью бесплатного и открытого исходного кода пакета Blender.	Высокий уровень сложности. Он требует понимания моделирования и анимации в Blender, а также изучения его игровых компонентов и Python-скриптинга.	Нет	2
7	Autodesk Stingray	Autodesk Stingray является платным.	Высокий уровень сложности.	Нет	2
8	Cocos2d-x	Cocos2d-x является бесплатным и открытым исходным кодом игровым движком.	Средний уровень сложности.	Нет	3

№	Наименование	Доступность и ценовой сегмент	Уровень освоения (оценка автора)	Используется для VR тренажеров АСУП	Оценка автора
9	Xenko	Cocos2d-x является бесплатным и открытым исходным кодом игровым движком. Есть платные модули.	Средний уровень сложности.	Нет	2
10	AppGameKit VR	Есть бесплатная базовая версия и платная продвинутая.	Средний уровень сложности. Он требует понимания основ разработки игр и знания специфических инструментов и API для работы с VR.	Нет	4
11	OpenSimulator	Является бесплатной и открытой платформой виртуального мира, доступной для всех разработчиков. Он распространяется под лицензией BSD, что позволяет свободно использовать, изменять и распространять его без ограничений.	Средний уровень сложности.	Нет	3
12	Project Anarchy	Project Anarchy был бесплатным игровым движком. С 2020 года, разработка и поддержка Project Anarchy прекращены, и официально не доступен для загрузки.	Средний уровень сложности.	Да	3
13	Source Engine (Valve)	Есть бесплатная базовая версия и платная продвинутая.	Средний уровень сложности. Требуется знание программирования, уровней дизайна и работы с инструментами Source SDK.	Да	3
14	Autodesk VRED	Есть бесплатная базовая версия и платная продвинутая.	Средний уровень сложности.	Да	4
15	WorldViz Vizard	Есть бесплатная базовая версия и платная продвинутая.	Средний уровень сложности. Он требует понимания основных принципов виртуальной реальности, 3D-моделирования, программирования и интеграции с различными устройствами.	Нет	3

Также Unreal Engine 4 обеспечивает инструменты для создания сложной анимации персонажей и объектов в VR. Это включает скелетную анимацию, кинематическую анимацию, анимацию лица и другие техники, которые делают движение виртуальных объектов более реалистичным. Причем, UE4 предоставляет возможности для взаимодействия пользователя с виртуальной средой в VR. Это включает поддержку контроллеров, жестов, голосового управления и других методов ввода, что позволяет создавать более погружающие и интерактивные VR тренажеры. Кроссплатформенная поддержка: Unreal Engine 4 поддерживает различные платформы VR, включая Oculus Quest 2, Rift, HTC Vive, PlayStation VR и другие. Это обеспечивает возможность разработки мультиплатформенных VR-приложений и достижение широкой аудитории пользователей. Наконец, Unreal Engine 4 является одним из ведущих для разработки VR тренажеров из-за мощных функциональных возможностей визуализации, физической симуляции, анимации и взаимодействия, а также кроссплатформенной поддержки.

Для разработки и реализации тренажеров виртуальной реальности, применимых для ППП АСУП, автором предлагается использовать программное обеспечение Unity.

Сравнительный анализ программного обеспечения для разработки визуальных компонентов [73, 97, 85, 88] для систем виртуальной реальности ППП АСУП представлен в табл. 1.4. Предлагается для разработки 3D-моделей, окружения, текстур, UX/UI дизайна использовать комплекс программных решений: Autodesk Maya [139], Blender [140], Substance Painter, Adobe Photoshop, Adobe Illustrator [45].

Autodesk Maya и **Blender** обладают широким спектром возможностей, включая моделирование, анимацию, рендеринг, симуляцию, инструменты для создания виртуальной реальности и многое другое. Это мощные инструменты для создания высококачественной 3D-графики [91] и спецэффектов. Они предоставляют инструменты для создания сложных трехмерных моделей, включая возможность создания геометрии, поверхностей, кривых и сеток [35, 36, 62].

Таблица 1.4 – Программное обеспечение для разработки визуальных компонентов для систем виртуальной реальности ППП АСУП

	Наименование	Доступность и ценовой сегмент	Уровень освоения (оценка автора)	Используется для VR тренажеров АСУП	Оценка автора
1.	Autodesk Maya	Платно, ежемесячная, годовая	Высокий	Да	5
2.	Blender	Бесплатно	Средний	Да	4
3.	3ds Max	Платно, ежемесячная, годовая	Высокий	Да	4
4.	Cinema 4D	Платно, ежемесячная, годовая	Средний	Нет	3
5.	ZBrush	Платно, полная версия, версия для студентов	Высокий	Да	4
6.	SolidWorks	Платно, ежегодная подписка, постоянная лицензия	Средний	Нет	5
7.	Rhinoceros	Платно, коммерческие, академические, образовательные лицензии	Средний	Нет	4
8.	SketchUp	Бесплатная версия, платные подписки, коммерческие лицензии	Низкий	Нет	3
9.	AutoCAD	Платно, ежегодная подписка, постоянная лицензия	Средний	Да	5
10.	LightWave 3D	Платно, ежегодная подписка, постоянная лицензия	Средний	Нет	2
11.	Sketchfab	Платно, бесплатный план, платные планы	Низкий	Нет	3
12.	Marvelous Designer	Платно, ежегодная подписка, постоянная лицензия	Средний	Да	3
13.	Substance Painter	Платно, ежемесячная, годовая	Средний	Да	5
14.	Adobe Photoshop	Платно, ежемесячная, годовая	Средний	Да	5
15.	Microsoft Paint	Бесплатно	Низкий	Нет	1
16.	Adobe Illustrator	Платно, ежемесячная, годовая	Средний	Да	5

Они поддерживают как процедурное, так и руководимое моделирование, позволяя создавать разнообразные объекты и сцены. Предлагают обширный набор инструментов для создания анимации [109], включая ключевую анимацию, симуляцию физики, кинематику, деформацию персонажей и многое другое. Это позволяет разработчикам создавать живую и выразительную анимацию объектов и персонажей. Они поддерживают различные алгоритмы рендеринга, включая стандартные и фотореалистичные методы, что позволяет создавать визуально привлекательные сцены и спецэффекты. Обладают инструментами для создания физических симуляций и динамических эффектов, таких как симуляция тканей, жидкостей [122], волос, частиц и твердых тел [37, 42].

Substance Painter – программа для текстурирования и рисования материалов в трехмерной графике. Предоставляет широкий выбор инструментов и материалов для создания реалистичных текстур и материалов для 3D-объектов. Это позволяет добавлять детали, износ, цвета, блики и другие элементы, чтобы придать объектам визуальную глубину и реализм. Поддерживает физически основанный (PBR) рабочий процесс, что обеспечивает точное моделирование освещения и поведение материалов. Это позволяет создавать текстуры, которые выглядят реалистично в различных условиях освещения. Предлагает различные режимы рисования, включая кисти, краски, копирование и заполнение, что облегчает создание и редактирование текстур. Также поддерживает рисование с использованием слоев, что позволяет создавать сложные текстурные эффекты. Предлагает библиотеку умных материалов и параметров, которые позволяют быстро применять и настраивать различные материалы. Это упрощает процесс текстурирования и позволяет достичь высокого качества без необходимости создания всех текстур вручную. Интегрируется с другими программами 3D-графики и пайплайном разработки. Он поддерживает импорт и экспорт текстур и материалов в различных форматах, что обеспечивает совместимость с другими инструментами и процессами работы.

Adobe Photoshop – это профессиональное программное обеспечение для редактирования и обработки растровых изображений. Он предоставляет широкий набор инструментов для ретуширования фотографий, создания графики, наложения эффектов, рисования и многое другое. Позволяет работать с различными слоями, фильтрами и настройками, что обеспечивает гибкость и контроль над создаваемыми изображениями. Он широко используется в фотографии, дизайне, рекламе и других областях, где требуется манипулировать и улучшать визуальные элементы.

Adobe Illustrator – это векторный графический редактор, предназначенный для создания и редактирования векторных изображений, включая логотипы, иллюстрации, иконки и многое другое. С использованием разнообразных инструментов, таких как карандаши, кривые и формы, позволяет создавать точные и масштабируемые векторные объекты. Он также поддерживает манипуляцию цветами, прозрачностью, текстом и эффектами.

1.4 Постановка задачи

Выше рассмотрена подсистема подготовки персонала АСУП, предназначенная для подготовки, мониторинга и управления кадровым составом производственного процесса. Подготовка персонала АСУП с использованием оборудования является сложным и дорогостоящим процессом с практически невозможной отработкой отдельных навыков, связанных с нестандартными ситуациями. Исходя из результатов этого исследования предложено применять виртуальные тренажеры для повышения эффективности ППП АСУП. Каждое производство имеет собственную специфику, поэтому целесообразно применять виртуальные тренажеры, которые отвечают требованиям и задачам конкретного типа производства. Разработка виртуальных тренажеров – это сложный, дорогостоящий и длительный процесс, поэтому актуальна разработка методов и моделей, которые позволят разрабатывать эти тренажеры быстрее, качественнее и дешевле.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить ряд задач.

1. Провести анализ применения виртуальных тренажеров для подготовки специалистов промышленного сектора с использованием оборудования, подходов к проектированию и разработке программной и визуальной части, выбора аппаратных устройств, сформулировать требования к разработке и реализации виртуальных тренажеров для ППП АСУ производствами. Проведенный анализ позволит выявить и обосновать задачи, которые требуется решить для достижения сформулированной цели, которая связана с повышением эффективности подготовки операторов металлорежущих станков ППП АСУ производствами.

2. Разработать метод автоматизированного построения виртуальных тренажеров для подсистемы подготовки персонала АСУ производствами с применением функциональных видеороликов и формализованного процесса проектирования и разработки в виде структур процесса создания программных и визуальных модулей с учетом специфики разработки тренажеров под виртуальную реальность,

3. Разработать онтологическую модель в виде семантической сети для ППП АСУ производствами, которая формализует знания о предметной области, что необходимо для организации процесса подготовки специалистов. Разработка онтологической модели в виде семантической сети для ППП АСУ производствами необходима для структурирования и систематизации знаний о процессе подготовки специалистов. Эта модель позволяет формализовать связи между различными компонентами системы, такими как обучающие модули, техническое оборудование, навыки и компетенции, необходимые для выполнения производственных задач. Онтологическая модель обеспечивает единое представление информации, облегчая процесс планирования, управления и анализа подготовки специалистов, а также способствует интеграции различных образовательных компонентов и адаптации системы к изменяющимся условиям и требованиям.

4. Разработать метод оценки качества визуализации разработанного виртуального тренажера для подготовки операторов металлорежущих станков

ППП АСУ производствами с применением метода Кондорсе, что позволяет выбрать лучшую альтернативу на основе ранжирования экспертных оценок.

5. Осуществить апробацию виртуальных тренажеров для подсистемы ППП АСУ производствами, определить эффективность и качество профессионального обучения. Для оценки эффективности внедрения разработанного виртуального тренажера подготовки операторов оборудования ППП АСУП требуется проведение экспериментов. По их результатам можно оценить значения количественных характеристик повышения эффективности ППП АСУП, а также работу с нестандартными ситуациями. Требования к разработке и реализации виртуальных тренажеров для ППП АСУ производствами указываются в техническом задании. При этом осуществляется формализации функциональных действий пользователя и администратора и др. Так, при разработке программного обеспечения для виртуальной реальности (VR) существуют определенные требования, которые должны быть учтены для обеспечения качественного и безопасного пользовательского опыта. Основные требования включают: реалистичность и иммерсивность, плавность и низкая задержка шлема и контроллеров виртуальной реальности, качественная графика, удобное и интуитивное управление и взаимодействие, совместимость и оптимизация, безопасность пользователя, безопасность и защита данных, аналитика данных, обновления и поддержка, соответствие стандартам и нормативам, масштабируемость.

Следующие главы посвящены решению поставленных задач.

Заключение по первой главе

В главе 1 осуществлен анализ основных понятий, проведено исследование подсистемы подготовки персонала АСУ производствами, а именно операторов металлорежущих станков с применением виртуальных тренажеров. Рассмотрена организационная структура подсистемы подготовки персонала АСУП для обучения специалистов с использованием виртуальных тренажеров. Описана характеристика подсистемы подготовки персонала АСУ

производствами для операторов металлорежущих станков с применением виртуальных тренажеров. Рассмотрена структура и виды симуляторов и виртуальных тренажеров, а также выполнен анализ и выбор программного и аппаратного обеспечения для разработки и реализации систем виртуальной реальности, применимых для ППП АСУ производствами. Проведенный анализ позволил выявить и обосновать задачи, которые требуется решить для достижения сформулированной цели, что связано с повышением эффективности подготовки операторов оборудования АСУП.

Для этого требуется провести системный анализ применения виртуальных тренажеров для подготовки специалистов в промышленном секторе, определив требования к их разработке и реализации. Затем необходимо создать метод проектирования и разработки тренажеров, включающий формализацию процесса и этап формирования предложений на основе видеоматериалов с производства. Важным шагом является разработка структуры создания программных и визуальных модулей, что включает синтез процессов создания программных модулей, базы данных, 3D-моделей и оптимизации. Следующим этапом является создание онтологической модели, которая обеспечит структурирование и систематизацию знаний о процессе подготовки специалистов в рамках системы. Также необходимо разработать методику оценки качества визуализации тренажера с использованием метода Кондорсе для выбора лучшей альтернативы. Следующим этапом является апробация тренажеров, оценка их эффективности и качества обучения, а также соответствия требованиям, сформулированным в техническом задании, с учетом специфики разработки VR-приложений.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПОСТРОЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ПОДСИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

В настоящей главе описывается предложенный метод проектирования, построения и реализации виртуальных тренажеров подсистемы подготовки персонала автоматизированной системы управления производством, отличительной особенностью которого является этап формирования предложения заказчику, который основывается на функциональных видеороликах, полученных с производства, а также способе формализации процесса проектирования и разработки. В этом методе используется построенная онтологическая модель в виде семантической сети ППП АСУП, которая отражает процесс подготовки персонала в АСУП, а также разработанная структура процесса создания программных и визуальных модулей виртуальных тренажеров для ППП АСУП. Структура процесса создания программных и визуальных модулей виртуальных тренажеров представляет синтез структур процессов: создания программных модулей, создания базы данных, создания 3D-моделей и оптимизации программных компонент. В главе предложена метод оценки качества визуализации разработанного виртуального тренажера для подготовки операторов оборудования ППП АСУП с применением метода Кондорсе, что позволяет выбрать лучшую альтернативу на основе ранжирования экспертных оценок.

2.1 Построение онтологической модели в виде семантической сети подсистемы подготовки персонала автоматизированной системы управления производством

Построение онтологической модели в виде семантической сети для ППП АСУП является методом формализации знаний о процессе подготовки специалистов в рамках заданной системы [4, 17, 55, 127]. Этот процесс

включает структурирование информации о компетенциях, навыках, профессиональных знаниях, обучающих материалах и методиках обучения, используемых в подсистеме подготовки персонала.

Онтологическая модель представляет семантическую сеть, в которой понятия и связи между понятиями представлены в виде узлов и ребер графа:

$$OM = \langle X, Y, Z \rangle,$$

где $X = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ – конечное множество понятий предметной области проектирования и разработки виртуальных тренажеров для ППП АСУП; $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_M\}$, $Y \subseteq \{X_1 \times X_2 \times \dots \times X_N\}$ – конечное множество семантически значимых отношений между понятиями-объектами предметной области; $Z = \{X \times Y\}$ – конечное множество функций интерпретации, которые задаются на понятиях и/или отношениях. Обычно заданием функции интерпретации Z является глоссарий, составленный для множества понятий X .

Таким образом, в этой модели каждый узел соответствует определенному понятию, например, типу компетенции или курсу обучения, а ребра графа описывают отношения между этими понятиями, такие как "включает в себя", "является подтипом" и т.д.

Построение онтологической модели включает этапы: идентификация и определение понятий, установление отношений, формализация знаний, разработка онтологической сети, валидация и обновление.

В качестве примера оборудования для анализа предметной области ниже рассмотрена работа операторов металлорежущих станков. При этом выделены следующие основные понятия:

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. Оператор станка. | 7. Наушники. |
| 2. Измерительные приборы. | 8. Защитные очки. |
| 3. Нутромеры. | 9. Нештатные ситуации. |
| 4. Микрометры. | 10. Поломка инструмента. |
| 5. Штангенциркуль. | 11. Застревание детали. |
| 6. Защитная экипировка. | 12. Перегрузка станка. |
| | 13. Потеря стабильности. |

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 14. Фрезерный инструмент. | 30. Патрон. |
| 15. Модульный датчик. | 31. Фрезерный станок. |
| 16. Фреза. | 32. Обработка детали. |
| 17. Дисковые. | 33. Деталь. |
| 18. Концевые. | 34. Зона сохранения детали. |
| 19. Торцевые. | 35. Сохраненные детали. |
| 20. Резец. | 36. Пульт управления. |
| 21. Коробка скоростей. | 37. Панель управления. |
| 22. Резцедержатель. | 38. Стол. |
| 23. Суппорт. | 39. Тиски. |
| 24. Задняя бабка. | 40. Шпиндельная бабка. |
| 25. Передняя бабка. | 41. Фрезерный шпиндель. |
| 26. Токарный шпиндель. | 42. Монитор координат |
| 27. Токарный станок. | суппорта. |
| 28. Координаты суппорта. | 43. Вывод координат и |
| 29. Заготовка. | углов наклона. |

Определены отношения между понятиями, которые имеют следующий вид.

1. Оператор станка НАДЕВАЕТ Защитную экипировку.
2. Оператор станка ИСПРАВЛЯЕТ Нештатные ситуации.
3. Фрезерный станок ВЫПОЛНЯЕТ Обработку деталей.
4. Токарный станок ВЫПОЛНЯЕТ Обработку деталей.
5. Нештатные ситуации ВКЛЮЧАЮТ Поломка инструмента.

Семантическая сеть предметной области «ППП АСУП» разрабатывалась инструментами <https://app.diagrams.net/> и представлена на рис. 2.1.

Программная часть реализована с использованием программного обеспечения Protege – это бесплатный и открытый инструмент для разработки и управления онтологиями. Он предоставляет средства для создания, редактирования и визуализации семантических сетей и онтологий. При этом Protege разработан и поддерживается Stanford Center for Biomedical Informatics Research и является одним из наиболее популярных инструментов для работы с онтологиями. Программа предоставляет графический интерфейс, который

позволяет пользователям создавать и редактировать классы, свойства, экземпляры и отношения между ними. Она поддерживает различные форматы хранения онтологий, включая OWL (Web Ontology Language) и RDF (Resource Description Framework). Причем, Protege предлагает множество функциональных возможностей для работы с онтологиями, таких как автоматическое завершение кода, проверка синтаксиса, валидация данных и др. Он также интегрируется с другими инструментами и базами данных, что облегчает совместную работу и обмен данными [77]. Онтология предметной области «ППП АСУП» в виде семантической сети представлена на рис. 2.2.

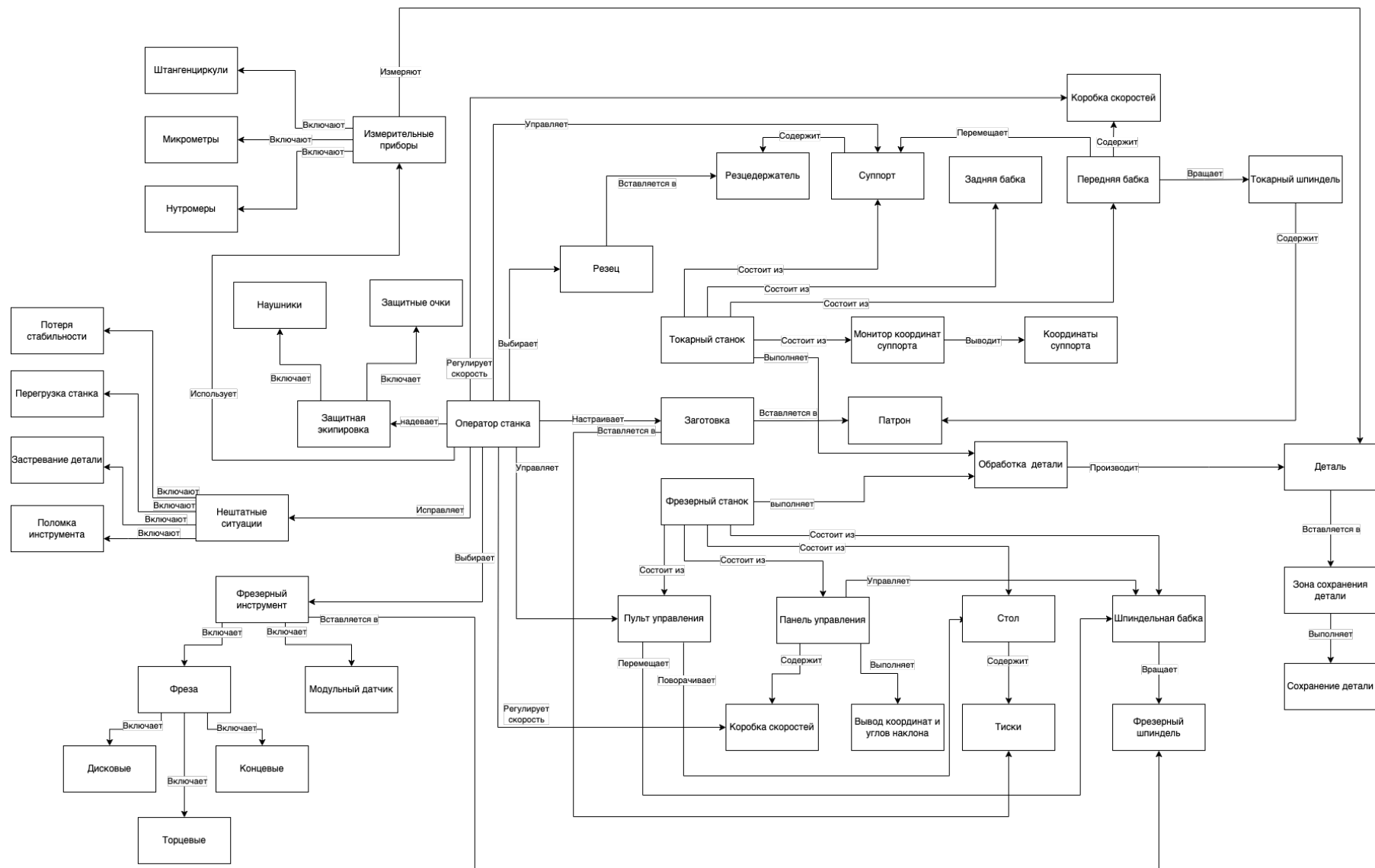


Рисунок 2.1 – Семантическая сеть предметной области ППП АСУП

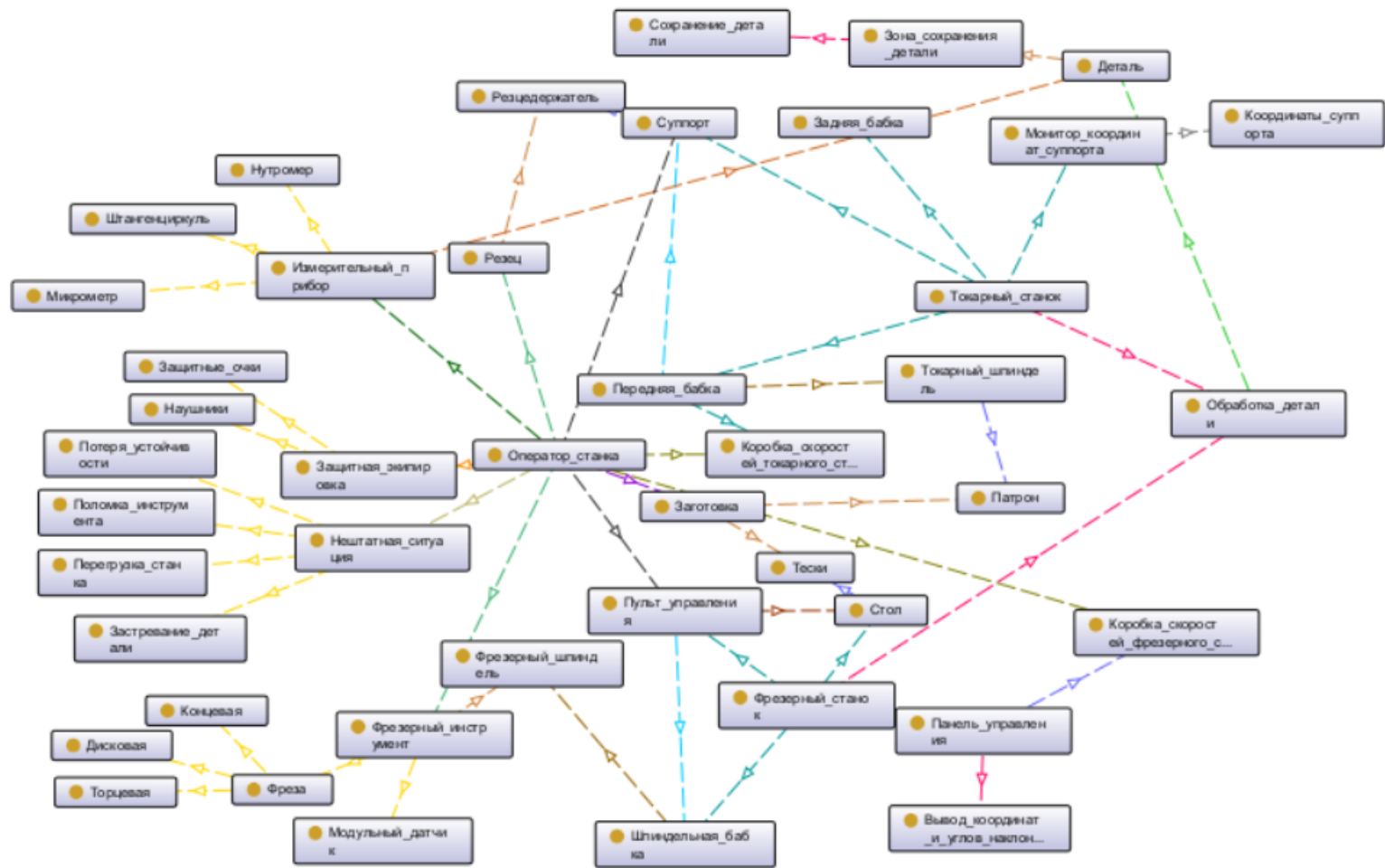


Рисунок 2.2 – Онтология предметной области ППП АСУП

<input checked="" type="checkbox"/> Включает(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Вращает(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Вставляется_в(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Выбирает(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Выводит(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Выполняет(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Измеряет(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Использует(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Исправляет(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Надевает(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Настраивает(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Перемещает(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Поворачивает(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Производит(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Регулирует_скорость(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Содержит(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Состоит_из(Subclass some)
<input checked="" type="checkbox"/> Управляет(Subclass some)

Рисунок 2.3 – Отношения между понятиями онтологии предметной области ППП АСУП в ПО Protege

2.2 Разработка метода проектирования, построения, тестирования и реализации виртуальных тренажеров для ППП АСУП

Отличительной особенностью предложенного метода проектирования, построения, тестирования и реализации [67, 120, 144, 146, 156] виртуальных тренажеров для ППП АСУП является этап формирования предложения заказчику, который основывается на функциональных видеороликах, полученных с производства, а также способе формализации процесса проектирования, построения, тестирования и реализации.

Регламент формирования видеоматериалов для разработки виртуальных тренажеров с производства включает несколько ключевых аспектов.

1. Видеоролик должен содержать описание всех важных этапов производственного процесса. Содержание видеоматериалов должно демонстрировать полный цикл работы оборудования, включая запуск, выполнение операций и их завершение. Особое внимание следует уделить взаимодействию операторов с техникой.

2. Для создания полноты картины необходимо снимать с нескольких ракурсов, охватывая общий вид и крупные планы ключевых моментов процесса.

3. Видеоролик должен содержать звуковое сопровождение, включая шумы работы оборудования и команды операторов, для реалистичной передачи производственной атмосферы.

4. Рекомендуемая продолжительность – не более 15 минут.

5. Разрешение: не ниже 1080p (Full HD) с частотой 30 кадров в секунду для обеспечения требуемой четкости и возможности последующей обработки.

6. Формат видео должен быть MP4. Съемка должна следовать заранее разработанному сценарию, включающему такие этапы, как запуск оборудования, действия операторов на разных этапах, а также демонстрацию аварийных ситуаций и их решения: V_{prod} – видеоролик производственного процесса, требования описаны как совокупность следующих характеристик

$$V_{prod} = f(T_{length}, R_{quality}, S_{content}, A_{angles}, S_{sound}, F_{format}, S_{script}),$$

где T_{length} – длительность видеоролика $T_{length} \leq 900$ секунд (15 минут),

$R_{quality}$ – разрешение видео и частота кадров $R_{quality} \geq 1080p$ и $FPS \geq 30$,

$S_{content}$ – содержание видео должно включать все ключевые этапы работы оборудования ($S_{content} = \{launch, process, shutdown, key\ actions\}$),

A_{angles} – количество ракурсов съемки $A_{angles} \geq 3$ (общий вид, крупные планы, детали оборудования), S_{sound} – наличие звукового сопровождения, F_{format} –

формат видео ($F_{format} = MP4$), S_{script} – сценарий видеосъемки $S_{script} = \{launch, operator\ actions, emergency\ situations\}$.

Этапы метода представлены в виде схемы на рис. 2.4. Схема описывает процесс поэтапной разработки, включающей три основных блока: *Pre-Production*, *Production* и *Post-Production*.

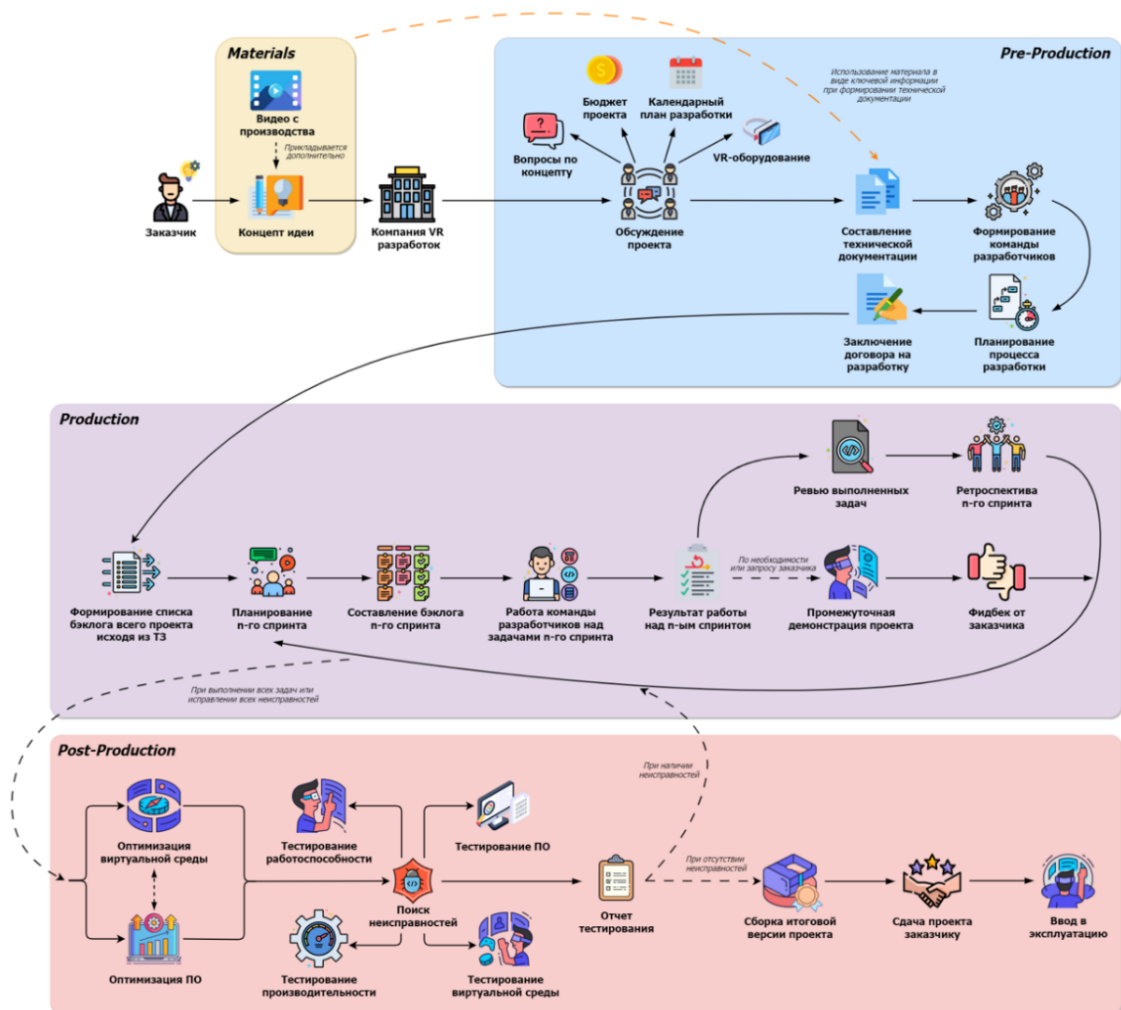


Рисунок 2.4 – Схема проектирования, разработки, тестирования и реализации виртуальных тренажеров для ППП АСУП

Этап *Pre-Production* включает несколько ключевых процессов, таких как концептуализация на основе функциональных видеороликов и материалов заказчика, бюджетирование, формирование технической документации и планирование:

$$PreProd_{VR} = f(Concept_{idea}, Budget_{plan}, TechDoc_{create}, Team_{form}, Plan_{dev}),$$

где $Concept_{idea}$ – создание концепции и идеи проекта на основе видео и материалов заказчика, $Budget_{plan}$ – планирование бюджета, $TechDoc_{create}$ –

составление технической документации, $Team_{form}$ – формирование команды разработчиков, $Plan_{dev}$ – планирование процесса разработки.

Этап создание концепции и идеи проекта включает в себя сбор материалов, видеороликов с производства и другой информации, которая помогает сформировать видение конечного продукта учитывая потребности заказчика и специфику задачи.

$$Concept_{idea} = f(Video_{materials}, Req_{customer}, Tech_{feasibility}),$$

где $Video_{materials}$ – видеоматериалы с производства, $Req_{customer}$ – требования заказчика, $Tech_{feasibility}$ – техническая реализуемость проекта.

Планирование бюджета. На этом этапе происходит оценка необходимых финансовых ресурсов для реализации проекта. Определяются затраты на оборудование, программное обеспечение, оплату труда специалистов и прочие расходы, связанные с разработкой.

$$Budget_{plan} = f(Cost_{equipment}, Cost_{software}, Cost_{labor}, Misc_{expenscs}),$$

где $Cost_{equipment}$ – затраты на оборудование, $Cost_{software}$ – затраты на программное обеспечение, $Cost_{labor}$ – затраты на оплату труда, $Misc_{expenscs}$ – прочие расходы.

Составление технической документации. Данный процесс включает разработку всех необходимых документов, включая технические задания, спецификации и прочие важные документы, которые описывают функциональные и технические аспекты будущего тренажера.

$$TechDoc_{create} = f(Req_{specifications}, Arch_{design}, Code_{standards}),$$

где $Req_{specifications}$ – технические требования, $Arch_{design}$ – архитектурный дизайн, $Code_{standards}$ – стандарты написания кода.

Формирование команды разработчиков. Подбор специалистов с нужными компетенциями, которые будут работать над проектом, формирование структуры команды и распределение обязанностей.

$$Team_{form} = f(Dev_{experience}, Dev_{skills}, Role_{distribution}),$$

где $Dev_{experience}$ – опыт разработчиков, Dev_{skills} – навыки разработчиков, $Role_{distribution}$ – распределение ролей в команде.

Планирование процесса разработки. Создание дорожной карты проекта с указанием сроков выполнения задач, ключевых этапов и контрольных точек.

$$Plan_{dev} = f(Timeline_{project}, Milestones_{key}, Deliverables_{control}),$$

где $Timeline_{project}$ – график выполнения проекта, $Milestones_{key}$ – ключевые этапы, $Deliverables_{control}$ – контрольные точки выполнения задач.

В виде псевдокода представление процесса *Pre-Production* для разработки тренажера виртуальной реальности выглядит следующим образом:

```
// Функция Pre-Production этапа разработки VR тренажера
function PreProd_VR():
    // 1. Создание концепции проекта
    Concept_idea = generateConcept(Video_materials, Req_customer,
    Tech_feasibility)
    // 2. Планирование бюджета
    Budget_plan = planBudget(Cost_equipment, Cost_software, Cost_labor,
    Misc_expenses)
    // 3. Составление технической документации
    TechDoc_create = createTechDoc(Req_specifications, Arch_design,
    Code_standards)
    // 4. Формирование команды разработчиков
    Team_form = formTeam(Dev_experience, Dev_skills, Role_distribution)
    // 5. Планирование процесса разработки
    Plan_dev = planDevelopment(Timeline_project, Milestones_key,
    Deliverables_control)
    // Вернуть результат Pre-Production этапа
    return (Concept_idea, Budget_plan, TechDoc_create, Team_form,
    Plan_dev)
// Генерация концепции проекта
function generateConcept(Video_materials, Req_customer, Tech_feasibility):
```

```

// Логика по созданию концепции
// На основе видеоматериалов с производства и требований заказчика
Concept_idea = analyze(Video_materials) + evaluate(Tech_feasibility)
return Concept_idea

// Планирование бюджета
function planBudget(Cost_equipment, Cost_software, Cost_labor,
Misc_expenses):
    // Логика расчета бюджета
    Budget_plan = sum(Cost_equipment, Cost_software, Cost_labor,
Misc_expenses)
    return Budget_plan

// Создание технической документации
function createTechDoc(Req_specifications, Arch_design, Code_standards):
    // Логика по созданию технической документации
    TechDoc_create = compile(Req_specifications, Arch_design,
Code_standards)
    return TechDoc_create

// Формирование команды разработчиков
function formTeam(Dev_experience, Dev_skills, Role_distribution):
    // Логика подбора и распределения ролей в команде
    Team_form = assignRoles(Dev_experience, Dev_skills, Role_distribution)
    return Team_form

// Планирование процесса разработки
function planDevelopment(Timeline_project, Milestones_key,
Deliverables_control):
    // Логика планирования проекта
    Plan_dev = schedule(Timeline_project, Milestones_key,
Deliverables_control)
    return Plan_dev

```

Описание псевдокода:

PreProd_VR(): Основная функция, которая последовательно вызывает другие функции для выполнения этапов Pre-Production.

generateConcept(): Создание концепции проекта на основе видеоматериалов и требований заказчика.

planBudget(): Планирование бюджета на основе расчетов затрат на оборудование, ПО, трудовые ресурсы и прочие расходы.

createTechDoc(): Составление технической документации с учетом требований, архитектуры и стандартов кодирования.

formTeam(): Формирование команды разработчиков с учетом опыта, навыков и распределения ролей.

planDevelopment(): Планирование процесса разработки с учетом графика, ключевых этапов и контрольных точек.

На этапе *Production* процесс разработки организован по методологии Agile [110, 155, 162, 163, 168, 171], с разбивкой на спринты и обратной связью от заказчика:

$$Prod_{VR} = \sum_{s=1}^n Sprint_s (Backlog_s, Task_{plan}, Task_{dev}, Rev_s, Feedback_{cust}),$$

где $Sprint_s$ — s -й спринт разработки, $Backlog_s$ — составление бэклога задач для s -го спринта, $Task_{plan}$ — планирование задач для s -го спринта, $Task_{dev}$ — разработка задач команды, Rev_s — ревью задач после завершения спринта, $Feedback_{cust}$ — обратная связь от заказчика после демонстрации результатов спринта.

Этап *Post-Production* включает тестирование, оптимизацию и сдачу проекта заказчику.

$$PostProd_{VR} = f(Test_{perf}, Test_{function}, Bug_{fix}, Final_{opt}, Project_{delivery}),$$

где $Test_{perf}$ — тестирование производительности, $Test_{function}$ — функциональное тестирование (виртуальной среды и ПО), Bug_{fix} — поиск и исправление ошибок, $Final_{opt}$ — финальная оптимизация ПО и виртуальной среды, $Project_{delivery}$ — сдача проекта заказчику.

Объединяя все этапы разработки, можно выразить процесс создания виртуального тренажера в следующем виде:

$$DevProd_{VR} = PreProd_{VR} \rightarrow Prod_{VR} \rightarrow PostProd_{VR},$$

с развернутым представлением выражения:

$$DevProd_{VR} = f(Concept_{idea}, Budget_{plan}, TechDoc_{create}, Team_{form}, Plan_{dev}) \rightarrow \sum_{s=1}^n Sprint_s (Backlog_s, Task_{plan}, Task_{dev}, Rev_s, Feedback_{cust}) \rightarrow f(Test_{perf}, Test_{function}, Bug_{fix}, Final_{opt}, Project_{delivery}).$$

Предложенный метод систематизирует процесс разработки виртуального тренажера, начиная с этапа *Pre-Production*, проходя через фазу разработки *Production* и завершая тестированием и сдачей проекта *Post-Production*. Метод позволяет учитывать влияние каждого этапа на конечный результат, а также поддерживает итеративный процесс с постоянной обратной связью от заказчика, что делает её адаптивной к изменениям.

2.3 Разработка структуры процесса создания программных и визуальных модулей виртуальных тренажеров для ППП АСУП

Структура процесса создания программных и визуальных модулей виртуальных тренажеров для ППП АСУП начинается с описания блока *Pre-Production*, процесса формирования технического задания на основе видеоконтента, далее на стадии *Production* реализуется процесс создания программных и визуальных модулей виртуальных тренажеров, в *Post-Production* – оптимизация и внедрение в эксплуатацию (см. рис. 2.5).

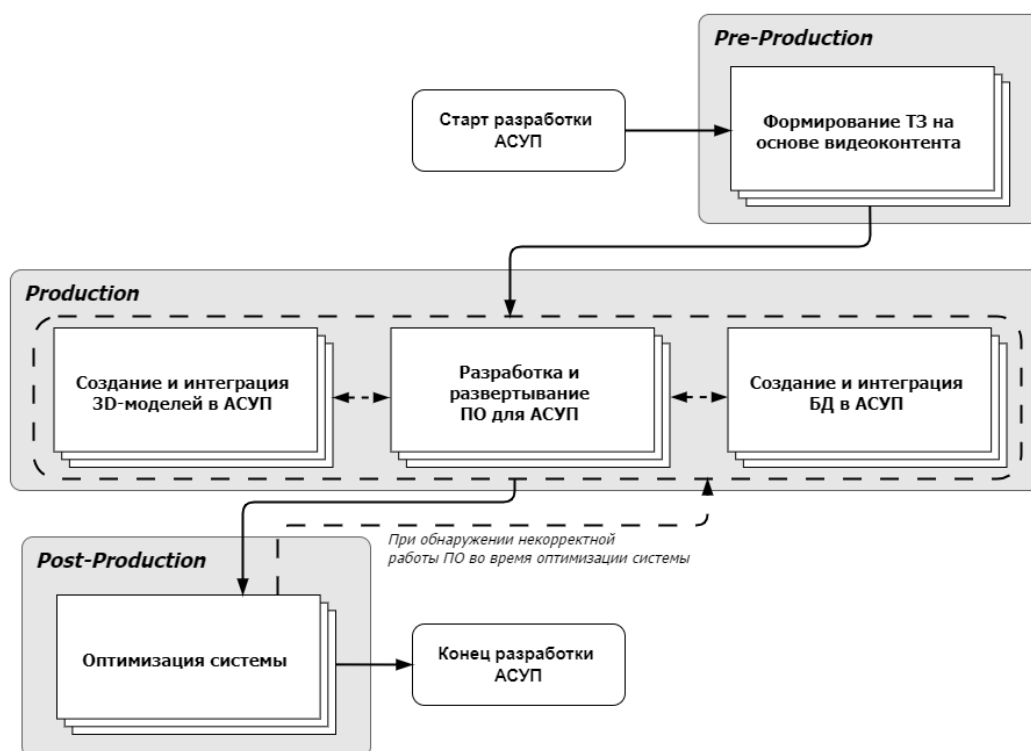


Рисунок 2.5 – Структура процесса создания программных и визуальных модулей виртуальных тренажеров для ППП АСУП

Для представления процесса создания программных и визуальных модулей виртуальных тренажеров для ППП АСУП в виде математической модели, согласно схеме, можно разложить этот процесс на три основных этапа: *Pre-Production*, *Production* и *Post-Production*.

Этап *Pre-Production* включает формирование технического задания на основе видеоконтента.

$$PreProd_{VR\ АСУП} = f(TZ_{form}, Video_{content}),$$

где TZ_{form} – формирование технического задания (ТЗ), $Video_{content}$ – использование видеоконтента для уточнения ТЗ.

На этапе *Production* выполняются 3 ключевые задачи: разработка и интеграция 3D-моделей, разработка и развертывание программного обеспечения, а также создание и интеграция баз данных при необходимости.

$$Prod_{VR\ АСУП} = Dev_{3D} \rightarrow Dev_{SW} \rightarrow Dev_{DB},$$

где Dev_{3D} – разработка и интеграция 3D-моделей, Dev_{SW} – разработка и развертывание программного обеспечения, Dev_{DB} – создание и интеграция баз данных.

Процесс взаимодействия между этими задачами можно выразить как циклический с возможностью взаимодействия между компонентами:

$$Cycle_{Prod} = Dev_{3D} \leftrightarrow Dev_{SW} \leftrightarrow Dev_{DB}.$$

На этапе *Post-Production* проводится оптимизация системы. Если в процессе оптимизации выявляются ошибки, они корректируются с возвращением на этап разработки ПО:

$$PostProd_{VR\ ACUP} = Opt_{system} \leftrightarrow Revise_{SW},$$

где Opt_{system} – оптимизация системы, $Revise_{SW}$ – исправление ошибок в ПО при их обнаружении.

Процесс корректировки при обнаружении некорректной работе и иначе:

$$Revise_{SW} \begin{cases} Return_{prod} \\ End_{VR\ ACUP} \end{cases}.$$

Объединяя этапы разработки, можно выразить весь процесс создания системы VR ACUP следующим выражением:

$$Dev_{VR\ ACUP} = PreProd_{VR\ ACUP} \rightarrow Cycle_{Prod} \rightarrow PostProd_{VR\ ACUP}$$

с развернутой формулой:

$$Dev_{VR\ ACUP} = f(TZ_{form}, Video_{content}) \rightarrow (Dev_{3D} \leftrightarrow Dev_{SW} \leftrightarrow Dev_{DB}) \rightarrow (Opt_{system} \leftrightarrow Revise_{SW}).$$

Эта формула систематизирует процесс разработки системы VR ACUP, включая начальную фазу планирования и формирования ТЗ, циклический процесс разработки и интеграции 3D-моделей, ПО и баз данных, а также этап финальной оптимизации и исправления ошибок.

2.4 Разработка структуры процесса создания программных модулей для виртуальных тренажеров для ППП АСУП

Структура процесса создания программных модулей для виртуальных тренажеров для ППП АСУП включает следующее: анализ предметной области, определение и выбор критерия архитектуры программного обеспечения, разработка и иллюстрация архитектуры программного обеспечения в виде диаграмм классов, прецедентов, деятельности, контекстной и функциональной. Также используются следующие модули [167, 174].

- Разработка программного обеспечения [131, 151].
- Определение императивной и декларативной парадигмы, паттернов разработки, стилей, систем контроля версий, составления проектной документации.
- Тестирование, развертывание, введение в эксплуатацию и обслуживание (см. рис. 2.6) [14].

Для представления процесса создания программных модулей для виртуальных тренажеров для ППП АСУП в виде математической модели, согласно схеме, можно разложить этот процесс на 3 основные этапа: *Pre-Production*, *Production* и *Post-Production*.

На этапе *Pre-Production* проводится анализ технического задания:

$$A_{TZ} = \sum_{i=1}^n R_i + \sum_{j=1}^m V_j,$$

где R_i – требования проекта, V_j – ресурсы, предоставленные заказчиком включая видеоматериалы. Здесь операции \sum и «+» означают объединение входящих в них компонент, т.е. всех требований, ресурсов для анализа технического задания.

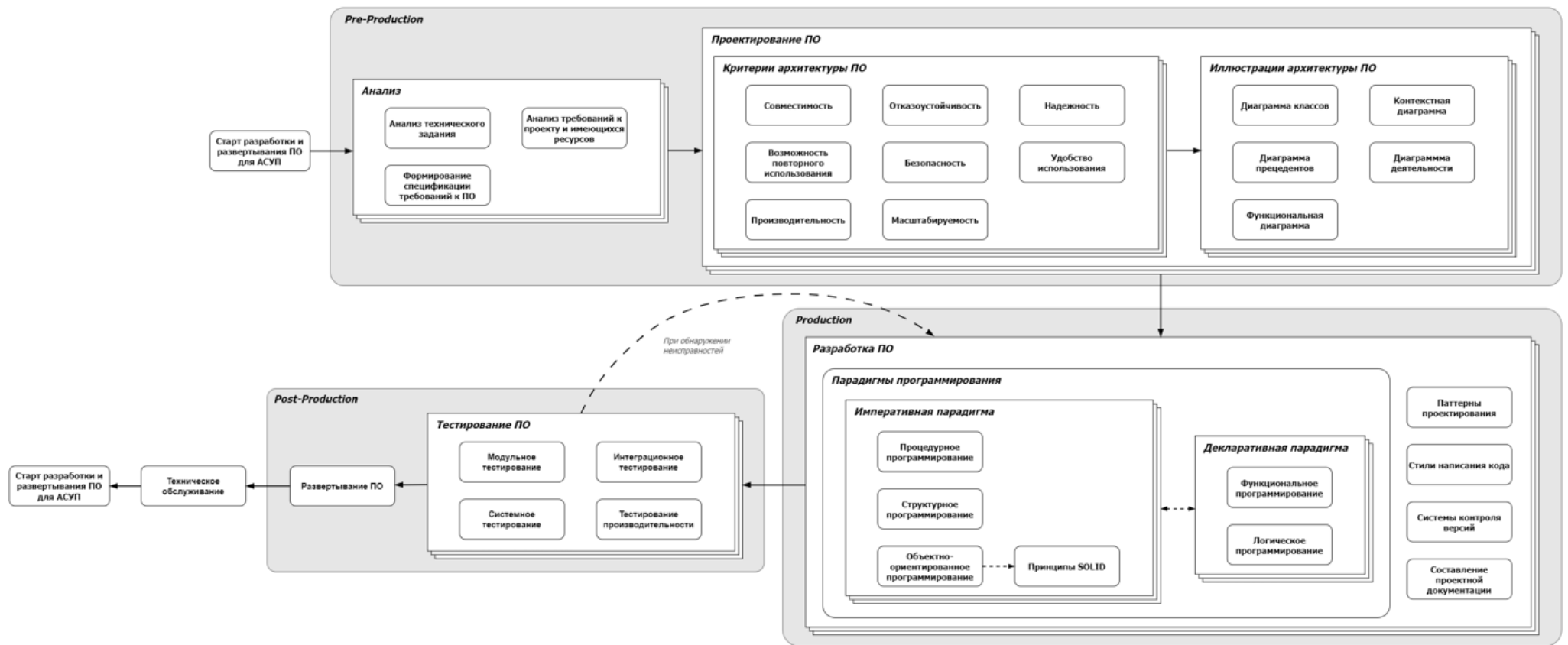


Рисунок 2.6 – Структура процесса создания программных модулей для виртуальных тренажеров для ППП АСУП

Следующим шагом анализ требований к проекту и имеющихся ресурсов.

Процесс анализа включает следующие этапы:

$$A_{req} = \sum_{k=1}^p R_k \times W_k,$$

где R_k – требования проекта, W_k – вес требования (приоритет).

$$A_{res} = \sum_{l=1}^q Res_l \times U_l,$$

где Res_l – ресурс, U_l – степень его использования в проекте.

После формирования спецификации требований к ПО. Спецификация требований формируется следующим образом:

$$S_{Req} = \{R_1, R_2, \dots, R_p\} \cup \{Spec_1, Spec_2, \dots, Spec_n\},$$

где $Spec_1$ – спецификация, описывающая функциональные и нефункциональные требования.

Здесь операции « \times » и « \cup » означают объединение входящих в них компонент, т.е. всех требований проекта и значимости приоритетов, а также ресурсов и степень их использования в проекте.

Также блок *Pre-Production* включает проектирование программного обеспечения. Для обеспечения качественной архитектуры программного обеспечения используются следующие критерии:

$$Arch_{Criteria} = \{C_{comp}, C_{ft}, C_{rel}, C_{reus}, C_{sec}, C_{usab}, C_{perf}, C_{scal}\},$$

где C_{comp} – совместимость, C_{ft} – отказоустойчивость, C_{rel} – надежность, C_{reus} – возможность повторного использования, C_{sec} – безопасность, C_{usab} – удобство использования, C_{perf} – производительность, C_{scal} – масштабируемость.

Процесс создания иллюстраций архитектуры включает следующее:

$$Arch_{Diagrams} = \{D_{class}, D_{context}, D_{usecase}, D_{activity}, D_{func}\},$$

где D_{class} – диаграмма классов, $D_{context}$ – контекстная диаграмма, $D_{usecase}$ – диаграмма прецедентов, $D_{activity}$ – диаграмма деятельности, D_{func} – функциональная диаграмма.

На этапе *Production* проводится разработка программного обеспечения. В процессе ее используются различные парадигмы. Императивная парадигма имеет вид:

$$P_{imperative} = \{PP_{proc}, PP_{struct}, PP_{oop}\},$$

где PP_{proc} , – процедурное программирование, PP_{struct} , – структурное программирование, PP_{oop} – объектно-ориентированное программирование.

Декларативная парадигма имеет следующий вид:

$$P_{declarative} = \{DP_{func}, DP_{logic}\},$$

где DP_{func} – функциональное программирование, DP_{logic} – логическое программирование.

В процессе разработки программного обеспечения используется следующий набор паттернов и стилей:

$$Disign_{patterns} = \{Style_{code}, VCS, Doc_{proj}\},$$

где $Style_{code}$ – стили написания кода, VCS – системы контроля версий, Doc_{proj} – проектная документация.

На этапе *Post-Production* проводится тестирование и развертывание программного обеспечения. Тестирование программного обеспечения включает следующие типы:

$$Testing = \{T_{unit}, T_{integration}, T_{performance}, Bug_{fix}\},$$

где T_{unit} , – модульное тестирование, $T_{integration}$ – интеграционное тестирование, $T_{performance}$ – тестирование производительности, Bug_{fix} – исправление найденных ошибок.

Развертывание программного обеспечения включает следующие этапы:

$$Deployment = \{T_{maintenance}\},$$

где $T_{maintenance}$ – техническое обслуживание программного обеспечения.

В результате все блоки и этапы разработки объединяются в общий процесс создания программных модулей для виртуальных тренажеров для ППП АСУП:

$Process_{VR_{dev}} = PreProd_{analysis} \rightarrow PreProd_{design} \rightarrow Prod_{dev} \rightarrow PostProd_{test\&deploy}$

2.5 Разработка структуры процесса создания базы данных для виртуальных тренажеров для ППП АСУП

Структура процесса создания базы данных [70] для виртуальных тренажеров для ППП содержит анализ предметной области, технического задания, хранимых данных, определение системы управления базы данных (СУБД), проектирование и разработка базы данных с учетом всех связей и сущностей, интеграцию и реализацию (см. рис. 2.7).

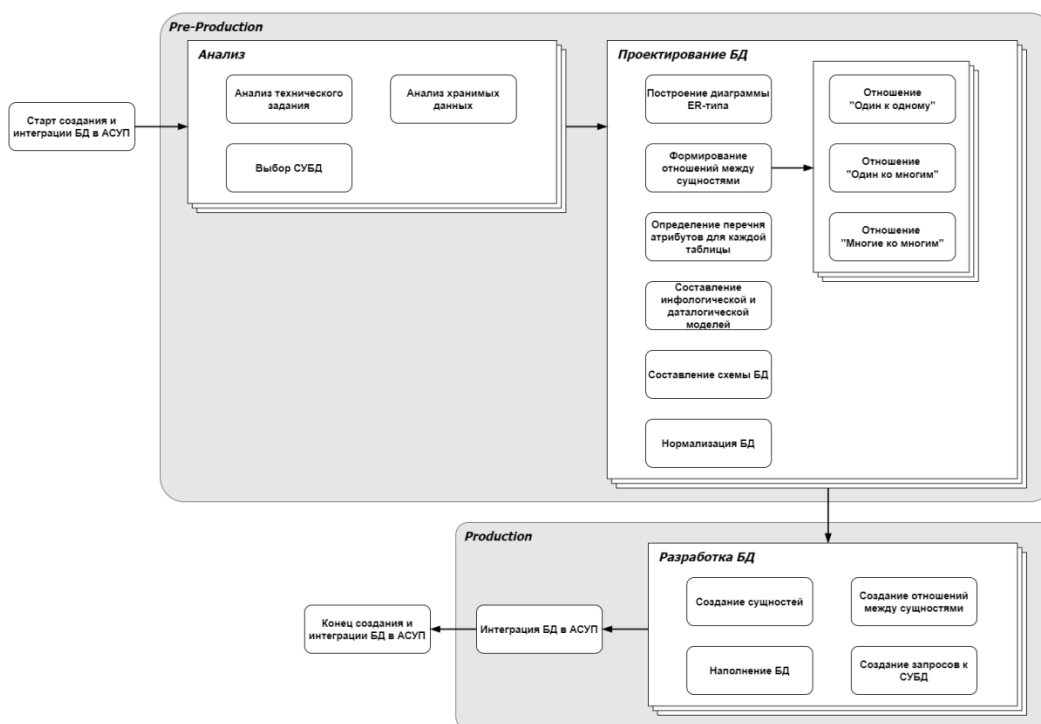


Рисунок 2.7 – Структура процесса создания базы данных для виртуальных тренажеров для ППП АСУП

Для представления процесса создания базы данных для виртуальных тренажеров для ППП АСУП в виде математической модели можно разложить процесс на 3 основные фазы: *Pre-Production*, *Production* и *Integration*. Каждая из этих фаз описывается с использованием функций, включающих ключевые элементы, показанные на схеме.

Этап *Pre-Production* включает анализ технического задания, выбор СУБД, проектирование структуры БД, включая построение диаграмм, определение атрибутов и нормализацию. Формула, описывающая этот этап:

$PreProd_{DB}$

$= f(Analysis_{BZ}, Data_{storage}, DBMS_{select}, Design_{ER}, Real_{type}, Attr_{def}, Scheme_{design}, Norm_{DB}).$

где $Analysis_{BZ}$ – анализ технического задания, $Data_{storage}$ – анализ хранимых данных, $DBMS_{select}$ – выбор СУБД, $Design_{ER}$ – построение диаграммы "сущность-связь" (ER-диаграммы), $Real_{type}$ – формирование отношений между сущностями (один к одному, один ко многим, многие ко многим), $Attr_{def}$ – определение атрибутов для каждой таблицы, $Scheme_{design}$ – составление схемы базы данных, $Norm_{DB}$ – нормализация базы данных.

На этапе *Production* выполняется разработка и наполнение базы данных. Это включает создание сущностей, формирование отношений между сущностями и создание запросов к СУБД. Формула для этого этапа:

$Prod_{DB} = f(Entity_{create}, Rel_{setup}, Query_{create}),$

где $Entity_{create}$ – создание сущностей, Rel_{setup} – создание отношений между сущностями, $Query_{create}$ – создание запросов к СУБД.

Этап интеграции (*Integration*) включает внедрение базы данных в виртуальный тренажер для ППП АСУП и завершение процесса разработки. Формула для этого этапа:

$Int_{DB} = Deploy_{DB} \rightarrow End_{Dev},$

где $Deploy_{DB}$ – интеграция базы данных в VR АСУП, End_{Dev} – завершение разработки и интеграции базы данных.

Объединяя этапы разработки и интеграции базы данных, можно выразить весь процесс создания и внедрения базы данных в виртуальный тренажер для ППП АСУП следующим образом:

$Dev_{DB} = PreProd_{DB} \rightarrow Prod_{DB} \rightarrow Int_{DB},$

с развернутой формулой:

$$Dev_{DB} = f(Analysis_{BZ}, Data_{storage}, DBMS_{select}, Design_{ER}, Real_{type}, Attr_{def}, Scheme_{design}, Norm_{DB}) \rightarrow f(Entity_{create}, Rel_{setup}, Query_{create}) \rightarrow (Deploy_{DB} + End_{Dev}).$$

Эта формула систематизирует процесс разработки и интеграции базы данных для тренажеров виртуальной реальности, начиная с анализа и проектирования и заканчивая разработкой, наполнением и интеграцией базы данных в виртуальный тренажер для ППП АСУП.

2.6 Разработка структуры процесса создания 3D-моделей для виртуальных тренажеров для ППП АСУП

Структура процесса создания 3D-моделей [74] для виртуальных тренажеров для ППП представляет два основных этапа *Pre-Production* и *Production*. На первом этапе *Pre-Production* осуществляется анализ предметной области и требований к проекту и ресурсам, определяются стилистики проекта и стратегии разработки трехмерных моделей, создаются скетчи основных моделей и локаций. Далее выполняется проработка референсов, поиск чертежей, сбор референсов на видео и формирование доски референсов. На втором этапе *Production* выполняется основная работа по созданию объектов согласно правилам оптимизации. Созданные модели, текстуры, анимацию интегрируют в движок и настраиваются (см. рис. 2.8).

Математическое описание процесса разработки 3D-моделей для виртуальных тренажеров начинается с блока *Pre-Production*, в котором анализ предметной области осуществляется следующим образом:

$$A_{domain} = \sum_{i=1}^n D_i \times W_i,$$

где D_i – отдельный аспект предметной области, W_i – вес значимости этого аспекта.

Анализ требований к проекту и имеющихся ресурсов определяется следующим образом:

$$A_{Req_Res} = \sum_{j=1}^m R_j \times U_j,$$

где R_j – требование проекта или ресурс, U_j – степень его использования.

Здесь операция «X» означает объединение входящих в них компонент, т.е. всех отдельных аспектов предметной области и вес значимости этого аспекта, а также требование проекта или ресурс и степень его использования.

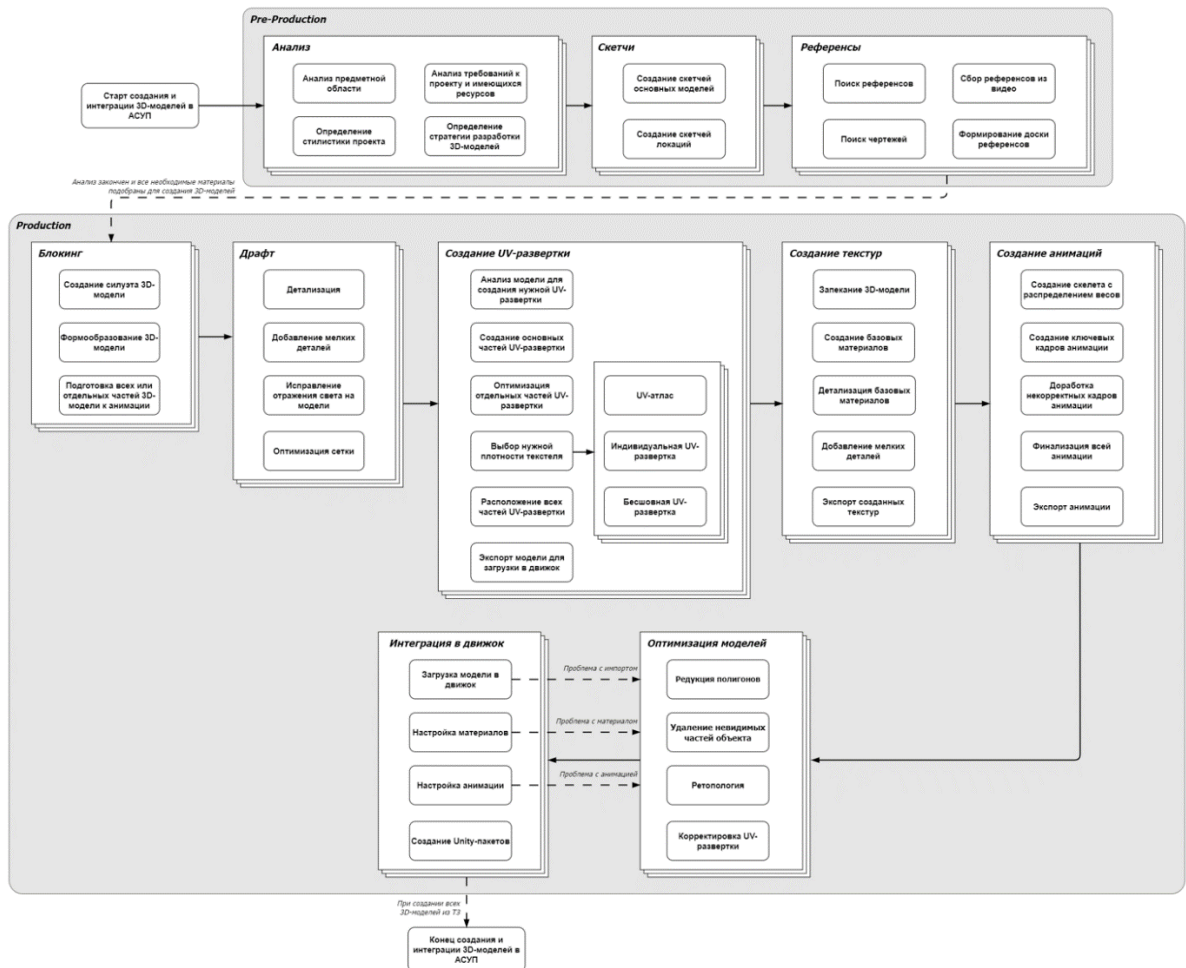


Рисунок 2.8 – Структура процесса создания 3D-моделей для виртуальных тренажеров для ППП АСУП

Определение и выбор стилистики проекта можно представить следующим образом:

$$Style_{proj} = f(S_1, S_2, \dots, S_k),$$

где S_k – параметры стилистики, выбираемые для проекта.

Определение стратегии разработки 3D-моделей.

Стратегия разработки 3D-моделей:

$$Strat_{3D} = g(A_{domain}, A_{Req_Res}, Style_{proj}),$$

где g – функция, объединяющая результаты предыдущих этапов для выбора оптимальной стратегии.

Процесс создания скетчей локации можно выразить следующим образом:

$$Sketch_{loc} = \sum_{i=1}^l S_i \times D_i,$$

где S_i – скетч определенной области, D_i – детализация заданной области.

Создание скетчей основных моделей:

$$Sketch_{models} = \sum_{j=1}^m M_j \times D_j,$$

где M_j – скетч модели, D_j – детализация модели.

Здесь операция « \times » означает объединение входящих в них компонент, т.е. всех скетчей определенной области и детализацией заданной области, а также скетчи модели и детализация модели.

Поиск референсов описывается следующим образом:

$$Ref_{search} = \sum_{i=1}^r (Ref_{drawings} \leftrightarrow Ref_{videos}),$$

где $Ref_{drawings}$ – количество найденных чертежей, Ref_{videos} – количество референсов, извлеченных из видео.

Далее происходит процесс формирования доски референсов:

$$Ref_{board} = \{Ref_1, Ref_2, \dots, Ref_r\},$$

где Ref_i – выбранные референсы.

Блок *Production* продолжается созданием силуэта моделей:

$$Silhouette_{3D} = \sum_{i=1}^n V_i \leftrightarrow S_i,$$

где V_i – объемная форма, S_i – силуэт.

Формообразование модели имеет следующий вид:

$$Shape_{3D} = \sum_{i=1}^n (Silhouette_{3D} \rightarrow F_i),$$

где F_i – формообразующие детали.

Далее происходит подготовка модели к анимации:

$$Anim_{prep} = \sum_{i=1}^n P_i,$$

где P_i – подготовленные части модели.

Процесс детализации описывается выражением:

$$Detailing = \sum_{i=1}^n D_i \leftrightarrow \sum_{j=1}^m L_j,$$

где D_i – основные детали, L_j – мелкие детали.

Исправление отображения света и оптимизация сетки имеет вид:

$$Light_{fix} = \sum_{i=1}^n L_i;$$

$$Opt_{mesh} = \sum_{j=1}^m M_j;$$

где L_i – параметры света, M_j – элементы сетки.

Процесс создания UV-развертки и её оптимизация описывается соотношением:

$$UV_{map} = \sum_{i=1}^n UV_i \leftrightarrow \sum_{j=1}^m O_j,$$

где UV_i – части UV-развертки, O_j – оптимизация.

Формирование и экспорт UV-Атласа описываются выражениями:

$$UV_{atlas} = \{UV_1, UV_2, \dots, UV_n\};$$

$$Export_{UV} = UV_{atlas}.$$

Процесс создания и запекания текстур, а также их детализации имеет вид:

$$Bake_{textures} = \sum_{i=1}^n T_i \leftrightarrow \sum_{j=1}^m D_j,$$

где T_i – базовые материалы, D_j – мелкие детали.

Процесс экспорта текстур описывается соотношением:

$$Export_{textures} = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}.$$

Процесс создания и доработки анимации имеет вид:

$$Anim_{creation} = \sum_{i=1}^n S_i \leftrightarrow \sum_{j=1}^m K_j,$$

где S_i – скелет, K_j – ключевые кадры.

Процесс экспорта анимации описывается выражением:

$$Export_{anim} = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}.$$

Блок *Production* продолжается загрузкой и настройкой модели в движке:

$$Engine_{integration} = \sum_{i=1}^n L_i \rightarrow M_i \rightarrow A_i \rightarrow U_i,$$

где L_i – загрузка модели, M_i – настройка материалов, A_i – настройка анимации, U_i – создание Unity-пакетов.

Процесс оптимизации готовых моделей описывается следующим образом:

$$Poly_{reduce} = \sum_{i=1}^n P_i,$$

где P_i – полигональная редукция.

Далее

$$Retopo_{correct} = \sum_{j=1}^m Ret_j \rightarrow UV_{correct},$$

где Ret_j – ретопология, $UV_{correct}$ – корректировка UV-развертки.

2.7 Разработка структуры процесса оптимизации программных компонент для виртуальных тренажеров для ППП АСУП

Структура процесса оптимизации программных компонент для виртуальных тренажеров для ППП АСУП представлена на рис. 2.9 и описывает следующее: в начале оптимизации системы осуществляется поиск проблемных участков тренажера. На первом этапе оптимизируется общая организация проекта: текстуры и материалы, трехмерные объекты [135, 136], освещение, анатомия объектов и освещения в проекте, окружение [137], аудио-сопровождение на основе использования световых зондов, зондов отражения и запекания света. Далее выполняется процесс настройки конвейера отрисовки: освещение, тени, качество отрисовки объектов проекта на основе использования качества цветового диапазона, сглаживания резкости и масштабирования. На следующем шаге реализуется простпроцессинг (Post-Processing), оптимизируется эффект отражения, цветокоррекция, настройка яркости теней и экспозиция. Далее настраивается окружение: отражения, множитель света, разрешение отражателей. Осуществляется анализ и профилирование показателей, устраняются недостатки, завершается процесс оптимизации тренажера [89].

Структура процесса оптимизации программных компонент для виртуальных тренажеров для ППП АСУП представляет комплексную оптимизацию элементов, которые составляют виртуальный тренажер, включая текстуры, материалы, освещение и окружение:

$$Opt_{project} = f(Tex_{opt}, Obj_{opt}, Light_{opt}, Bake_{light}, Probe_{light}, Probe_{refl}, Env_{opt}, Audio_{opt}),$$

где Tex_{opt} – оптимизация текстур и материалов, Obj_{opt} – оптимизация трехмерных объектов, $Light_{opt}$ – оптимизация локального и общего освещения, $Bake_{light}$ – запекание света, $Probe_{light}$ – использование световых зондов, $Probe_{refl}$ – использование зондов отражений, Env_{opt} – оптимизация окружения и ландшафта, $Audio_{opt}$ – оптимизация аудиосопровождения.

Программная оптимизация настройки конвейера отрисовки нацелена на настройку визуальных параметров проекта, включая освещение, качество отрисовки, цветовой диапазон и сглаживание:

$$Render_{pipeline} = f(Light_{setting}, Shadow_{setting}, RenderQ_{obj}, ColorQ_{range}, AA_{quality}, Sharp_{scale}),$$

где $Light_{setting}$ – настройки освещения, $Shadow_{setting}$ – настройки теней, $RenderQ_{obj}$ – качество отрисовки объектов, $ColorQ_{range}$ – качество цветового диапазона, $AA_{quality}$ – качество сглаживания (Anti-Aliasing), $Sharp_{scale}$ – качество резкости и масштабирования.

Пост-процессинг включает эффекты, такие как отражение, цветокоррекция и настройка экспозиции:

$$Post_{proc} = f(Blom_{effect}, CC_{setting}, Shadow_{bright}, Exposure_{control}),$$

где $Blom_{effect}$ – эффект отражения или *Bloom*, $CC_{setting}$ – цветокоррекция, $Shadow_{bright}$ – настройка яркости теней, $Exposure_{control}$ – управление экспозицией.

Блок настройки окружения охватывает параметры настройки отражений и освещения в окружении:

$$Env_{setting} = f(Refl_{setting}, Light_{mult}, Refl_{res}),$$

где $Refl_{setting}$ – настройки отражений, $Light_{mult}$ – множитель света, $Refl_{res}$ – разрешение отражений.

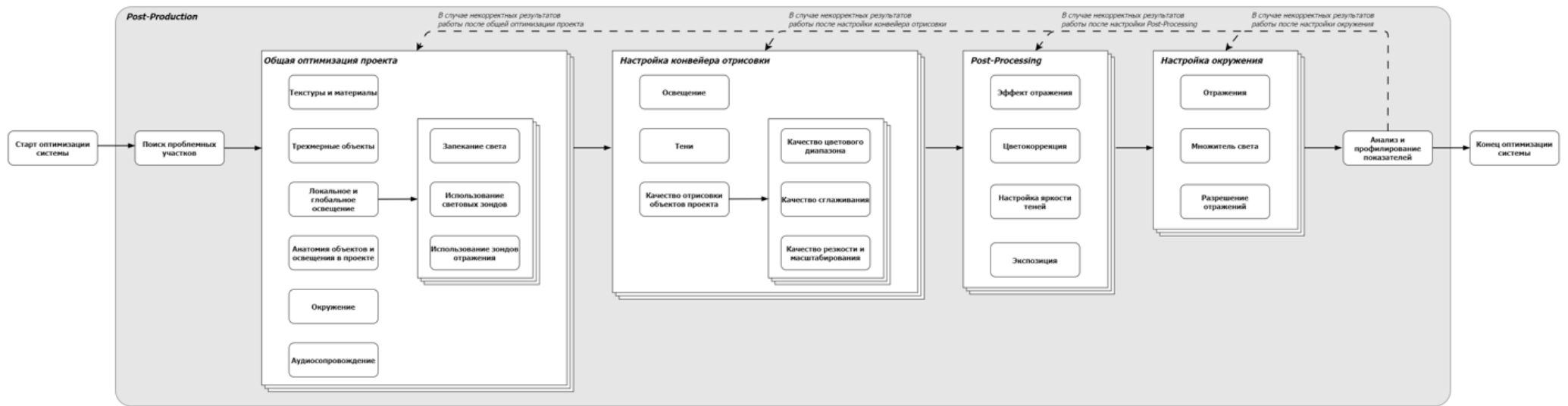


Рисунок 2.9 – Структура процесса оптимизации программных компонент для виртуальных тренажеров для ППП АСУП

Завершающим этапом является анализ и профилирование различных показателей производительности:

$$Analysis_{perf} = \sum_{i=1}^n (Perf_{metric_i} \times Weight_i),$$

где $Perf_{metric_i}$ – отдельные метрики производительности (например, FPS, загрузка GPU/CPU), $Weight_i$ – вес каждого показателя в зависимости от его значимости для общего проекта.

Итоговая формула описывает весь процесс оптимизации виртуальных тренажеров, обеспечивая баланс между визуальным качеством, производительностью и стабильностью работы. Общую оптимизацию программной и визуальной части можно представить формулой:

$$Opt_{VRsim} = Opt_{project} \rightarrow Render_{pipeline} \rightarrow Post_{proc} \rightarrow Env_{setting} \rightarrow Analysis_{perf},$$

где $Opt_{project}$ – общая оптимизация проекта, $Render_{pipeline}$ – настройки конвейера отрисовки, $Post_{proc}$ – пост-процессинг, $Env_{setting}$ – настройка окружения, $Analysis_{perf}$ – анализ и профилирование показателей.

2.8 Описание метода Кондорсе для поиска лучшей альтернативы при оценке качества визуализации тренажера

Качество погружения в виртуальную реальность можно определить ощущениями, чувствами пользователя. Для того, чтобы эффект погружения и работы в тренажере виртуальной реальности был максимально близок к реальному, по окончании разработки визуальной части происходит процесс постобработки 3D-сцены. Постобработка или постпроцессинг (postprocessing) процесс, при котором происходит обработка визуальной части после его рендеринга. Визуализация 3D-сцены будущего тренажера по-разному может быть оценена пользователями, так как оценка производится, исключительно опираясь на личное мнение и суждение, то она является субъективной. В связи с этим предлагается применять принцип Кондорсе для поиска лучшей альтернативы. Применения этого принципа позволит обработать

субъективные предпочтения экспертов на основе соответствующего метода оценки их голосования и обеспечит возможность выбора лучшего решения визуального эффекта.

Метод Кондорсе, также известный как метод сравнения попарных предпочтений, является математическим инструментом для принятия коллективных решений. Этот метод разработан французским математиком и философом Маркизом де Кондорсе в XVIII веке. Метод Кондорсе применяется для выбора варианта из нескольких альтернатив, основываясь на предпочтениях каждого участника (эксперта). При его использовании каждый эксперт выражает собственные предпочтения относительно каждой пары альтернатив. Затем проводится сравнение предпочтений для всех возможных пар альтернатив. Если все участники предпочитают один вариант другим, то этот вариант считается победителем, и решение считается принятым. Однако в реальных ситуациях часто возникают конфликты предпочтений, когда отсутствует «абсолютный победитель».

В таких случаях используется понятие "цикла", которое означает, что существует последовательность альтернатив в соответствии с предпочтениями $A > B$, $B > C$, $C > A$. Если в цикле отсутствует единственный победитель, это создает трудность принятия окончательного решения. Поэтому метод Кондорсе может быть неоднозначным при наличии циклов. Для преодоления этой трудность, существует несколько модификаций метода, которые позволяют определить "слабого победителя", т.е. альтернативу, которая предпочитается большинством участников в попарных сравнениях. Таким образом, метод Кондорсе является одним из подходов к коллективному принятию решений, его эффективность может зависеть от конкретной ситуации и характера предпочтений экспертов.

Для поиска лучшей альтернативы для принятия решений выбора лучшей визуализации тренажера виртуальной реальности рассмотрим предлагаемый принцип Кондорсе, который базируется на результатах ранжирования частных альтернатив, которых представим в виде: $a_1, a_2 \dots a_M$. Под частной альтернативой

будем понимать виды 3D-сцен после постпроцессинга. Предлагается в выборе поиска лучшей альтернативы участвуют N экспертов, варианты альтернатив представим в виде: $\mathcal{A}_1, \mathcal{A}_2 \dots \mathcal{A}_N$. Ранжирование альтернатив экспертами выполняется в виде: $\mathcal{A}_{1\dots N}$ – эксперты, $a_{1\dots M}$ – альтернативы.

Основные этапы определения лучшей альтернативы на основе принципа Кондорсе приводятся ниже.

0. Начало.

1. Эксперты ранжируют альтернативы $a_{ik}, i = 1, M; k = 1, M$, исходя из их оценки визуальной пробы приложения в порядке от лучшего решения к худшему (см. таб. 2. 1).

Таблица 2.1 – Ранжирование альтернатив экспертами

\mathcal{A}_1	...	\mathcal{A}_i	...	\mathcal{A}_N
a_{11}	...	a_{i1}	...	a_{n1}
...
a_{1k}	...	a_{ik}	...	a_{ik}
...
a_{1m}	...	a_{im}	...	a_{NM}

2. На следующем этапе определяются оценки $m_{ik}, i = 1, M; k = 1, M$, представляющие интерес альтернатив в парных предпочтениях (см. таб. 2.2).

Таблица 2.2 – Интерес альтернатив

m_{ik}	a_1	...	a_k	...	a_M
a_1	a_{11}	...	a_{1k}	...	a_{1M}
...
a_i	a_{i1}	...	a_{ik}	...	a_{iM}
...
a_M	a_{Mk}	...	a_{MM}

3. На заключительном этапе выполняются проверки по принципу Кондорсе, в которых лучшим решением определяется альтернатива a_i , если $m_{ik} \geq m_{ki}$ для всех k , не равных i (см. таб. 2.3), $i = 1, M; k = 1, M$.

4. Конец.

Псевдокод, собственно, процедуры определения лучшей альтернативы проводится ниже.

0. Начало

1. Задание начальных значений флага решений $n_i = 1, i = 1, M$, т.е. все альтернативы вначале считаются лучшими, M – количество альтернатив.

2. Внешний цикл по строкам матрицы парных предпочтений альтернатив, $i = 1, M$.

3. Внутренний цикл по столбцам матрицы парных предпочтений альтернатив, $j = 1, M$.

4. Проверка: если условие $i = j$ справедливо, то переход к п. 3, в противном случае – к п. 5.

5. Если $m_{ik} < m_{ki}$, то $n_i = 0$, т.к. условие Кондорсе нарушено, и переход к п. 7. В противном случае – переход к п. 6.

6. Конец цикла по j .

7. Конец цикла по i .

8. Вывод на печать результата решений $n_i = 1, i = 1, M$.

Определим лучшую альтернативу на примере 5 сцен с 5 экспертами, которые базируется на результатах ранжирования частных альтернатив, представленных в виде: a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 . Под частной альтернативой будем понимать виды 3D-сцен после постпроцессинга. Предлагается в выборе поиска лучшей альтернативы участвуют 5 экспертов, результаты экспертизы представим в виде: $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \mathcal{E}_4, \mathcal{E}_5$.

Экспертам предлагается ранжировать альтернативы, исходя из их оценки визуальной пробы приложения, в порядке от лучшего решения к худшему (см. таб. 2. 1).

Следующим шагом определяются оценки m_{ik} , представляющие интерес альтернатив в парных предпочтениях (см. таб. 2.3).

Таблица 2.3 – Интерес альтернатив

m_{ik}	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅
a ₁		0	0	2	0
a ₂	5		3	4	4
a ₃	5	2		5	4
a ₄	3	1	0		2
a ₅	5	1	1	3	

На следующем шаге выполняются проверки по принципу Кондорсе, где лучшим решением определяется альтернатива a_i , в случае $m_{ik} \geq m_{ki}$ для всех k , не равных i (см. таб. 2.4).

Таблица 2.4 – Интерес альтернатив после выполнения проверок

m_{ik}	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅
a ₁		0	0	2	0
a ₂	5		3	4	4
a ₃	5	2		5	4
a ₄	3	1	0		2
a ₅	5	1	1	3	

В случае с нашими элементами $K = 4$, $m_{24} \geq m_{42}$, $4 > 1$ – верно, следовательно, правилу Кондорсе соответствует альтернатива a_2 .

Таким образом лучшей альтернативой по принципу Кондорсе является a_2 .

Для сравнения рассмотрим мажоритарную систему голосования при оценке эффективности визуализации. Мажоритарная система голосования, также известная как относительное большинство или простое большинство, представляет систему, в которой альтернатива, получившая больше голосов, становится победителем в выборах. Это означает, что необходимо, чтобы альтернатива получила больше голосов, чем любая другая, однако не обязательно больше половины голосов. Примеры мажоритарных систем включают первого проходящего по кругу: выигрывает альтернатива с наибольшим числом голосов в одном туре, двухраундовую систему: если ни одна альтернатива не получает большинства голосов, то проводится второй

тур с участием двух альтернатив с наибольшим числом голосов. Однако мажоритарные системы также критикуются за то, что они могут привести к непропорциональному представлению интересов, т.к. альтернатива может выиграть, имея всего лишь относительное большинство, и не учитывают голоса экспертов (избирателей), поддерживающих другие решения.

Оценка эффективности визуализации разработанного виртуального тренажера подготовки операторов металлорежущих станков в ППП АСУП методом мажоритарной системы: визуализация a_2 получила 3 голоса, визуализация a_3 получила 2 голоса. Таким образом, большинством голосов лучшая визуализация – a_2 .

Мажоритарная система голосования и метод Кондорсе представляют два разных подхода к организации выборов, основное отличие между ними заключается в способе определения лучшей альтернативы. Мажоритарная система голосования – это система, в которой альтернатива, получившая наибольшее число голосов, становится победителем. Победитель не обязан получить абсолютное большинство голосов, достаточно относительного большинства. Примеры включают первого проходящего по кругу и двухраундовую систему. Метод Кондорсе – это метод, в котором сравниваются все возможные пары альтернатив, затем выбирается альтернатива, которая выигрывает в каждой из этих пар. Если такая альтернатива существует, то она считается победителем. Метод Кондорсе направлен на устранение проблем, связанных с циклическими предпочтениями экспертов. Основное отличие заключается в том, как определяется лучшая альтернатива. В мажоритарной системе голосования – это альтернатива с наибольшим числом голосов, а в методе Кондорсе победитель – это альтернатива, которая побеждает в каждой индивидуальной паре сравнения.

Кроме метода Кондорсе и его вариаций, существует множество других методик голосования, каждая из которых имеет уникальные особенности,

преимущества и недостатки. Ниже приводится краткая характеристика ряда альтернативных методик голосования:

1. Первый победитель получает всё (First-Past-The-Post, FPTP)

Согласно методу голосования эксперты отдают голос за одну альтернативу, и победителем становится альтернатива, получившая наибольшее количество голосов. Основным недостатком этой системы в том, что она может приводить к формированию двухпартийной системы и не отражает всего спектра мнений экспертов.

2. Передовое голосование (Instant-Runoff Voting, IRV)

Также известно, как альтернативное голосование. Эксперты ранжируют альтернативы по собственному предпочтению. Если ни одна из них не получает абсолютного большинства в первом раунде, то альтернатива с наименьшим количеством голосов исключается, а голоса перераспределяются согласно вторым предпочтениям экспертов. Процесс повторяется, пока одна альтернатива не получит большинство.

3. Одобрительное голосование (Approval Voting)

Эксперты могут голосовать за столько альтернатив, сколько они считают приемлемыми, не ранжируя их. Побеждает альтернатива, получившая наибольшее количество "одобрений". Этот метод позволяет лучше выразить предпочтения экспертов по сравнению с FPTP.

4. Оценочное голосование (Score Voting)

Эксперты оценивают каждую альтернативу по шкале (например, от 0 до 10). Голоса подсчитываются как средние оценки, и побеждает альтернатива с наивысшим средним баллом. Это позволяет экспертам выразить степень поддержки или неодобрения каждой альтернативы.

5. Метод Шульце

Это ранжированный метод голосования, основанный на победе в парных сравнениях, похож на метод Кондорсе, однако с особыми правилами разрешения циклов предпочтения. Он определяет победителя как

альтернативу, которая может победить каждую другую в парном сравнении по наибольшему количеству голосов.

6. Метод Борда

Эксперты ранжируют альтернативы, каждой присваиваются очки в зависимости от позиции в ранжировании (например, 1 место = 3 очка, 2 место = 2 очка, 3 место = 1 очко). Побеждает альтернатива с наибольшим общим количеством очков. Этот метод стимулирует экспертов выражать истинные предпочтения.

Каждый из этих методов голосования имеет особенности, может быть, в определенной степени, подходящим в зависимости от контекста экспертизы и желаемых результатов. В таблице 2.5 приведено сравнение различных методик голосования с методикой Кондорсе.

Таблица 2.5 – Характеристика методов голосования

№	Метод голосования	Описание	Преимущества	Недостатки
1.	Метод Кондорсе	Сравнивает каждую альтернативу с каждым в парных противостояниях; побеждает альтернатива с наибольшим количеством победных пар	Выбирает альтернативу с наибольшим общим предпочтением экспертов	Может привести к парадоксам, когда не существует одного победителя
2.	Первый победитель получает всё (FPTP)	Побеждает альтернатива, получившая наибольшее количество голосов	Прост в реализации; поддерживает стабильные двухвариантные системы	Не отражает всего спектра мнений экспертов
3.	Передовое голосование (IRV)	Эксперты ранжируют альтернативы; процесс повторяется, пока одна альтернатива не получит большинство	Позволяет экспертам выразить свои предпочтения более точно	Может быть сложен для понимания; может быть подвержен тактической экспертизе

4.	Одобрительное голосование	Эксперты голосуют "за" или "против" каждой альтернативы; побеждает альтернатива, получившая наибольшее количество "одобрений"	Прост в реализации; позволяет экспертам выразить собственные предпочтения более гибко	Не дает точной информации о предпочтениях экспертов
5.	Оценочное голосование	Эксперты оценивают альтернативы по шкале; побеждает альтернатива с наибольшим средним баллом	Позволяет экспертам выразить степень своей поддержки более точно	Может требовать более сложного подсчета голосов
6.	Метод Шульце	Определяет победителя как альтернативу, которая может победить каждую другую в парном сравнении по наибольшему количеству голосов	Устраняет парадоксы Кондорсе; позволяет экспертам выразить собственные предпочтения более точно	Может быть сложен для понимания; требует более сложных вычислений
7.	Метод Борда	Эксперты ранжируют альтернативы; побеждает альтернатива с наибольшим общим количеством очков	Стимулирует экспертов выражать собственные, истинные предпочтения	Может быть подвержен манипуляциям; не всегда отражает предпочтения экспертов

Таким образом, оценка эффективности визуализации разработанного тренажера виртуальной реальности подготовки операторов металлорежущих станков в ППП АСУП методом Кондорсе обеспечивает возможность выбора лучшего решения для обеспечения визуального эффекта учитывая все возможные предпочтения экспертов.

Заключение по второй главе

В главе 2 описывается предложенный метод проектирования, построения и реализации виртуальных тренажеров ППП АСУП. Его отличительной особенностью является этап формирования предложения заказчику, который основывается на функциональных видеороликах, полученных с производства, а также способе формализации процесса проектирования и разработки в виде структур. Структура процесса создания программных и визуальных модулей

виртуальных тренажеров представляет совокупность структур процессов: создания программных модулей, создания базы данных, создания 3D-моделей и процесса оптимизации программных компонент.

Структура процесса создания программных модулей включает формальное представление следующих компонент: анализ предметной области, определение и выбор критерий архитектуры программного обеспечения, разработка и иллюстрация архитектуры программного обеспечения в виде диаграмм классов, прецедентов, деятельности, контекстной и функциональной. Также предусмотрены следующие модули: разработка программного обеспечения; определение императивной и декларативной парадигм, паттернов разработки, стилей, систем контроля версий, составления проектной документации, а также тестирование, развертывание, введение в эксплуатацию и обслуживание.

Структура процесса создания базы данных включает формальное представление следующих компонент: анализ предметной области, технического задания, хранимых данных, определение системы управления базы данных (СУБД), проектирование и разработка базы данных с учетом всех связей и сущностей, интеграцию и реализацию.

Структура процесса создания 3D-моделей включает формальное представление двух основных этапов *Pre-Production* и *Production*. На первом этапе *Pre-Production* осуществляется анализ предметной области и требований к проекту и ресурсам, определяются стилистики проекта и стратегии разработки трехмерных моделей, создаются скетчи основных моделей и локаций. Далее выполняется проработка референсов, поиск чертежей, сбор референсов на видео и формирование доски референсов. На втором этапе *Production* выполняется основная работа по созданию объектов в соответствии с правилами оптимизации. Созданные модели, текстуры, анимацию интегрируют в движок и настраиваются.

Структура процесса оптимизации программных компонент включает формальное представление следующего процесса: в начале оптимизации

системы осуществляется поиск проблемных участков тренажера. На первом этапе оптимизируется общая организация проекта: текстуры и материалы, трехмерные объекты, освещение, анатомия объектов и освещения в проекте, окружение, аудио сопровождение на основе использования световых зондов, зондов отражения и запекания света. Далее выполняется процесс настройки конвейера отрисовки: освещение, тени, качество отрисовки объектов проекта на основе использования качества цветового диапазона, сглаживания резкости и масштабирования. На следующем шаге реализуется постпроцессинг (*Post-Processing*), оптимизируется эффект отражения, цветокоррекция, настройка яркости теней и экспозиция. Далее настраивается окружение: отражения, множитель света, разрешение отражателей. Осуществляется анализ и профилирование показателей, устраняются недочеты, завершается процесс оптимизации виртуального тренажера.

Предложенная онтологическая модель в виде семантической сети ППП АСУП отражает процесс подготовки персонала. Этот процесс включает структурирование информации о компетенциях, навыках, профессиональных знаниях, обучающих материалах и методиках обучения, используемых в подсистеме подготовки персонала.

Предложенный метод оценки эффективности визуализации разработанного виртуального тренажера подготовки операторов токарной и фрезерной обработки ППП АСУП использует принцип Кондорсе для поиска лучшей альтернативы. Его применение позволяет снизить субъективность общего оценивания и обеспечивает возможность выбора лучшего решения для обеспечения визуального эффекта.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ПОДСИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

В настоящей главе описаны предлагаемый метод разработки виртуального тренажера ППП для АСУП, предложенная архитектура симулятора: функциональное обеспечение, структура базы данных, диаграмма классов, диаграмма нотаций IDEF0, диаграмма деятельности, диаграмма прецедентов (UML). Разработаны исполняющие алгоритмы и визуальные компоненты виртуального тренажера для АСУП. Предложенный метод необходим для синтеза архитектуры для виртуальных тренажеров ППП АСУП на основе системной математической модели как элемента системного анализа, которая создается с использованием функционального обеспечения, структуры базы данных, диаграммы классов, диаграммы нотаций IDEF0, диаграммы деятельности, диаграммы прецедентов (UML), разработанных для алгоритмов и визуальных компонентов.

3.1 Разработка функциональных требований к тренажеру виртуальной реальности по работе специалистов на токарных и фрезерных станках

Разработка функциональных требований проводилась согласно методу проектирования, построения, тестирования и реализации виртуальных тренажеров для ППП АСУП, описанном в разделе 2.2 (см. рис. 2.4), а также процессу создания программных и визуальных модулей виртуальных тренажеров для ППП АСУП, описанной в разделе 2.3 (см. рис. 2.5). Функциональные требования являются ключевым элементом разработки виртуального тренажера для специалистов, работающих на токарных и фрезерных станках [11, 12]. Они обеспечивают структурированный подход к созданию продукта, гарантируя, что все аспекты тренажера, от его интерфейса

до симуляции работы оборудования, будут соответствовать требованиям пользователей и стандартам качества. Четко определенные требования позволяют разработчикам создать функционально полную, надежную и удобную систему, которая обеспечит эффективное обучение операторов. Кроме этого, функциональные требования позволяют задать параметры производительности и безопасности тренажера, обеспечивая оптимальную работу на различных устройствах виртуальной реальности и защиту данных. С их использованием можно минимизировать риски и ошибки в процессе разработки, что способствует успешной реализации проекта и повышению эффективности обучения [66, 67, 69].

1. Общие требования

Совместимость: тренажер должен поддерживать устройства виртуальной реальности, работающие с платформой SteamVR, включая гарнитуры HTC Vive и Oculus. Модульность: тренажер должен поддерживать возможность добавления и удаления модулей для различных типов станков и процессов. Масштабируемость: тренажер должен быть разработан с возможностью добавления новых функциональных модулей и сценариев без необходимости полной переработки существующей системы. Интерфейс пользователя, должен быть интуитивно понятным, с минимальным использованием текста и заменой его на визуальные иконки [82, 86].

2. Функциональные модули

Меню настроек, выбор режима перемещения (телепорт или плавное). Регулировка громкости звука и яркости освещения. Доступ к режимам «обучение» и «обычный». Открытие папки с сохраненными деталями. В тренажере должна быть возможность надевать средства индивидуальной защиты (очки, наушники) перед началом работы.

2.1. Работа на токарном станке. Настройка параметров заготовки (длина, диаметр, погружение в шпиндель). Управление вращением шпинделя, настройка скорости и передачи. Перемещение суппорта вручную и автоматически, настройка скорости суппорта. Экстренное торможение и

полное выключение станка. Возможность помещения резца в суппорт и выполнения внешней обработки детали. Вывод и округление координат суппорта, задание собственных координат.

2.2. Работа на фрезерном станке. Настройка параметров заготовки и фрезы, выбор между торцевой и концевой фрезой. Управление скоростью вращения и перемещением фрезы. Блокировка двери перед началом работы. Подача жидкости для охлаждения. Вывод координат фрезы, обнуление и задание собственных координат. Возможность перемещения фрезы и вращения стола с заготовкой.

3. Обработка деталей. Детали должны изменять форму в зависимости от взаимодействия с инструментами (резец, фреза). При попадании руки в опасную зону или контакте с инструментами должны выводиться предупреждения. Нештатные ситуации описаны в п. 3.3.

4. Визуализация и производительность. Частота кадров, тренажер должен обеспечивать работу с частотой 90 кадров в секунду на целевом оборудовании, например, NVIDIA GeForce GTX 1060/AMD Radeon RX 480. Качество графики, виртуальная среда должна быть визуально достоверной и включать реалистичные световые эффекты, текстуры и анимации. Оптимизация производительности, минимизация нагрузки на систему при сохранении высокого уровня визуального качества.

5. Сохранение и вывод данных. После обработки детали должны сохраняться на виртуальной миллиметровой бумаге с 6 сторон и экспортироваться в заданную папку. Хранение информации о пользователях, результатах выполнения заданий, времени работы в тренажере и других данных.

6. Режим обучения. Подсказки, текстовые и визуальные подсказки должны помогать пользователю осваивать функционал тренажера. Пользователю должно предлагаться следовать пошаговым инструкциям для выполнения задач на станках.

7. Безопасность и тестирование. Тренажер должен автоматически выявлять и сообщать о возможных ошибках при настройке оборудования и

работе на станках. Тренажер должен быть протестирован на корректность работы всех модулей, включая обработку деталей, сохранение данных и безопасность пользователя.

3.2 Разработка архитектуры виртуального тренажера ППП АСУП

Разработка архитектуры виртуального тренажера ППП АСУП проводилась согласно процессу создания программных модулей виртуальных тренажеров для ППП АСУП, описанному в разделе 2.4 (см. рис. 2.6). Предложенный метод необходим для синтеза архитектуры для виртуальных тренажеров ППП АСУП на основе системной математической модели как элемента системного анализа, которая создается с использованием функционального обеспечения, структуры базы данных, диаграммы классов, диаграммы нотаций IDEF0, диаграммы деятельности, диаграммы прецедентов (UML), разработанных алгоритмов и визуальных компонентов. Такой метод позволяет повысить эффективность разработки виртуальных тренажеров ППП АСУП, т.е. уменьшить финансовые и временные затраты. Предлагаемая архитектура виртуального тренажера ППП АСУП представлена на рис. 3.1.

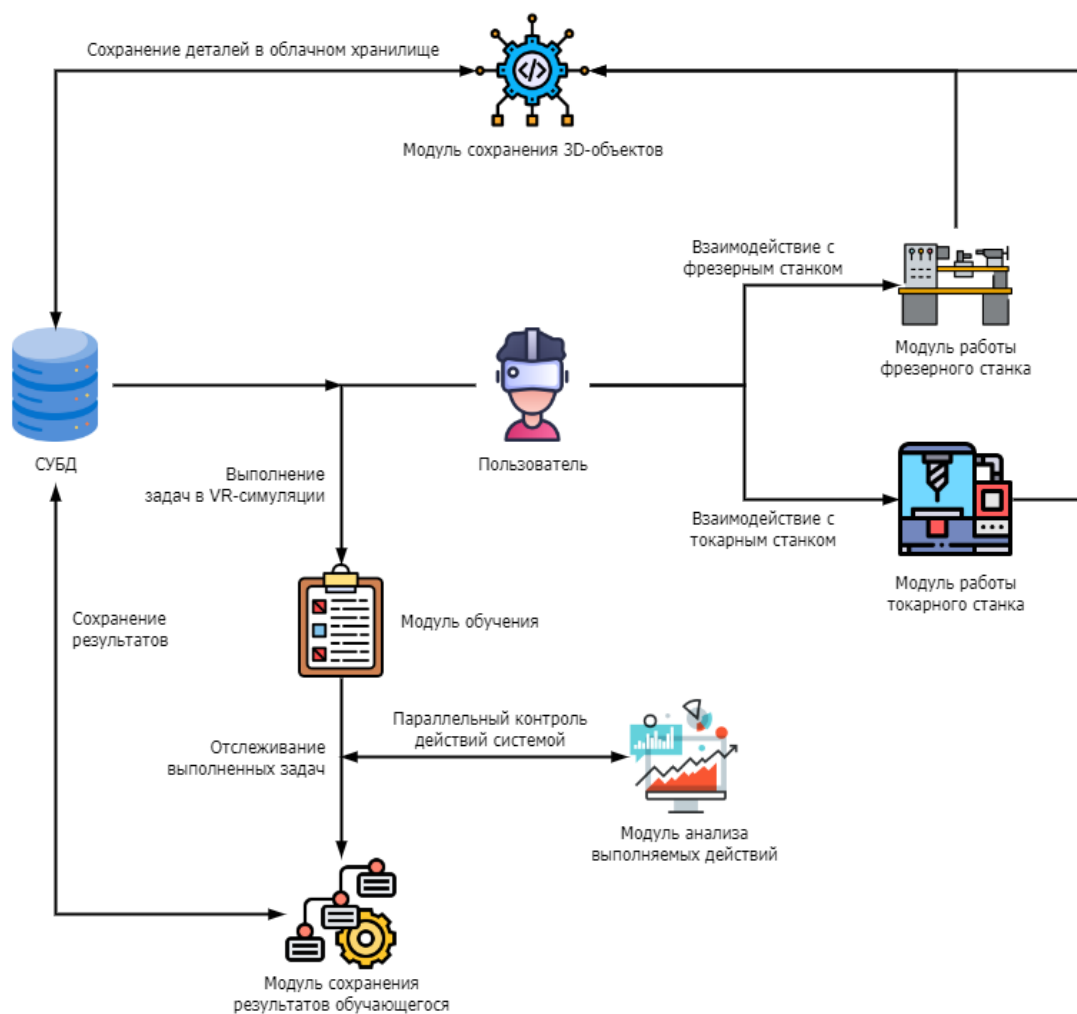


Рисунок 3.1 – Архитектура тренажера виртуальной реальности ППП АСУП

Пользователь имеет возможность выбрать модули по работе с оборудованием или обратиться к режиму обучения. В зависимости от выбора включаются модули по сохранению 3D-объектов, других результатов обучения, модуль анализа выполняемых действий. Информация хранится в базе данных (БД) и управляется системой управления базой данных (СУБД).

3.3 Разработка функционального обеспечения виртуального тренажера ППП АСУП

Разработка функционального обеспечения виртуального тренажера ППП АСУП проводилась согласно структуре процессу создания программных модулей виртуальных тренажеров для ППП АСУП, описанной в разделе 2.4

(см. рис. 2.6). Предлагаемая функциональная структура виртуального тренажера ППП АСУП изображена на рис. 3.3.

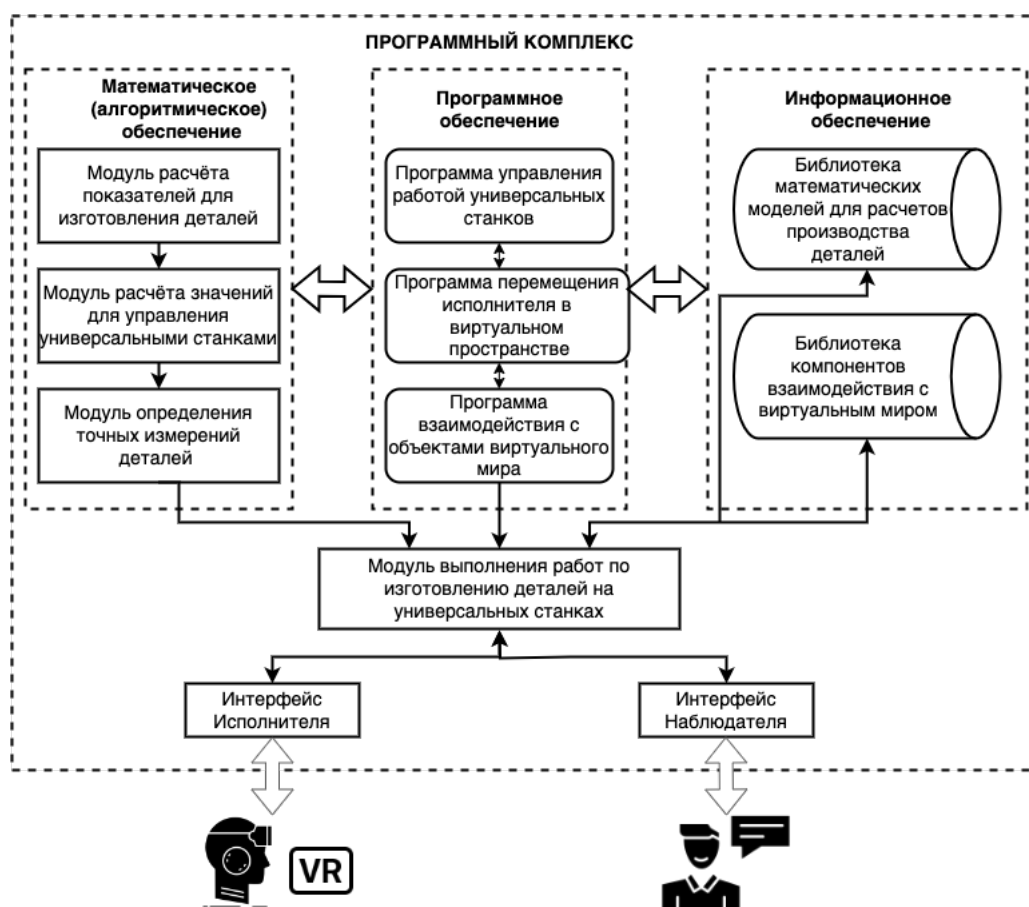


Рисунок 3.3 – Функциональная структура виртуального тренажера ППП АСУП

В соответствии с предложенной функциональной структурой программный комплекс содержит следующие виды обеспечения:

- математическое;
- программное;
- информационное.

Математическое обеспечение включает модули для вычисления показателей продукции, значений характеристик для управления оборудованием.

Программное обеспечение включает программные модули для управления работой оборудования, перемещения исполнителя в виртуальном пространстве, взаимодействия с объектами реального мира.

Информационное обеспечение содержит библиотеки математических моделей для осуществления вычислений для производства деталей, а также компонентов взаимодействия с виртуальным миром.

3.4 Построение диаграммы прецедентов

Построение диаграммы прецедентов виртуального тренажера ППП АСУП проводилось согласно процессу создания программных модулей виртуальных тренажеров для ППП АСУП, описанному в разделе 2.4 (см. рис. 2.6). Функциональная часть системы виртуальной реальности на оборудовании иллюстрируется на диаграмме прецедентов (см. рис. 3.4).

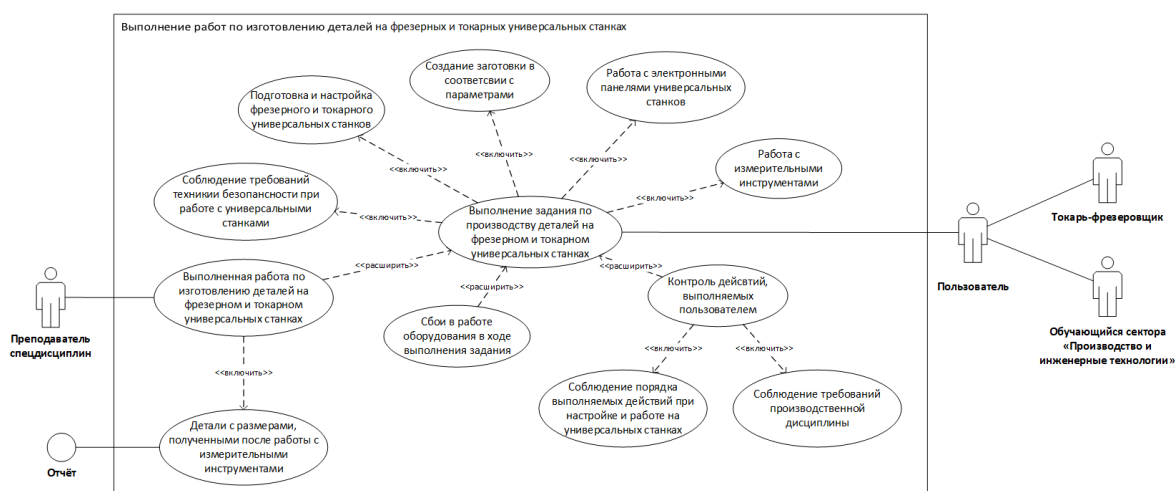


Рисунок 3.4 – Диаграмма прецедентов

Пользователь выполняет задания по производству деталей с использованием оборудования: работает с измерительными устройствами, электронными панелями станков, имеет возможность создать продукцию в соответствии с заданными параметрами, а также, при необходимости, занимается наладкой и настройкой. Действия пользователя должны выполняться с соблюдением требований техники безопасности, охраны труда и производственной дисциплины. Контроль действий осуществляется системой и преподавателями, экспертами наблюдателями. Данные о пользователе и результаты его работы сохраняются.

3.5 Построение контекстной диаграммы

Построение контекстной диаграммы виртуального тренажера ППП АСУП проводилось согласно процессу создания программных модулей виртуальных тренажеров для ППП АСУП, описанному в разделе 2.4 (см. рис. 2.6). На рис. 3.5 представлена контекстная диаграмма IDEF0. Она описывает взаимодействие системы с другими системами, пользователями и внешними источниками данных. Ресурсами, которые выполняют работу, являются преподаватели специальных дисциплин, специалисты производства, работающие на оборудовании: на фрезерных и токарных станках. Входными переменными являются рассматриваемое оборудование, материалы для производства, а также, собственно, действия обучающихся по работе на оборудовании. Мониторинг и управление производством на оборудовании осуществляется специальной системой, контролирующей процесс работы на оборудовании по специальным критериям, основываясь на инструкции по правилам работы.

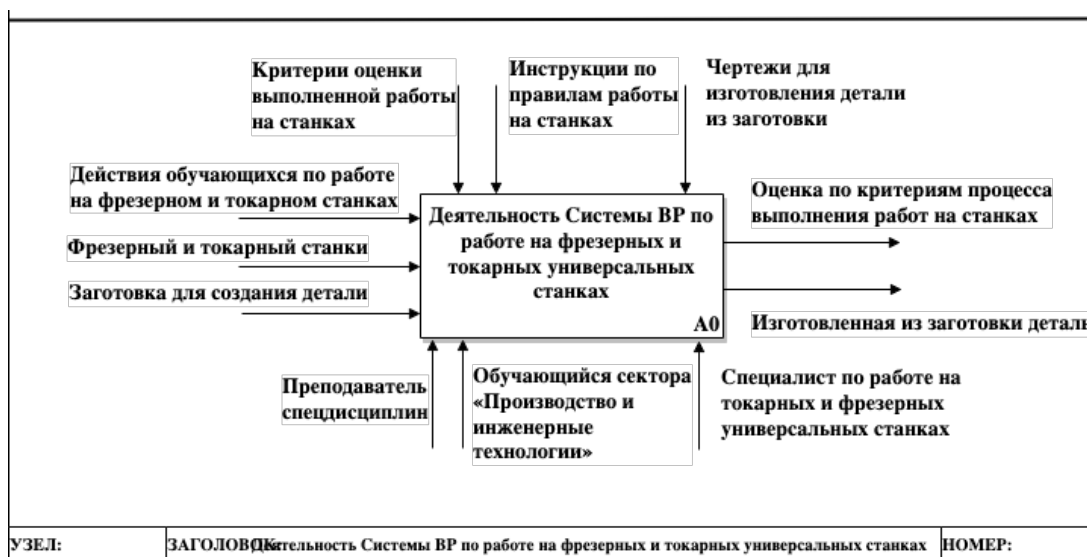


Рисунок 3.5 – Контекстная диаграмма IDEF0 функционирования виртуального тренажера для фрезерных и токарных станков

Эти действия обеспечиваются производством на оборудовании с оценками качества процесса выполнения работы по заданным критериям. На выходе – продукция и оценка навыков работы на оборудовании в соответствии с критериями виртуальной среды.

Широко применяется для документирования и визуализации, а также для конструирования на основе прямого или обратного проектирования.

3.6 Построение диаграммы деятельности

Построение диаграммы деятельности виртуального тренажера ППП АСУП проводилось согласно процессу создания программных модулей виртуальных тренажеров для ППП АСУП, описанному в разделе 2.4 (см. рис. 2.6). На рис. 3.6 показана диаграмма деятельности – это графическое представление процесса или процедуры, которое состоит из узлов и дуг, соединяющих узлы.

Она описывает последовательность действий, необходимых для выполнения определенной задачи.

Диаграммы деятельности широко используются в моделировании бизнес-процессов и системных процессов. Основной функционал системы заключается в реализации двух режимов: обучение процессам работы на универсальных станках и выполнению производственных задач. Система, в свою очередь, осуществляет контроль выполнения заданий Исполнителем от оборудования до изготовления продукции. При некорректных действиях Исполнителя Система выводит соответствующие уведомления об ошибках. В дальнейшем Наблюдатель может просмотреть выполненную работу и осуществить определенные действия, для оценки качества выполненной работы. Затем формируется отчет и выставляется оценка по выполненной работе. Демонстрация последовательности состояний и действий системы с описанием основных функций системы виртуальной реальности по работе на станках изображена в диаграмме деятельности.

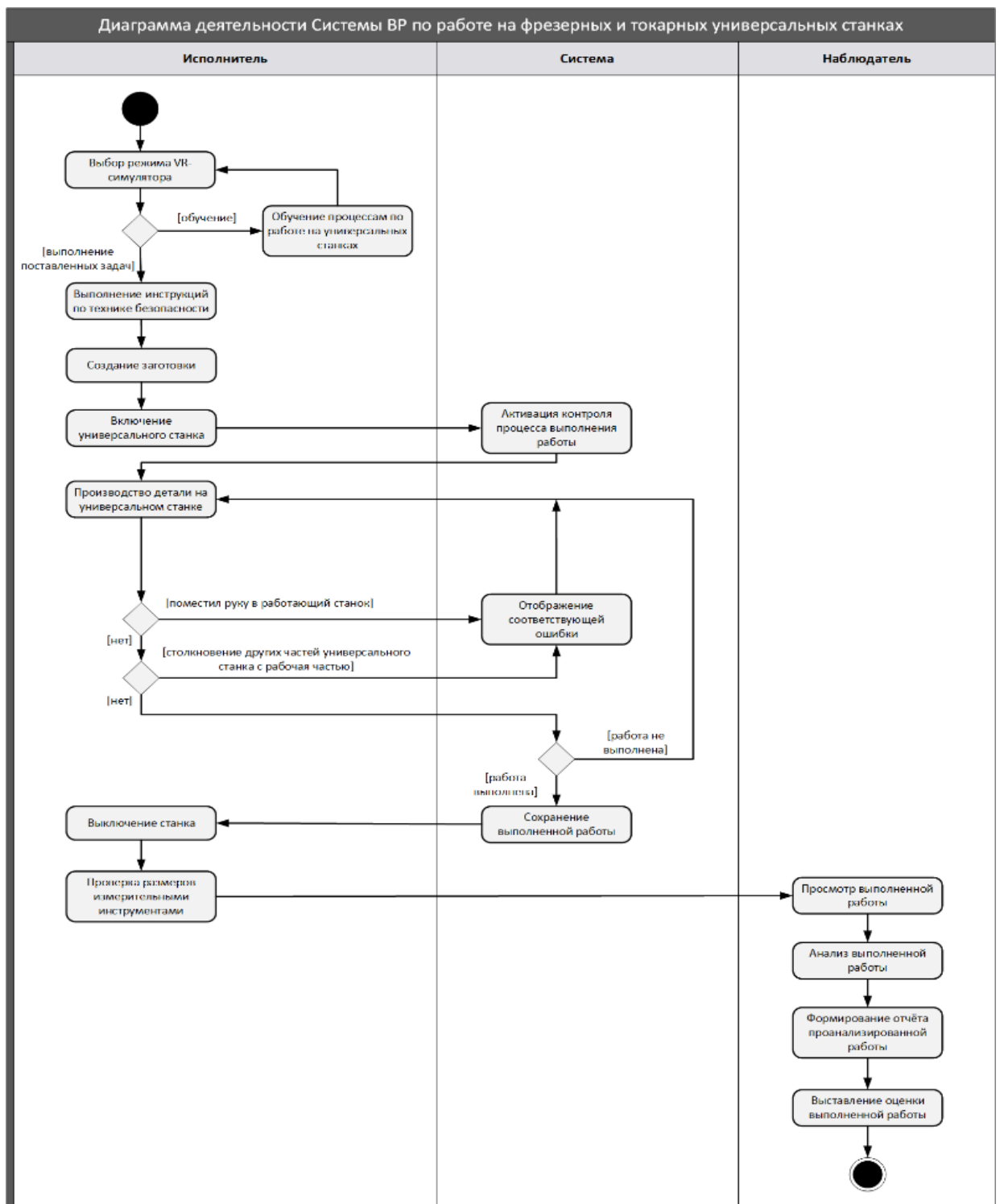


Рисунок 3.6 – Диаграмма деятельности виртуального тренажера по работе на фрезерных и токарных станках

В процессе обучения с использованием виртуальных тренажеров также обрабатываются нештатные ситуации. Основные представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Характеристика нештатных ситуаций

№	Наименование нештатной ситуации	Описание	Решение
1.	Перегрузка режущего инструмента	Использование неправильной скорости резания, недостаточная охлаждение или неправильная глубина резания может привести к перегрузке режущего инструмента и его поломке.	Изменение параметров резания, увеличение охлаждения, замена изношенного инструмента.
2.	Защемление материала или инструмента	Неправильная установка заготовки или инструмента может привести к их защемлению, что может вызвать повреждение станка или травму оператора.	Остановка станка, освобождение зажатой части, проверка и исправление причин зажатия.
3.	Образование острой стружки	Неправильная скорость подачи или форма режущего инструмента может привести к образованию острой стружки, которая может представлять опасность при контакте с оператором.	Изменение параметров подачи, замена режущего инструмента.
4.	Пожар или взрыв	Неправильное обращение с легковоспламеняющимися жидкостями или материалами вблизи станка может привести к пожару или взрыву.	Обеспечение правильного хранения и обращения с опасными материалами, использование средств пожаротушения.
5.	Отслоение деталей станка	Износ или неправильная установка деталей станка могут привести к их отслоению во время работы, что может вызвать аварию или травму оператора.	Периодическая проверка и поддержание надежности крепления деталей, замена изношенных деталей.
6.	Неправильное позиционирование	Сбои в системе управления или ошибки оператора могут привести к неправильному позиционированию инструмента или заготовки, что может вызвать повреждение оборудования или деталей.	Проверка и коррекция программы управления, повторное позиционирование инструмента или заготовки.
7.	Перегрев инструмента или детали	Недостаточное охлаждение или чрезмерная скорость резания могут вызвать перегрев инструмента или обрабатываемой детали, что может привести к их повреждению или деформации.	Повышение охлаждения, снижение скорости резания, остановка станка для охлаждения.
8.	Электрические аварии	Короткое замыкание, перегрузка или другие электрические неисправности могут привести к возгоранию, поражению током	Обеспечение регулярного технического обслуживания электрооборудования,

		или другим электрическим авариям.	использование защитных устройств.
9.	Отказ системы управления	Сбои в системе управления станка могут вызвать его непредвиденное движение или потерю контроля над процессом обработки.	Перезагрузка системы управления, проверка и исправление причин сбоя.
10.	Потеря контроля над процессом	Неправильная настройка станка, недостаточная квалификация оператора или другие ошибки могут привести к потере контроля над процессом и непредсказуемым последствиям.	Проведение дополнительного обучения операторов, разработка и внедрение процедур контроля качества.
11.	Повреждение привода	Неправильное обращение с приводными механизмами или их износ могут привести к их повреждению, что может остановить работу станка и вызвать аварию.	Проверка и обслуживание приводных механизмов, замена изношенных деталей.
12.	Отравление	Неправильная вентиляция и недостаточная охрана труда могут вызвать отравление оператора газами, паром или токсичными испарениями.	Обеспечение хорошей вентиляции рабочей зоны, использование средств индивидуальной защиты.
13.	Потеря равновесия станка	Неправильная установка или расположение станка, а также несоответствие его основания требованиям безопасности может привести к его потере равновесия и нестабильной работе.	Переналадка и переустановка станка в соответствии с требованиями производителя, использование средств крепления.
14.	Потеря сборки или смещение деталей	Во время работы могут произойти сбои в системе крепления или неправильная установка деталей, что может привести к потере сборки или их смещению.	Периодическая проверка системы крепления, повторная установка деталей.
15.	Потеря качества обработки	Неправильная настройка станка, износ режущего инструмента или дефекты в материале могут привести к потере качества обработки детали.	Проверка и коррекция параметров обработки, замена изношенного инструмента, проверка материала перед обработкой.

Блок-схема сценария обучения на примере токарного станка представлена на рисунке 3.7.

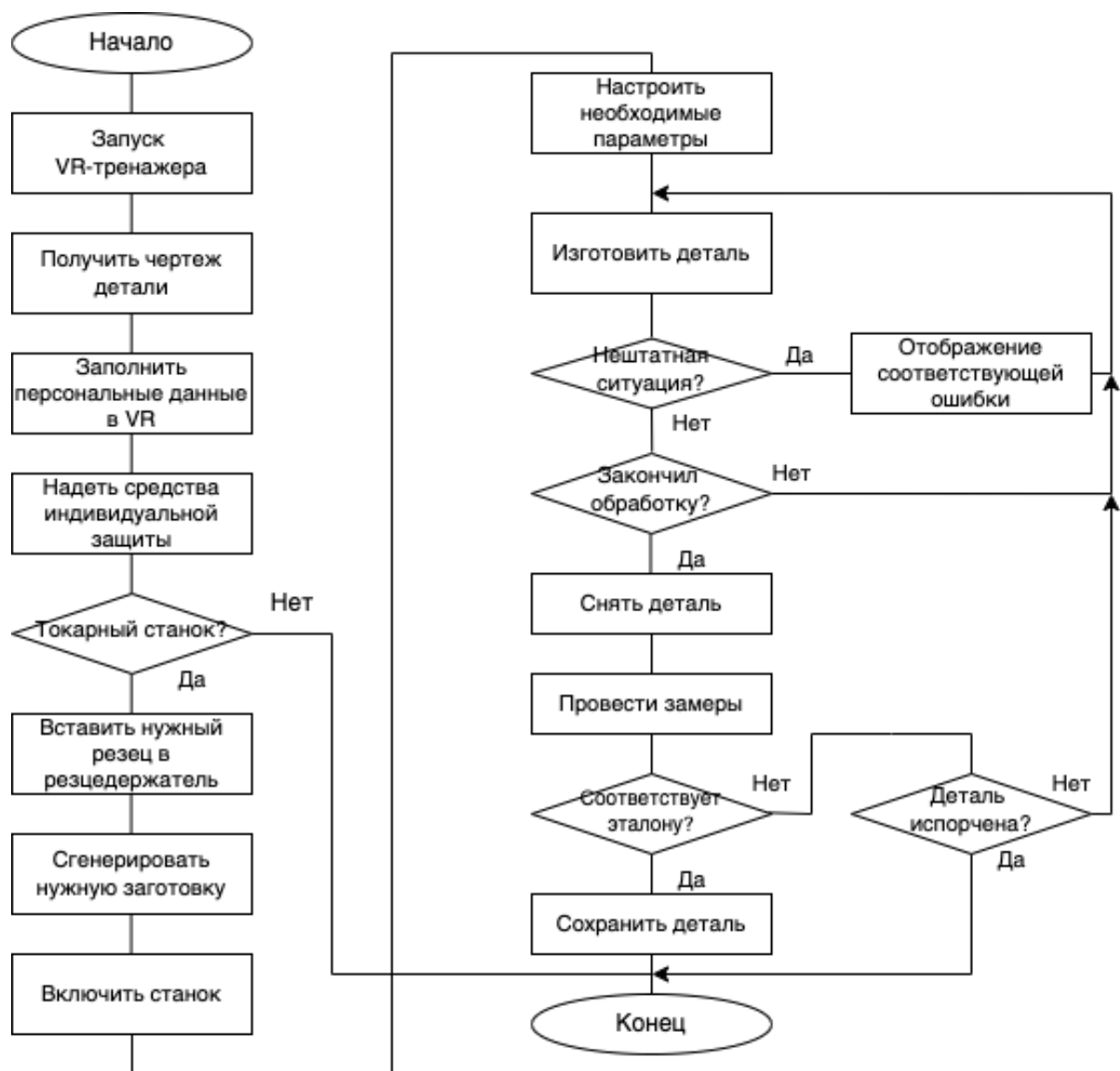


Рисунок 3.7 – Сценарий обучения на токарном станке с использованием виртуального тренажера

В процессе обучения также генерируются нештатные ситуации.

В целом, формирование практико-ориентированных умений управления металлорежущими станками с использованием виртуальных тренажеров осуществляется согласно схеме, представленной на рис. 3.8.



Рисунок 3.8. Структурная схема формирования практико-ориентированных умений работе на металлорежущих станках на основе виртуальных тренажеров

3.7 Разработка графического окружения

Разработка графического окружения проводилась согласно процессу создания 3D-моделей для виртуальных тренажеров для ППП АСУП, описанном в разделе 2.6. Осуществлена разработка структуры процесса создания 3D-моделей для виртуальных тренажеров для ППП АСУП (см. рис. 2.8). Здесь на первом этапе *Pre-Production* осуществляется анализ предметной области и требований к проекту и ресурсам, определяются стилистики проекта и стратегии разработки трехмерных моделей, создаются скетчи основных моделей и локаций. Далее выполняется проработка референсов, поиск чертежей, сбор референсов на видео и формирование доски референсов (см. рис. 3.9). На втором этапе *Production* выполняется основная работа по созданию объектов по всем правилам оптимизации. Созданные модели, текстуры, анимацию интегрируются в движок и настраиваются. В результате получается детализированная модель станка и окружение (см. рис. 3.10). Оптимизации программных компонент для виртуальных тренажеров для ППП АСУП проводилась согласно процессу

оптимизации программных компонент [126] для виртуальных тренажеров для ППП АСУП, описанному в разделе 2.7 (см. рис. 2.9).

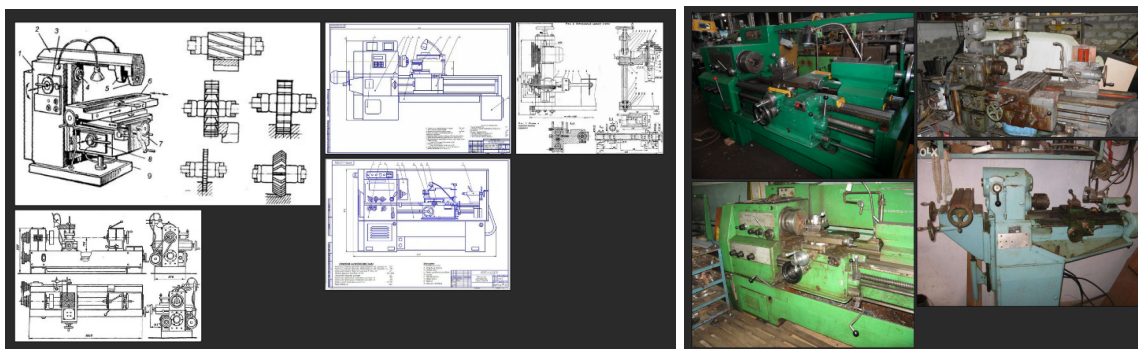


Рисунок 3.9 – Фотоматериалы и чертежи станков

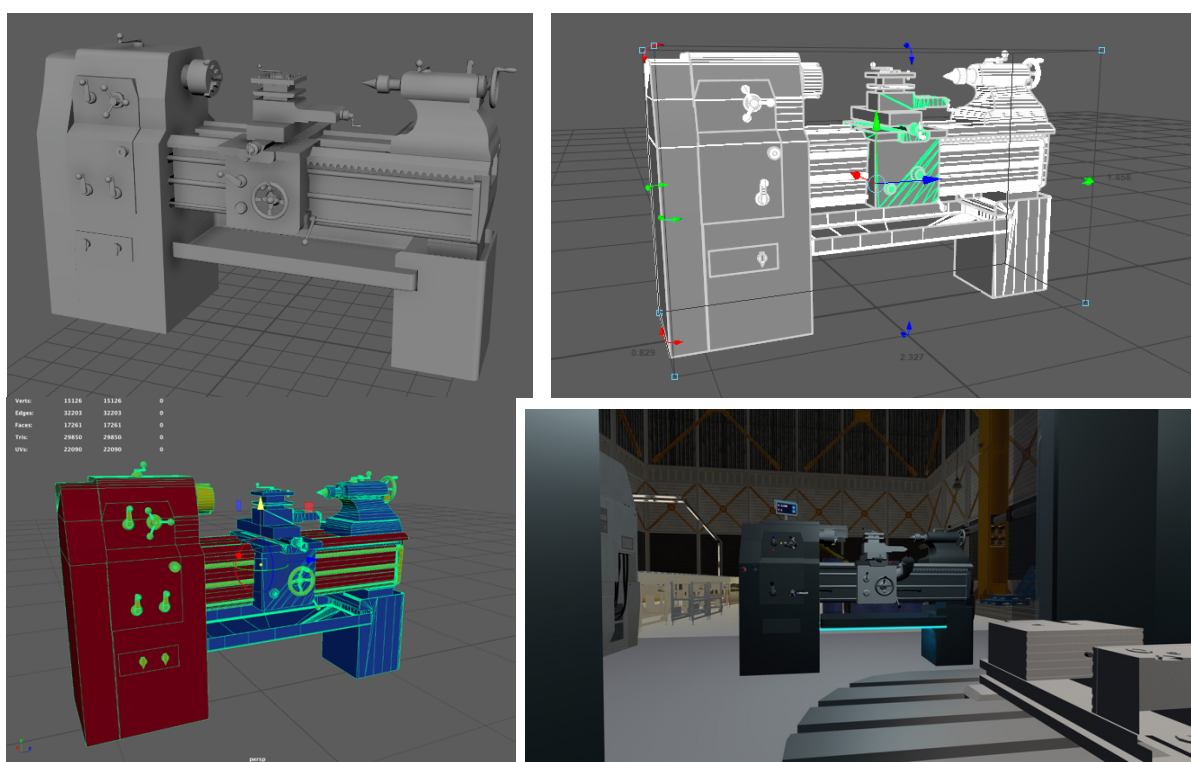


Рисунок 3.10 – Детализированная модель токарного станка и окружение

Заключение по третьей главе

В главе 3 описаны результаты построения виртуального тренажера ППП для АСУП, разработанная архитектура тренажера: функциональное обеспечение, структура базы данных, диаграмма классов, диаграмма нотаций IDEF0, диаграмма деятельности, диаграмма прецедентов (UML). Разработаны исполняющие алгоритмы и визуальные компоненты виртуального тренажера для АСУП.

Предложенный метод необходим для синтеза архитектуры для виртуальных тренажеров ППП АСУП на основе системной математической модели как элемента системного анализа, которая создается с использованием функционального обеспечения, структуры базы данных, диаграммы классов, диаграммы нотаций IDEF0, диаграммы деятельности, диаграммы прецедентов (UML), разработанных для алгоритмов и визуальных компонентов. Такой метод позволяет повысить эффективность разработки виртуального тренажера подсистемы ППП АСУП, т.е. уменьшить финансовые и временные затраты. Описываются нештатные ситуации, которые могут быть отработаны в процессе обучения с использованием виртуальных тренажеров.

ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ППП АСУП

В настоящей главе рассмотрены функциональные возможности тренажера виртуальной реальности для ППП АСУП для проведения процесса обучения и оценки по части профессиональных компетенций по работе на металлорежущих станках. Рассмотрены виды деятельности и профессиональные компетенции в соответствии с ФГОС 15.02.16 Технология машиностроения. Выполнена оценка эффективности внедрения виртуального тренажера для подготовки операторов в ППП АСУП на основе предложенной методики. Описана реализация методики оценки эффективности визуализации разработанного виртуального тренажера, которая строится на поиске лучшей альтернативы по принципу Кондорсе.

4.1 Описание функциональных характеристик разработанного виртуального тренажера подготовки операторов токарных и фрезерных станков в ППП АСУП

Функциональные возможности тренажера виртуальной реальности для ППП АСУП позволяют провести процесс обучения и оценки по части профессиональных компетенций по работе на металлорежущих станках в соответствии с ФГОС, описание которого представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – ФГОС 15.02.16 Технология машиностроения

Виды деятельности	Профессиональные компетенции, соответствующие видам деятельности
1	2
Разработка технологических процессов изготовления деталей машин	ПК 1.1. Использовать конструкторскую и технологическую документацию при разработке технологических процессов изготовления деталей машин. ПК 1.2. Выбирать метод получения заготовок с учетом условий производства.

	<p>ПК 1.3. Выбирать методы механической обработки и последовательность технологического процесса обработки деталей машин в машиностроительном производстве.</p> <p>ПК 1.4. Выбирать схемы базирования заготовок, оборудование, инструмент и оснастку для изготовления деталей машин.</p>
Разработка и реализация технологических процессов в механосборочном производстве	<p>ПК 3.1. Разрабатывать технологический процесс сборки изделий с применением конструкторской и технологической документации.</p> <p>ПК 3.2. Выбирать оборудование, инструмент и оснастку для осуществления сборки изделий.</p> <p>ПК 3.4. Реализовывать технологический процесс сборки изделий машиностроительного производства.</p>
Организация контроля, наладки и технического обслуживания оборудования машиностроительного производства	<p>ПК 4.1. Осуществлять диагностику неисправностей и отказов систем металлорежущего и аддитивного производственного оборудования.</p> <p>ПК 4.2. Организовывать работы по устранению неполадок, отказов.</p> <p>ПК 4.3. Планировать работы по наладке и подналадке металлорежущего и аддитивного оборудования.</p>

Реализация. При запуске приложения пользователю предоставляется доступ к меню, в котором можно настроить основные параметры, такие как уровень громкости, метод перемещения (телепортация или плавное движение) и уровень освещения. Взаимодействие с меню осуществляется с использованием лазерного указателя виртуального контроллера и активации элементов посредством нажатия на триггер. Интерфейс ориентирован на минимизацию использования текста и замену его на интуитивно понятные иконки, что значительно улучшает пользовательский опыт, учитывая, что чтение текста в виртуальной реальности может быть неудобным.

Настройки меню обеспечивают пользователю оптимальные условия работы в виртуальной среде. Метод перемещения включает два варианта: телепортация и плавное перемещение. Для опытных пользователей VR целесообразно использовать плавное перемещение, а для новичков или при длительном использовании рекомендуется телепортация, что снижает нагрузку на вестибулярный аппарат. Регулировка освещения предусмотрена для адаптации условий под различные сценарии работы: средний уровень

яркости рекомендуется для продолжительных сессий, а максимальная яркость — для краткосрочного использования. Для настройки освещения пользователь должен нажать на кнопку света и выбрать желаемый уровень яркости на панели управления.

Настройка звука позволяет пользователю регулировать громкость в пределах приложения. Для этого предусмотрена кнопка звука, аналогичная настройке освещения, которая позволяет изменять уровень громкости без необходимости выхода из программы. Кнопка с иконкой папки предоставляет доступ к сохраненным деталям.

После настройки параметров пользователю необходимо выбрать один из режимов: обучение или обычный. В режиме обучения пользователь перемещается на обучающую сцену, где, следуя текстовым и визуальным подсказкам, осваивает работу на станках. Подсказки последовательно проводят пользователя через весь функционал приложения.

В обычном режиме подсказки не даются, пользователю предоставляется полная свобода действий для создания деталей. В первую очередь, пользователь должен надеть средства индивидуальной защиты, такие как очки и наушники. Затем он может приступить к обработке детали на фрезерном или токарном станках. Для работы на токарном станке необходимо задать параметры заготовки, которая будет установлена в шпиндель. Эти параметры включают длину, диаметр и глубину посадки в шпиндель. Для взаимодействия с панелью управления используется виртуальный указательный палец.

Создание заготовки осуществляется генерацией меша, который определяет позиции вершин и координаты для треугольников. Например, для создания цилиндрической заготовки для токарного станка вершины, за исключением первой и последней, располагаются по следующей формуле:

$$x = \cos\left(\pi \times 2 \times \frac{i}{resolution}\right) \times R$$
$$y = \sin\left(\pi \times 2 \times \frac{i}{resolution}\right) \times R$$

где *resolution* – количество вершин на круг, R – радиус заготовки, i – номер вершины. Для генерации заготовки цилиндрической формы используются две дополнительные вершины, расположенные в центре начала и конца заготовки. Параметр "Resolution" непосредственно влияет как на производительность, так и на плавность образуемых кругов цилиндра. В результате создается меш цилиндра, который может деформироваться при взаимодействии с резцом. В виртуальном тренажере используются модернизированные станки, 3D-модели которых созданы на основе реальных аналогов, таких как универсальный токарный станок СТ16К20 (рис. 4.1) и фрезерный станок JET 67Л35ПФ1(рис. 4.1). Современные компании, поставляющие режущие инструменты и расходные материалы, также предоставляют рекомендации по обработке деталей.

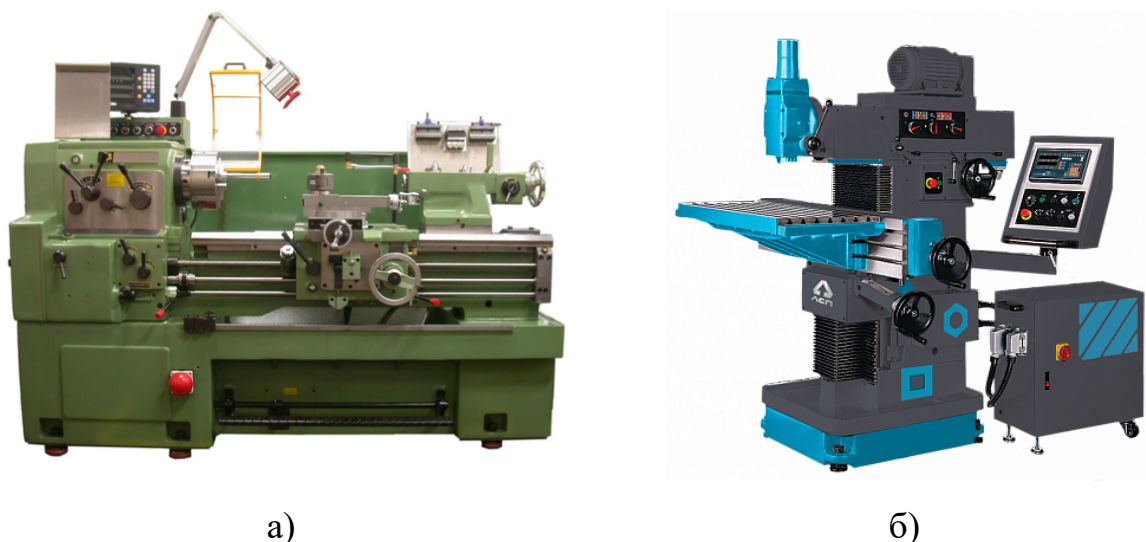


Рисунок 4.1 – Металлорежущие станки: а) универсальный токарный станок СТ16К20; б) станок фрезерный JET 67Л35ПФ1 универсальный

База данных виртуального тренажера аккумулирует информацию о пользователях и их результатах. Для создания ER-диаграммы использовалось программное обеспечение MySQL Workbench, а разработка базы данных осуществлялась с применением SQLiteStudio. Токарный станок состоит из множества компонентов, где 1 – передняя бабка, 2 – суппорт, 3 – задняя бабка, 4 – шпиндель, 5 – патрон, 6 – панель управления оборотов, 7 – кнопки включения и выключения, 8 – скорость суппорта относительно скорости

шпинделя, 9 – рычаги включения шпинделей, 10 – джойстик суппорта, 11 – монитор с координатами суппорта, 12 – рукоятки управления суппортом. Детали устройства показаны на схеме (рис. 4.2).

Далее пользователю необходимо выбрать резец для обработки детали и поместить его в суппорт. Для включения станка используется соответствующая кнопка на панели управления или суппорте. Настройка параметров вращения шпинделя и выбора передачи осуществляется через виртуальные сенсорные экраны, что обеспечивает удобство работы в виртуальной среде. Эти параметры непосредственно влияют на скорость перемещения суппорта и тип обработки детали.

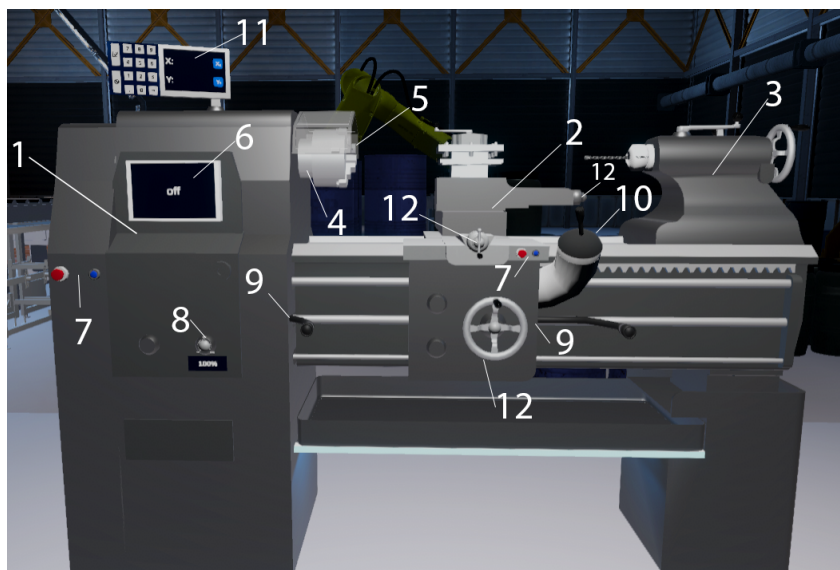


Рисунок 4.2 – Токарный станок

После запуска вращения шпинделя суппорт начинает перемещаться. Вращение шпинделя активируется рычагом, который определяет направление вращения (по или против часовой стрелки). Суппорт может перемещаться как вручную, так и с использованием джойстика. Во время обработки при контакте резца с заготовкой происходит деформация детали с визуальными эффектами, такими как, искры. Если пользователь случайно дотрагивается до вращающегося шпинделя, выводится предупреждение об опасности, а также в случайном порядке инициируются другие нештатные ситуации.

На программном уровне обработка детали осуществляется изменением сетки сгенерированной заготовки. В месте контакта радиус уменьшается, а скорость этого изменения зависит от скорости шпинделя и сопротивления резца. Система RayCast в Unity определяет точку контакта и круг обработки. Далее программный код использует этот круг для деформации заготовки в соответствии с настройками станка.

После завершения обработки пользователь может сохранить деталь. Деталь будет отсканирована и сохранена в виде изображения на миллиметровой бумаге. Для сохранения необходимо поместить деталь в специальную зону на верстаке и нажать на соответствующую кнопку. Доступ к сохраненным деталям можно получить через главное меню приложения. Характеристика одного из заданий для изготовления детали на токарном станке описана в п.п. 4.2.

Общие компоненты фрезерного станка представлены на рис. 4.3, где 1 – фреза, 2 – тиски с заготовкой, 3 – фрезерный стол, 4 – пульт управления, 5 – панель управления, 6 – дверь. После завершения обработки детали пользователь может сохранить её и измерить с использованием инструментов, таких, как штангенциркуль и микрометр.

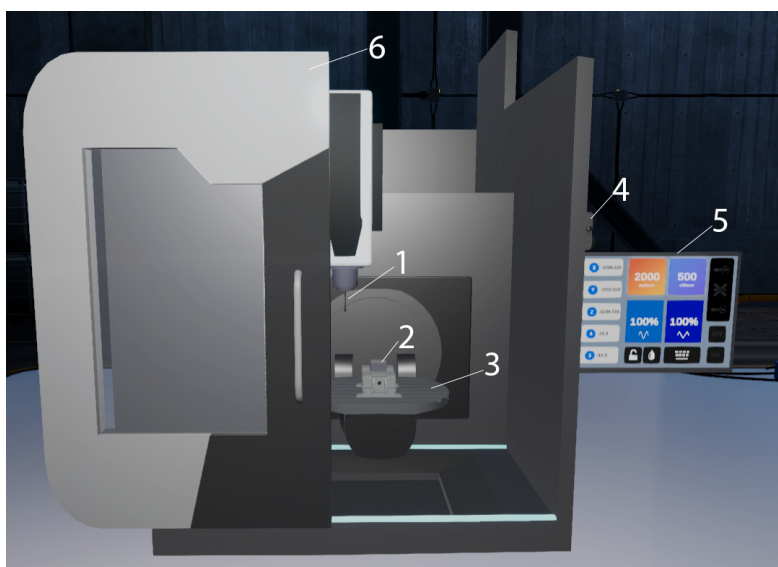


Рисунок 4.3 – Фрезерный станок

Для работы на фрезерном станке пользователь должен вначале настроить заготовку и фрезу, выбирая параметры, такие как длина, ширина и высота

заготовки. При этом важно учитывать оптимальные настройки для подачи, скорости и глубины резания, чтобы достичь максимальной производительности станка. Время обработки заготовки определяется формулой:

$$T = \frac{\pi \cdot D \cdot \delta \cdot L}{1000 \cdot V \cdot S},$$

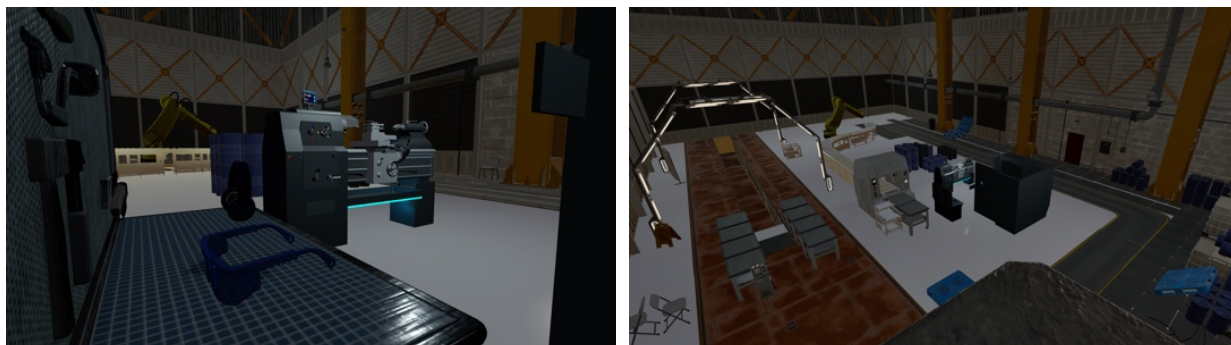
где V – скорость резания, S – величина подачи, D – диаметр заготовки, L – длина заготовки, δ – припуск.

Более подробно определение требуемых характеристик описано в Приложении А. Для большей реалистичности имеется подача жидкости [122], которую пользователь может включить на панели управления, нажав на соответствующую кнопку с иконкой капли.

Процесс генерации заготовки на фрезерном станке аналогичен для токарного станка, однако учитывает кубическую форму заготовки. Основные методы унаследованы и адаптированы для работы с фрезерным станком.

Пользователь может выбирать различные типы фрез и настраивать их параметры на панели управления. Для безопасной работы с фрезерным станком необходимо закрыть и заблокировать дверь станка. Управление фрезой осуществляется с использованием пульта, который позволяет перемещать фрезу и поворачивать стол. Для предотвращения аварийных ситуаций предусмотрены предупреждения при контакте фрезы со столом.

Реалистичность симуляции повышается включением системы подачи жидкости [122], которая активируется через панель управления. Для точной настройки координат фрезы предусмотрена возможность ввода данных через виртуальную клавиатуру. На рис. 4.4 показана визуализация сцен симулятора.



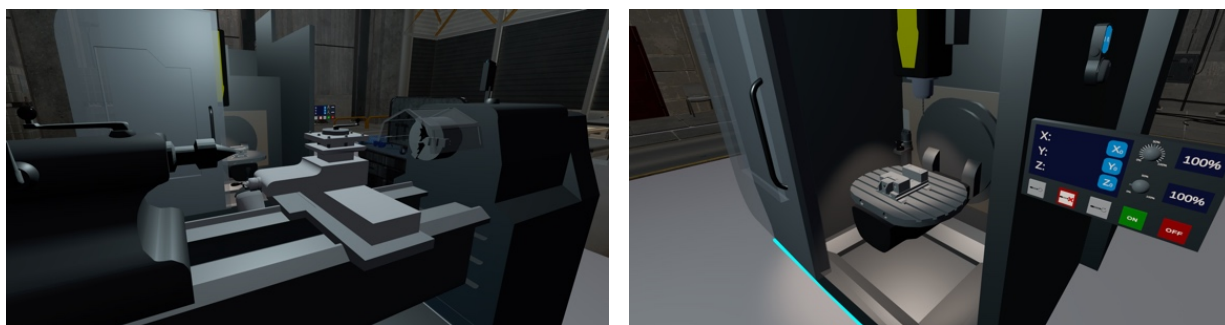


Рисунок 4.4 – Общий вид мастерской производства

4.2 Характеристика задания и его выполнения на токарном станке с использованием виртуального тренажера

Ниже описывается в качестве примера последовательность изготовления детали на токарном станке¹ с использованием предложенного виртуального тренажера.

1. Обучающийся получает чертеж изделия для подготовки по протоколу обучения (рис. 4.5).

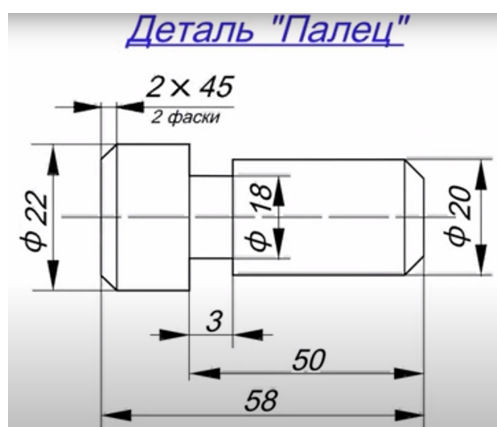


Рисунок 4.5 – Чертеж детали «Палец»

2. Запускает приложение.
3. Обучающемуся необходимо надеть очки виртуальной реальности, ввести персональные данные, а затем надеть наушники и защитные очки.
4. Обучающемуся необходимо выбрать станок.

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=wa4FbdtHEJ0>

5. Обучающемуся необходимо взять режущий инструмент, подходящий по заданию и подойти к станку.

6. Обучающемуся необходимо подойдя к станку, вставить режущий инструмент в резцедержатель. Режущий инструмент устанавливается в четырехпозиционном резцедержателе, последовательно в соответствии с технологией обработки. Заготовка прутков круглого сечения диаметром 26 мм устанавливается в самоцентрирующемся трехкулачковом патроне с вылетом 64 мм.

7. Обучающемуся необходимо подойти к монитору справа от станка.

8. Обучающемуся необходимо подойдя к монитору, указать размеры заготовки указательным пальцем, затем сгенерировать заготовку. Диаметр заготовки должен равняться 26 мм. Длина 64 мм. (рис. 4.6).

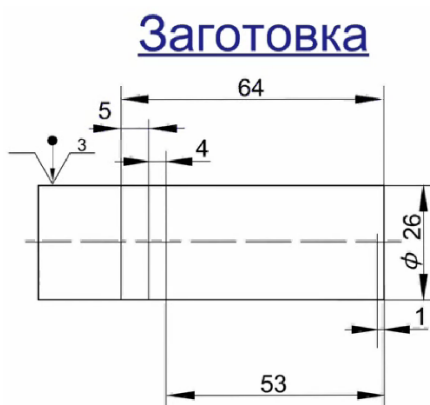


Рисунок 4.6 – Генерация заготовки

9. Обучающемуся необходимо вернуться к станку и включить токарный станок нажав на синюю кнопку.

10. Обучающемуся необходимо включить вращение шпинделя используя рычаг.

11. Обучающемуся необходимо использовать регулятор для изменения скорости суппорта.

12. Обучающемуся необходимо обработать заготовку согласно заданию.

13. В случае нарушении обучающимся правил техники безопасности других нештатных ситуаций, осуществляется отображение соответствующей ошибки.

14. Первый переход. Подрезать торец в размер 64 мм проходным отогнутым резцом. Позиция резцедержателя 1. (рис. 4.7).

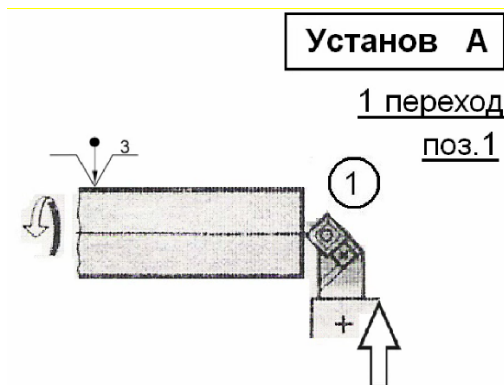


Рисунок 4.7 – Срезание 64 мм длины

15. Второй переход. Точить диаметр 22 мм на длину 59 мм проходным упорным резцом. Позиция резцедержателя 2 (рис. 4.8).

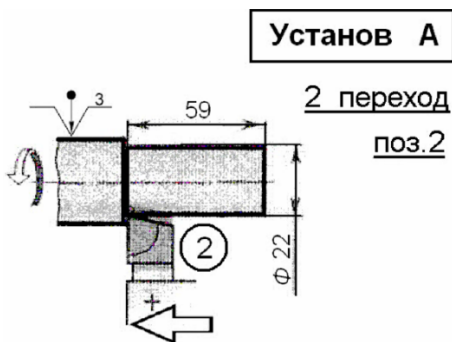


Рисунок 4.8 – Срез на диаметр 22 мм на длину 59 мм

16. Третий переход. Точить диаметр 20 мм на длину 50 мм проходным упорным резцом. Позиция резцедержателя 2 (рис. 4.9).

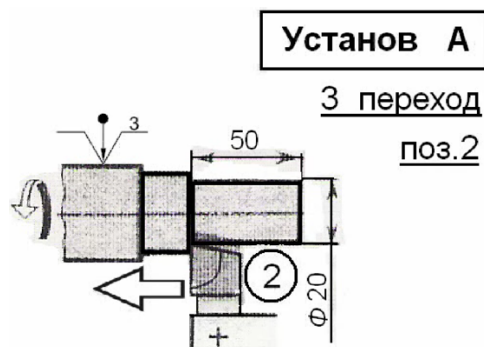


Рисунок 4.9 – Срез на диаметр 20 мм на длину 50 мм

17. Четвертый переход. Выточить канавку глубиной 1 мм на длине 50 мм. канавочным резцом. Позиция резцедержателя 3 (рис. 4.10).

Установ А

4 переход

поз.3

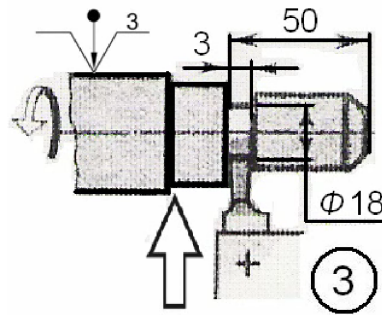


Рисунок 4.10 – Канавка глубиной 1 мм на длине 50 мм

18. Пятый переход. Точить фаску 2x45 проходным отогнутым резцом. Позиция резцодержателя 1 (рис. 4.11).

Установ А

5 переход

поз.1

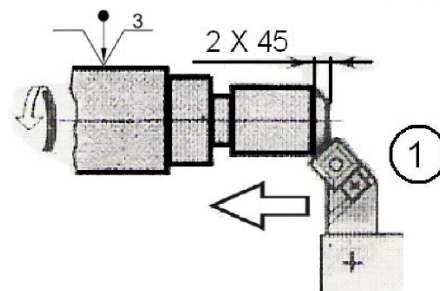


Рисунок 4.11 – Фаска 2x45

19. Шестой переход. Отрезать заготовку на 59 мм.от торца отрезным резцом. Позиция резцедержателя 4 (рис. 4.12).

Установ А

6 переход

поз. 4

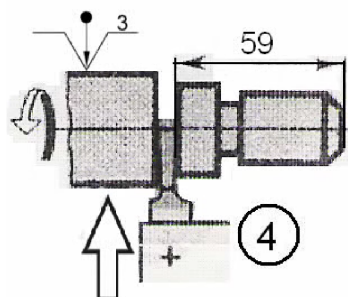


Рисунок 4.12 – Отрезание заготовки длиной 59 мм

20. Перевернуть заготовку и закрепить с вылетом 18 мм

21. Первый переход. Подрезать торец в размер 15 мм проходным отогнутым резцом. Позиция резца держателя 1 (рис. 4.13).

Установ Б

1 переход

поз. 1

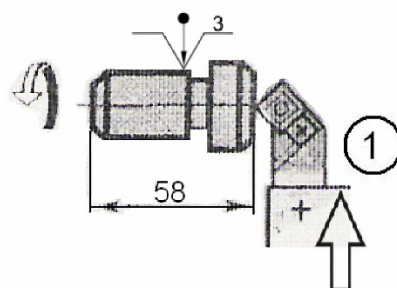


Рисунок 4.13 – Подрезать торец в размер 15 мм

22. Второй переход. Точить фаску 2x45, проходным отогнутым резцом. Позиция резца держателя 1 (рис. 4.14).

Установ Б

2 переход

поз. 1

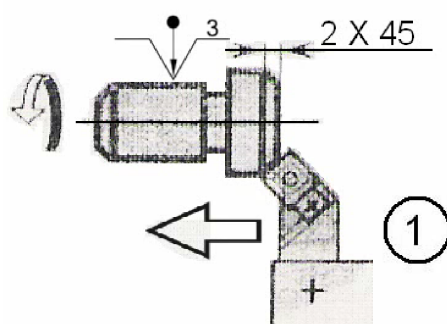


Рисунок 4.14 – Фаска 2x45

23. Если обучающийся закончил обработку, необходимо отключить вращение шпинделя, переведя рычаг в нейтральное положение.

24. Обучающемуся необходимо под присмотром эксперта проверить получившуюся деталь на соответствие с эталоном.

25. В случае, если деталь не соответствует эталону, то необходимо убедиться испорчена ли деталь.

26. В случае, если деталь испорчена, то генерируется новая заготовка, в противном случае продолжается работа с этой же деталью.

27. В случае, если деталь соответствует эталону, то обучающийся заканчивает работу.

4.3 Применение методики оценки эффективности визуализации разработанного виртуального тренажера подсистемы подготовки персонала АСУП методом Кондорсе

Метод Кондорсе используется для поиска лучшей альтернативы при принятии решений выбора лучшей визуализации виртуального тренажера. Качество погружения в виртуальную реальность можно определить чувствами пользователя. Для того, чтобы эффект погружения и работы в симуляторе виртуальной реальности был максимально близок к реальному по окончании разработки визуальной части реализуется процесс постобработки 3D-сцены. Постобработка или постпроцессинг (postprocessing) процесс, при котором происходит обработка визуальной части после его рендеринга. Визуализация 3D-сцены будущего виртуального тренажера по-разному может быть оценена пользователями, т.к. оценка производится, исключительно опираясь на личное мнение и суждение, поэтому оценка является субъективной. В связи с этим предлагается применять принцип Кондорсе для поиска лучшей альтернативы. Применения этого принципа позволит снизить субъективность оценивания и обеспечит возможность выбора лучшего решения визуального эффекта.

Поэтому оценка эффективности визуализации разработанного виртуального тренажера подготовки операторов токарной и фрезерной обработки ППП АСУП осуществлялась методом поиска лучшей альтернативы, который строится на принципе Кондорсе.

Предлагается в выборе поиска лучшей частной альтернативы участвовать 5-ю экспертам, результат оценки представим в виде: Э₁, Э₂, Э₃, Э₄, Э₅. Под частной альтернативой будем понимать виды 3D-сцен после постпроцессинга, рассмотрим 5 работ и представим результат в виде а₁, а₂, а₃, а₄, а₅, где каждому а_n соответствует собственная настроенная 3D-сцена (см. рис. 4.5).

В чемпионатах профессионального мастерства «Профессионалы», согласно конкурсной документации, расчет участников по компетенции (вид профессии, по которой проходят соревнования) традиционно реализуется от 5 команд. Команду на чемпионате представляет участник и эксперт-наставник. Одной из компетенций чемпионата профессионального мастерства «Профессионалы» является «Разработка виртуальной и дополненной реальности», где участники парно разрабатывают приложения расширенной реальности, в т.ч. симуляторы виртуальной реальности. На чемпионате этот аспект оценки выполненного приложения оценивают 3 эксперта, используя принцип оценки в виде сравнения результата работы с эталоном производственной модели. В связи с этим работы могут иметь одинаковую оценку, однако при этом существенно отличаться. В нашем случае необходимо определить работу, которая имеет лучшую визуальную составляющую среди имеющихся.

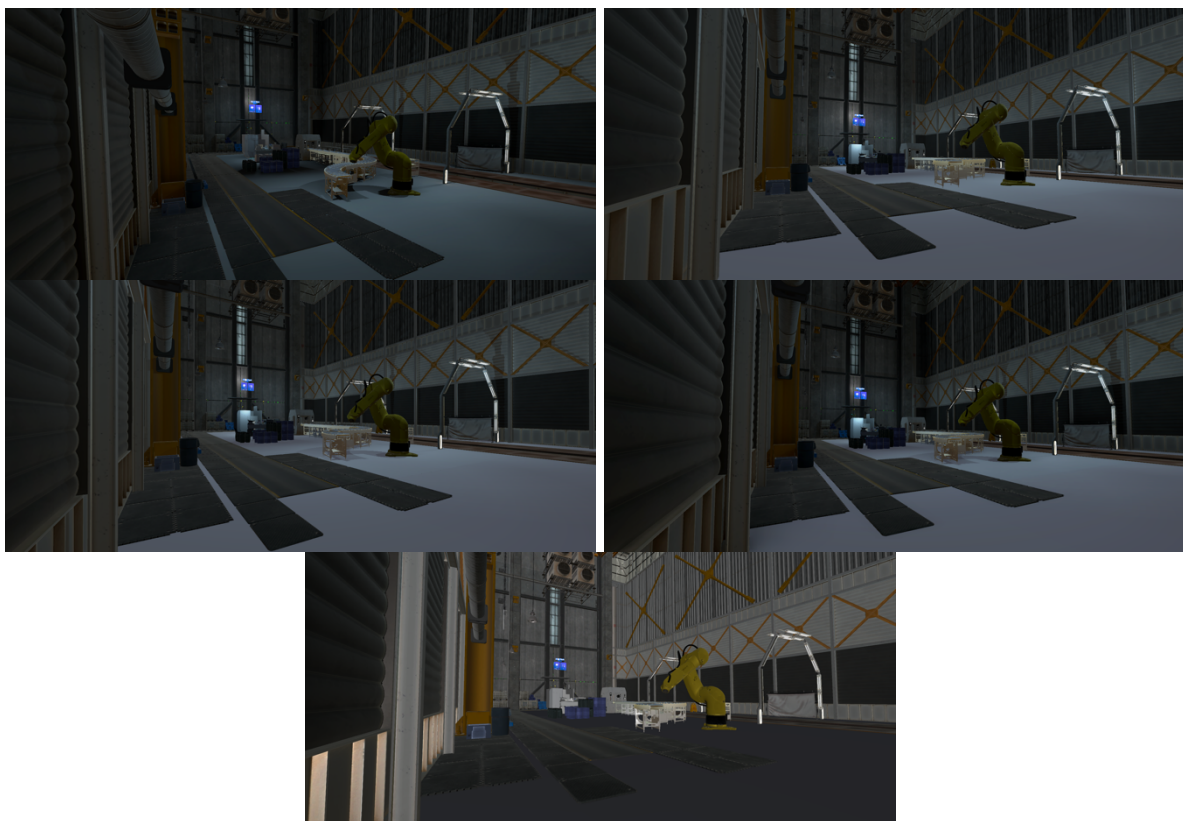


Рисунок 4.15 – Виды сцен с промежуточной настройкой и постпроцессингом

Экспертам предлагается ранжировать альтернативы, исходя из их оценки визуальной пробы приложения, в порядке от лучшего решения к худшему (см. таб. 4.2).

Таблица 4.2 – Ранжирование альтернатив экспертами

\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2	\mathcal{E}_3	\mathcal{E}_4	\mathcal{E}_5
a4	a5	a5	a4	a3
a5	a4	a4	a5	a5
a3	a3	a2	a3	a4
a2	a2	a3	a2	a1
a1	a1	a1	a1	a2

1. Следующим шагом определяются оценки m_{ik} представляющие интерес альтернатив в парных предпочтениях (см. таб. 4.3).

Таблица 4.3 – Интерес альтернатив

m_{ik}	a1	a2	a3	a4	a5
a1		4	5	5	5
a2	1		4	5	5
a3	0	1		4	4
a4	0	0	1		3
a5	0	0	1	2	

2. Следующим шагом выполняются проверки по принципу Кондорсе, где лучшим решением определяется альтернатива a_i , в случае $m_{ik} \geq m_{ki}$ для всех k , не равных i (см. таб. 4.4).

Таблица 4.4 – Интерес альтернатив после выполнения проверок

m_{ik}	a1	a2	a3	a4	a5
a1		4	5	5	5
a2	1		4	5	5
a3	0	1		4	4
a4	0	0	1		3
a5	0	0	1	2	

3. Таким образом, лучшей альтернативой по принципу Кондорсе является a_1 .

4.4 Оценка эффективности использования разработанного виртуального тренажера

Оценка эффективности внедрения разработанного виртуального тренажера подготовки операторов оборудования на примере токарной и фрезерной обработки ППП АСУП [72] осуществлена в рамках эксперимента. Эксперимент проведен на базе ГБПОУ МГОК, обучение выполнялось на универсальных токарно-винторезных станках по направлению машиностроения, в эксперименте приняли участие 21 обучающийся. Цель проведения эксперимента – исследование эффективности профессионального обучения операторов токарной и фрезерной обработки ППП АСУП при замене физического оборудования тренажером виртуальной реальности. Сформулирована гипотеза, что при правильном внедрении виртуального тренажера в подготовку обучающихся, повысится эффективность образовательного процесса. Под эффективностью понимается выполнение операторами должностных обязанностей на требуемом профессиональном уровне, с учетом снижения числа различных нарушений, уменьшения временных и экономических затрат на обучение, а также отработка нештатных ситуаций, в т.ч. опасных для здоровья и проверку ОТ и ТБ.

Планирование эксперимента: для обучения групп разработана образовательная программа подготовки обучающихся на 16 академических часов, уровень обучающихся начальный, без базовых навыков. Слушатели разделены на 3 группы: одна – контрольная и две – экспериментальные. По окончании все обучающиеся сдавали демонстрационный экзамен, на который отведено 2 часа.

Последовательность проведения эксперимента: 3 группы первые 4 часа осваивали базовые теоретические и практические знания, затем 1-я контрольная группа 10 часов обучалась на реальном оборудовании; 2-я

экспериментальная 4 часа обучалась на оборудовании виртуальной реальности и 6 часов на реальном оборудовании, а 3-я экспериментальная 8 часов обучалась на оборудовании виртуальной реальности и 2 часа на реальном оборудовании. По окончании все 3 группы сдавали демонстрационный экзамен на реальном оборудовании.

Общие результаты показаны по группам – в табл. 4.5.

Таблица 4.5 – Таблица результатов

№	ФИО	Балл (ДЭ)	Максимальный	Результат в %
1.	Обучающийся №1	7	16	43,75%
2.	Обучающийся №2	9	16	56,25%
3.	Обучающийся №3	10	16	62,50%
4.	Обучающийся №4	12	16	75,00%
5.	Обучающийся №5	8	16	50,00%
6.	Обучающийся №6	7	16	43,75%
7.	Обучающийся №7	9	16	56,25%
	Среднее по группе 1	8,86	16	55,36%
1.	Обучающийся №8	9	16	56,25%
2.	Обучающийся №9	7	16	43,75%
3.	Обучающийся №10	7	16	43,75%
4.	Обучающийся №11	10	16	62,50%
5.	Обучающийся №12	10	16	62,50%
6.	Обучающийся №13	5	16	31,25%
7.	Обучающийся №14	7	16	43,75%
	Среднее по группе 2	7,86	16	49,11%
1.	Обучающийся №15	7	16	43,75%
2.	Обучающийся №16	9	16	56,25%
3.	Обучающийся №17	2	16	12,50%
4.	Обучающийся №18	2	16	12,50%
5.	Обучающийся №19	3	16	18,75%
6.	Обучающийся №20	2	16	12,50%
7.	Обучающийся №21	3	16	18,75%
	Среднее по группе 3	4	16	25,00%

Анализ результатов показал практически равные образовательные результаты у 1-й контрольной группы и 2-й экспериментальной. При этом финансовые затраты на расходные материалы для 1-й группы составили 16 500 р., 2-й – 12 000р., 3-й – 6 000р. Таким образом, за счет сэкономленных расходных материалов можно увеличить практическую подготовку, повысить

эффективность и результаты обучения. Также отличительной особенностью экспериментальные группы является возможность отработать навыки, связанные с нестандартными ситуациями на производстве, в т.ч. ситуаций опасных для здоровья в реальной практике и навыков по ОТ и ТБ.

После того, как вторая группа за счет сэкономленных расходных материалов продолжила практическую подготовку, ее результаты по группе увеличились с 7,86 до 10,4 баллов, с 49,11% до 65,00%. По сравнению с первой группой результаты повысились на 9,64%.

При математическом описании эксперимента по оценке эффективности использования виртуального тренажера подготовки операторов оборудования используются следующие формулы и обозначения.

Обозначения: G_1, G_2, G_3 – группы обучающихся (контрольная и экспериментальные группы, соответственно), $N_1 = 7, N_2 = 7, N_3 = 7$ – количество обучающихся в каждой группе, $X_{i,j}$ – балл на демонстрационном экзамене для j -го обучающегося в i -й группе,

$$X_{i,j} \in [0,16];$$

$$R_{i,j} = \frac{X_{i,j}}{X_{max}} \times 100\%;$$

где $X_{max} = 16$ – максимальный балл на экзамене, $R_{i,j}$ – результат в процентах для j -го обучающегося в i -й группе, \bar{X}_i – средний балл для i -й группы, C_i – затраты на расходные материалы для i -й группы.

Средний балл для каждой группы.

Средний балл для i -й группы вычисляется по формуле:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} X_{i,j}.$$

Для контрольной группы G_1 :

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{7} (7 + 9 + 10 + 12 + 8 + 7 + 9) = 8.86.$$

Для экспериментальной группы G_2 :

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{7} (9 + 7 + 7 + 10 + 10 + 5 + 7) = 7.86.$$

Для экспериментальной группы G_3 :

$$\bar{X}_3 = \frac{1}{7}(7 + 9 + 2 + 2 + 3 + 2 + 3) = 4.$$

Результаты в процентах.

Для перевода баллов в проценты используется следующая формула:

$$R_{i,J} = \frac{X_{i,j}}{16} \times 100\%.$$

Финансовая эффективность. Затраты на расходные материалы для каждой группы:

$$C_1 = 16,500 \text{ рублей для } G_1.$$

$$C_2 = 12,000 \text{ рублей для } G_2.$$

$$C_3 = 6,000 \text{ рублей для } G_3.$$

Сравнение затрат:

$$\Delta C_{1,2} = C_1 - C_2 = 16,500 - 12,000 = 4,500 \text{ руб.}$$

$$\Delta C_{1,3} = C_1 - C_3 = 16,500 - 6,000 = 10,500 \text{ руб.}$$

Увеличение эффективности после дополнительного обучения второй группы. После дополнительного обучения результаты группы G_2 увеличились:

$$\Delta \bar{X}_2 = 10.4 - 7.86 = 2.54 \text{ балла.}$$

В процентах:

$$\Delta R_2 = 65.00\% - 49.11\% = 15.89\%.$$

Относительное улучшение по сравнению с первой группой:

$$\Delta_{rel} = 65.00\% - 55.36\% = 9.64\%.$$

На основе математических расчетов подтверждается гипотеза о том, что внедрение виртуального тренажера позволяет уменьшить финансовые затраты на расходные материалы, одновременно поддерживая или улучшая качество обучения. Дополнительная возможность отработки нештатных ситуаций и безопасных для здоровья навыков также является значительным преимуществом исследуемого подхода.

Заключение по четвертой главе

В главе 4 рассмотрены функциональные возможности тренажера виртуальной реальности для ППП АСУП для проведения процесса обучения и оценки профессиональных компетенций по работе на металлорежущих станках. Рассмотрено главное меню приложения, ключевые параметры и пользовательские режимы. Подробно описан процесс визуализации виртуальной среды, включая использование 3D-моделей станков. Определенное внимание уделено созданию реалистичной среды, которая включает элементы взаимодействия с объектами, настройки станков и других инструментов, что позволяет пользователю погрузиться в учебный процесс, максимально приближенный к реальным условиям.

Рассмотрены виды деятельности и профессиональные компетенции в соответствии с ФГОС 15.02.16 Технология машиностроения. Апробирована методика оценки эффективности внедрения виртуального тренажера для подготовки операторов в ППП АСУП. Оценка проводилась в рамках эксперимента на базе ГБПОУ МГОК, где участниками являлись обучающиеся, работающие на универсальных токарных станках. Цель эксперимента заключалась в проверке гипотезы о повышении эффективности обучения при использовании виртуального тренажера в сравнении с традиционными методами. Результаты эксперимента представлены в виде таблиц, анализ которых позволяет сделать выводы о преимуществах использования виртуальных тренажеров в образовательном процессе. Использована методика оценки эффективности визуализации разработанного виртуального тренажера, которая строится на поиске лучшей альтернативы по принципу Кондорсе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным результатом работы является повышение эффективности подсистемы подготовки персонала АСУП процесса подготовки операторов оборудования на основе виртуального тренажера. Под эффективностью понимается качество организации процесса профессиональной подготовки, которое обеспечивает выполнение операторами обязанностей на профессиональном уровне при одновременном снижении количества различных нарушений, уменьшении временных и экономических затрат. Количественные показатели для оценки эффективности: 1) сокращение времени разработки виртуальных симуляторов требуемой функциональности; 2) повышение оценки специалиста (среднего балла) на основе увеличения часов практической подготовки, а также отработанных навыков; 3) сокращение денежных затрат на расходные материалы.

В работе получены новые научно-технические результаты, которые подтверждают достижение цели диссертационной работы.

1. Разработан метод автоматизированного построения виртуальных тренажеров для ППП АСУП, который основывается на работе с заказчиком на основе предоставления с производства функциональных видеороликов, а также на формализации процесса проектирования и разработки в виде структур процесса создания программных и визуальных модулей с учетом специфики разработки тренажеров под виртуальную реальность. Это позволило оперативно осуществлять мониторинг правильности выполнения операций, уменьшить ошибки разработчика, а также сократить время разработки технического описания, повысить результативность процесса проектирования и разработки виртуальных тренажеров для обучения операторов металлорежущих станков.

2. Разработана онтологическая модель для построения виртуальных тренажеров для подготовки операторов металлорежущих станков в ППП АСУП. Выявлены основные понятия и отношения между ними в предметной области работы операторов металлорежущих станков для последующей

реализации виртуальных тренажеров. Это позволило повысить эффективность планирования и стандартизации для подготовки операторов металлорежущих станков в ППП АСУП.

3. Предложена методика оценки эффективности визуализации разработанного виртуального тренажера подготовки операторов токарной и фрезерной обработки ППП АСУП. Методика поиска лучшей альтернативы основывается на принципе Кондорсе. Это позволило подобрать лучшую альтернативу на основе ранжирования экспертных оценок при выборе качественной визуализации тренажера виртуальной реальности для ППП АСУП.

4. Разработан и апробирован виртуальный тренажер для подсистемы подготовки операторов металлорежущих станков на примере токарной и фрезерной обработок АСУП. Это позволило повысить результативность обучения операторов на 9,64%, а также отработать сложно реализуемые нештатные ситуации.

5. Разработанные и апробированные методы, структуры процесса создания программных и визуальных модулей с учетом специфики разработки тренажеров виртуальной реальности, модели и алгоритмы позволили достигнуть следующих результатов: повышение эффективности разработки виртуальных тренажеров на 32% для ООО «АЙТИПРО»; уменьшение срока разработки виртуального тренажера с 4 до 2,5 месяцев для ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН; разработка с уменьшением финансовых затрат на 23% виртуального тренажера «Сервис цифровых (VR) микропрофессиональных проб» для ООО «Атлас новых профессий».

Разработанный программный комплекс «Лаборатория универсальной токарной и фрезерной обработки в среде виртуальной реальности (VR)» используется для подготовки обучающихся по направлению машиностроения в области токарной и фрезерной обработок ГАУ СО «Агентство по развитию человеческого капитала».

В Центре опережающей профессиональной подготовки Ростовской области структурного подразделения государственного бюджетного

профессионального образовательного учреждения Ростовской области «Ростовский-на-Дону колледж связи и информатики» предложенные программно-инструментальные средства применяются в профессиональной ориентации школьников.

Результаты диссертационной работы использованы при разработке нового федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 09.02.10 Разработка компьютерных игр, дополненной и виртуальной реальности приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 25.06.2024 № 441 "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта (Зарегистрирован 25.07.2024 № 78924)

Результаты исследования используются в образовательном процессе ГБПОУ Колледж «Царицыно» при обучении студентов по специальности 09.02.07 Информационные системы и программирование в рамках профессиональной дисциплины «Разработка виртуальной и дополненной реальности», при проведении конкурсов профессионального мастерства по компетенции «Разработка виртуальной и дополненной реальности» и компетенции «Разработка виртуальных миров» Всероссийского чемпионатного движения по профессиональному мастерству "Профессионалы", а также при проведении демонстрационного экзамена по компетенции «Разработка виртуальной и дополненной реальности» для студентов учреждений среднего профессионального образования РФ.

Разработаны виртуальные тренажеры для обучения, оценки компетенций специалистов и студентов, а также для профессиональной ориентации школьников [8, 9, 13, 15, 16, 34, 50, 96, 112 - 117, 129].

Основная цель диссертационной работы достигнута: построенные методы и модели для подсистемы подготовки операторов металлорежущих станков АСУП позволяют эффективно разрабатывать и применять виртуальные тренажеры для повышения эффективности подсистемы подготовки персонала АСУП для обучения операторов металлорежущих станков.

Полученные результаты могут использоваться для эффективного проектирования и разработки виртуальных тренажеров для ППП АСУП для различных отраслей промышленности, а также при подготовке студентов колледжей по специальностям 09.02.10 «Разработка компьютерных игр, дополненной и виртуальной реальности» и 09.02.07 «Информационные системы и программирование».

ГЛОССАРИЙ

Автоматизированные системы управления производством (АСУП) – это комплекс программных и аппаратных средств, предназначенных для автоматизации и оптимизации процессов производства в различных отраслях промышленности. Они позволяют управлять различными производственными процессами, от контроля и управления технологическими операциями до управления логистическими и финансовыми процессами.

Подсистема подготовки персонала (ППП) АСУП – представляет комплекс мероприятий и программных и аппаратных средств, направленных на подготовку и обучение персонала для работы с системой. Эта подсистема включает различные обучающие программы, инструкции, учебные материалы, видеоуроки и т.д., которые помогают сотрудникам овладеть навыками работы с АСУП.

Симулятор или тренажер виртуальной реальности – это компьютерная программа, которая позволяет создать виртуальную среду и симулировать в ней определенные ситуации или действия, которые могут быть использованы для обучения, тренировки, развлечения или исследования.

Виртуальная реальность – это технология, которая создает иммерсивное (погружающее) взаимодействие пользователя с компьютерным окружением, которое обычно симулирует реальный мир или фантастический мир. Это достигается через специальное оборудование, такое как шлемы виртуальной реальности или устройства отслеживания движения, которые позволяют пользователю контролировать свое взаимодействие в этом виртуальном окружении [79].

Дополненная реальность – это технология, которая добавляет в реальный мир дополнительные визуальные и звуковые элементы, которые взаимодействуют с окружающей средой и позволяют пользователю получать дополнительную информацию об объектах в реальном мире. Это достигается через мобильные приложения или специальные устройства, которые

используют камеру и другие датчики для отслеживания окружающей среды, добавления дополнительных элементов в реальное время [170].

Смешанная реальность – это технология, которая объединяет виртуальную и дополненную реальность, чтобы создать новое окружение, в котором виртуальные и реальные объекты существуют вместе и взаимодействуют друг с другом. Это достигается через использование специального оборудования, которое может отслеживать реальные объекты и добавлять в них виртуальные элементы.

Расширенная реальность – это общий термин, который используется для описания всех форм технологий, которые добавляют новые элементы в реальный мир. Это может включать дополненную реальность, смешанную реальность и другие технологии, которые используются для создания новых взаимодействий между пользователем и окружающей средой [152].

Устройства виртуальной (VR), дополненной (AR) и смешанной (MR) реальности – смартфоны, планшеты, AR-очки, VR-шлемы и другое периферийное оборудование для погружения в виртуальный мир. Они являются иммерсивными, т.е. с эффектом погружения.

Центр иммерсивных технологий (или Иммерсивная лаборатория) – помещение, кабинет, оснащенный устройствами виртуальной (VR), дополненной (AR) и смешанной (MR) реальности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеенко, Н. В. Инновационные технологии в образовательном процессе: тенденции, перспективы развития / Н. В. Агеенко, Д. Д. Дорофеева // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Психолого-педагогические науки. – 2017. – № 2(34). – С. 6-15. – EDN ZEYZPL.
2. Аксенова, Е. И. Технологии виртуальной и дополненной реальности в здравоохранении / Е. И. Аксенова, С. Ю. Горбатов // Московская медицина. – 2022. – № 1(47). – С. 76-87. – EDN CNOJPH.
3. Архипов, А. Е. Структурно-параметрический синтез систем визуализации для тренажерных комплексов: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Архипов Алексей Евгеньевич. – Тамбов, 2023. – 18 с. – EDN JXXMOM.
4. Артемьева, И. Л. Многоуровневые модели сложно-структурированных предметных областей и их использование при разработке систем, основанных на знаниях: специальность 05.13.17 "Теоретические основы информатики": автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Артемьева Ирина Леонидовна. – Москва, 2008. – 47 с. – EDN NKRVGR.
5. Асланов, Р. Э. Модели и методы разработки подсистемы подготовки специалистов автоматизированной системы управления производством с использованием симуляторов виртуальной реальности / Р. Э. Асланов, А. А. Большаков // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2023. – № 65(91). – С. 81-89. – DOI 10.36807/1998-9849-2023-65-91-81-89. – EDN EETIKD.
6. Асланов, Р. Э. Симулятор виртуальной реальности по оказанию первой медицинской помощи для использования при обучении персонала АСУП / Р. Э. Асланов, А. А. Большаков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. - 2023. - № 2. С. .52-65 <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-2-52-65>. EDN GGEERJ.

7. Асланов, Р. Э. Тренажёр токарной и фрезерной обработки на основе компьютерных моделей с использованием технологий виртуальной реальности / Р. Э. Асланов, А. А. Большаков // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 9. – С. 17-20. DOI: 10.25728/avtprom.2022.09.03. EDN: KPCNWM.

8. Асланов, Р. Э. Статистический анализ результативности интерактивного обучения / Р. Э. Асланов, В. С. Осипов, Д. А. Яковлев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 6. – С. 300-303. – EDN VEKELY.

9. Асланов, Р. Э. Применение технологии виртуальной реальности в инклюзивном образовании лиц с полным или частичным поражением нижних конечностей / Р. Э. Асланов, А. А. Большаков, А. В. Гриншкун // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 208-223. – DOI 10.22363/2312-8631-2022-19-3-208-223. – EDN IPGVFP.

10. Аликулова, Ф. Э. Особенности изучения стереометрии в школе с применением технологий виртуальной реальности / Ф. Э. Аликулова, М. В. Головенко // Информационные технологии в математике и математическом образовании : материалы XI Всероссийской с международным участием научно-методической конференции, посвященной 90-летию КГПУ им. В.П. Астафьева, Красноярск, 10–11 ноября 2022 года / Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева. – Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, 2022. – С. 45-48. – EDN LOMBCO.

11. Асланов, Р. Э. Разработка методов и моделей для построения подсистемы подготовки операторов токарной и фрезерной обработки АСУП на основе симуляторов виртуальной реальности / Р. Э. Асланов, А. А. Большаков // Математические методы в технологиях и технике. – 2023. – № 8. – С. 95–100. – DOI 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_8_95. – EDN ROXOAA.

12. Функциональное обеспечение системы виртуальной реальности обучению работе на фрезерных и токарных универсальных станках / Р. Э. Асланов // Математические методы в технологиях и технике. – 2022. – № 11. – С. 92-99. – DOI 10.52348/2712-8873_MMTT_2022_11_92. – EDN TWKNVE.

13. Информатизация профессионального образования через внедрение модели центра иммерсивных технологий / Р. Э. Асланов, Л. А. Шунина, А. В. Гриншкун, А. А. Большаков // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. – 2023. – Т. 20, № 1. – С. 78–92. – DOI 10.22363/2312-8631-2023-20-1-78-92. – EDN CNCTDE.

14. Асланов, Р. Э. Разработка метода синхронизация и шифрования данных / А. Р. Гайбатова, Р. Э. Асланов, Г. О. Крылов, В. Н. Конев // Информатизация и связь. – 2017. – № 4. – С. 77-80. – EDN ZOХAJN.

15. Асланов, Р. Э., Шунина Л. А., Рунасов К. А. Модель центра иммерсивных технологий как инструмент информатизации образования // Сб. статей конференции: VI Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции «Актуальные проблемы теории и практики обучения физико-математическим и техническим дисциплинам в современном образовательном пространстве». Курск. ФГОПУ ВО «Курский государственный университет». – 2022. – С. 259-265.

16. Асланов, Р.Э., Шикун Д.Р., Фомина О.В. Применение "Виртуальной реальности" в образовании // Сб. трудов конференции: VIII ежегодной всероссийской научно-практической конференции «Цифровизация общества: состояние, проблемы, перспективы». Москва. ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова». – 2021. – С. 146-158.

17. Андреева Н. С. Построение и программная визуализация семантической сети предметной области «Генетические алгоритмы» // Математические методы в технологиях и технике. 2023. № 2. С. 42-46. DOI 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_1_42

18. Асланов, Р. Э. Виртуальные тренажеры в подсистеме АСУП для подготовки операторов металлорежущих станков // Вестник Самарского

государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2024. – № 3(33).

19. Бегентаев, М. М. Опыт подготовки квалифицированных кадров для машиностроительной отрасли / М. М. Бегентаев, К. К. Абишев // Наука и техника Казахстана. – 2019. – № 3. – С. 6-15. – EDN LNVSDD.

20. Блохин, А. Ю. Обучающая виртуальная система / А. Ю. Блохин // Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – № 3(8). – С. 63-65. – EDN RBXQOX.

21. Большаков А.А., Виштак О.В., Фролов Д.А. Формирование модели учебного курса интерактивной компьютерной обучающей системы на основе нечеткой когнитивной карты // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. №2. С. 92-99.

22. Большаков А.А., Сгибнев А.А., Вешнева И.В., Гrepечук Ю.Н., Ключиков А.В. Системный анализ человеко-машинного взаимодействия на основе статусных функций при формировании объемного изображения в волюметрических дисплеях // Известия СПбГТИ(ТУ). 2017. №40. С. 102-110.

23. Балмасов, А. С. Разработка приложений дополненной и виртуальной реальности для обучения студентов / А. С. Балмасов // История и перспективы развития транспорта на севере России. – 2022. – № 1. – С. 140-141. – EDN SDFQTW.

24. Биллиг, В. А. Основы объектного программирования на C# (C# 3.0, Visual Studio 2008): Учебное пособие / В. А. Биллиг. – Москва, Саратов : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Вузовское образование, 2017. – 583 с. – ISBN 978-5-4487-0145-0. – EDN ZVDJYH.

25. Булгаков, Д. А. Способы оптимизации производительности в сценах Unity / Д. А. Булгаков, Е. Е. Майн // Современные технологии: актуальные вопросы теории и практики: сборник статей V Международной научно-практической конференции, Пенза, 30 мая 2023 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 39-48. – EDN UMXJVA.

26. Виртуальная реальность как объект и инструмент познания: прикладные аспекты / Т. Ю. Соколова, Г. И. Фазылзянова, Е. Е. Ефграфова, Е. В. Астапович // Экономические и социально-гуманитарные исследования. – 2021. – № 2(30). – С. 161-166. – DOI 10.24151/2409-1073-2021-2-161-166. – EDN HNRGAN.

27. Возможности технологий виртуальной реальности для разработки игровых приложений / Е. В. Романова, Л. В. Курзаева, Л. З. Давлеткиреева, Т. Б. Новикова // Открытое образование. – 2021. – Т. 25, № 5. – С. 31-40. – DOI 10.21686/1818-4243-2021-5-31-40. – EDN LGMHBE.

28. Волкова, М. М. Виртуальный тренажёр по устранению и локализации аварийных ситуаций на производстве / М. М. Волкова, И. Р. Чигвинцева, Д. И. Рахимов // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2020. – Т. 12-1. – С. 77-80. – EDN FETCVQ.

29. Волкова, М. М. Применение виртуальных тренажеров для обучения специалистов нефтегазовой отрасли / М. М. Волкова, Р. А. Манурова, Д. Н. Шайдуллина // Вестник Технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 115-121. – EDN VGVUGC.

30. Гиацинтов, А. М. Методы и алгоритмы визуализации разнородных данных в тренажерно-обучающих системах промышленного применения: специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гиацинтов Александр Михайлович. – Москва, 2017. – 22 с. – EDN ZQDTJR.

31. Глазырин, А. Е. Математическое моделирование программ профессиональной подготовки оператора (на примере транспортно-технологических машин) / А. Е. Глазырин // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2020. – Т. 3. – С. 149-153. – EDN PESJY.

32. Горюшкин, А. А., Внутризаводское планирование и менеджмент предприятия: учебное пособие / А. А. Горюшкин, А. В. Кривенков, Н. И. Новицкий. — Москва: Русайнс, 2016. — 168 с. — ISBN 978-5-4365-0584-8. —

URL: <https://book.ru/book/919324> (дата обращения: 17.06.2023). — Текст: электронный.

33. Грязнов, С. А. Новая образовательная реальность / С. А. Грязнов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки. – 2022. – Т. 24, № 84. – С. 3-9. – DOI 10.37313/2413-9645-2022-24-84-3-9. – EDN OHNVRN.

34. Геномная инженерия в виртуальной реальности (VR) / Асланов Р.Э., Большаков А.А., Гриншкун А.В., Долгов И.А., Киселев Г.А., Лукьянов М.А., Рунасов К.А., Шаповалов М.А., Шишкин И.Н., Шунина Л.А. // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023613577. Заявка № 2023612313 от 10.02.2023. зарег. 16.02.2023.

35. Гальцева, А. А. Методика работы над полигональными моделями в редакторе трёхмерной графики Autodesk Maya / А. А. Гальцева, А. Н. Жердева // Цифровые инфокоммуникационные технологии: сборник научных трудов, Ростов-на-Дону, 07 сентября 2021 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2021. – С. 30-33. – EDN IGEMUM.

36. Губанова, С. А. Создание контента для 3D-игры с использованием Maya и Unity 3D / С. А. Губанова // Актуальные направления научной мысли: проблемы и перспективы: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической (национальной) конференции, Новосибирск, 15 декабря 2021 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный университет экономики и управления "НИНХ", 2022. – С. 69-89. – EDN INZJAZ.

37. Гаевский, К. А. Инновационные методы 3D-моделирования и оценка их эффективности / К. А. Гаевский, П. А. Костин // Тезисы докладов 55-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: Тезисы докладов, Витебск, 27 апреля 2022 года. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2022. – С. 123-124. – EDN JРJPEY.

38. Дедов, Д. Л. Структурно-параметрический синтез виртуального тренажерного комплекса для подготовки персонала многоассортиментных химических производств: специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дедов Денис Леонидович. – Тамбов, 2012. – 163 с. – EDN QGVIQH.

39. Дудырев, Ф. Ф. Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты / Ф. Ф. Дудырев, О. В. Максименкова // Вопросы образования. – 2020. – № 3. – С. 255-276. – DOI 10.17323/1814-9545-2020-3-255-276. – EDN HYRSLG.

40. Евсеева, Ю. И. Разработка математического и алгоритмического обеспечения для системы структурно-параметрического синтеза трехмерных адаптивных приложений: специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Евсеева Юлия Игоревна. – Пенза, 2016. – 22 с. – EDN ZQDVQX.

41. Ефимов, А. И. Методика обучения систем управления беспилотными летательными аппаратами путем погружения их в виртуальную реальность / А. И. Ефимов, Н. А. Балилы // Кибернетика и программирование. – 2019. – № 2. – С. 17-22. – DOI 10.25136/2306-4196.2019.2.29236. – EDN PLPPGH.

42. Евдокимова, Н. А. Исследование особенностей 3D моделирования и печати / Н. А. Евдокимова // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 5(56). – С. 24. – EDN SNCVRD.

43. Жабицкий, М. Г. Проблема разработки VR тренажеров сборки/разборки, и вариант высокопроизводительного решения на базе технологии VR Concept / М. Г. Жабицкий, С. А. Кулак, А. С. Новикова // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10, № 8. – С. 18-29. – EDN XHJBEN.

44. Жигалова, О. П. Учебные симуляторы в системе профессионального образования: педагогический аспект / О. П. Жигалова // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2021. – Т. 10, № 1(34). – С. 109-112. – DOI 10.26140/anip-2021-1001-0026. – EDN AGLSYQ.

45. Жданов, А. А. Современные программы для создания трехмерной компьютерной графики / А. А. Жданов, О. О. Карташов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 3. – С. 52-54. – EDN XHDGZZ.

46. Згода, Ю. Н. Автоматизированное построение интерактивных визуализаций BIM-моделей в виртуальной реальности / Ю. Н. Згода, К. А. Шумилов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 4(30). – С. 113-118. – EDN AGGOFI.

47. Зеленко, Н. В. Технологии виртуальной реальности в профессиональном становлении и самоидентификации будущих летчиков / Н. В. Зеленко, А. А. Науменко // Проблемы современного педагогического образования. – 2021. – № 71-3. – С. 35-37. – EDN RVKLDJ.

48. Использование технологии виртуальной реальности для отработки алгоритма оказания экстренной и неотложной медицинской помощи / Е. В. Резник, И. А. Краснопольский, М. Н. Потемкина, О. Ф. Природова // Методология и технология непрерывного профессионального образования. – 2020. – № 2(2). – С. 6-14. – DOI 10.24075/MTCPPE.2020.007. – EDN GBSXDK.

49. Использование цифрового двойника для обучения студентов металлургического профиля / В. Н. Баранов, А. И. Безруких, И. Л. Константинов [и др.] // Высшее образование в России. – 2022. – Т. 31, № 2. – С. 135-148. – DOI 10.31992/0869-3617-2022-31-2-135-148. – EDN MCPWAE.

50. Иммерсивная сетевая лаборатория коллаборативного обучения с возможностями импорта 3D - моделей и модулем рисования «Кидслабвр (KidsLabVR)» / Асланов Р.Э. // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022617264. Заявка № 2021669792 02.12.2021 от 02.12.2021. зарег. 19.04.2022.

51. Карандеева, И. Ю. Использование симуляторов вождения автомобиля в сочетании со шлемом виртуальной реальностью в целях снижения аварийности на дорогах / И. Ю. Карандеева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 1. – С. 155-157. – EDN CLCGBB.

52. Катасев, А. С. Методы и алгоритмы формирования нечетких моделей оценки состояния объектов в условиях неопределенности / А. С. Катасев // Вестник Технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 3. – С. 138-147. – EDN OVSNQR.

53. Кирьянов, Д. А. Особенности организации и классификация интерфейсов виртуальной реальности / Д. А. Кирьянов // Программные системы и вычислительные методы. – 2022. – № 2. – С. 25-41. – DOI 10.7256/2454-0714.2022.2.38214. – EDN ZPEWAU.

54. Климов, А. А. Об особенностях использования тренажеров при реализации образовательных программ (на примере подготовки специалистов для транспорта) / А. А. Климов, Е. Ю. Заречкин, В. П. Куприяновский // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2019. – Т. 15, № 2. – С. 477-487. – DOI 10.25559/SITITO.15.201902.477-487. – EDN KXTVBVY.

55. Компьютерная онтология: задачи и методология построения / В. В. Бова, Д. В. Лещанов, Д. Ю. Кравченко, А. А. Новиков // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2014. – № 4(19). – С. 44-55. – EDN UBNFFF.

56. Козлов, А. В. Виртуальная и дополненная реальности в высшем техническом образовании / А. В. Козлов // Современное педагогическое образование. – 2023. – № 2. – С. 111-115. – EDN YNZUZQ.

57. Коломеец, М. В. Эффективность визуализации данных в виртуальной реальности / М. В. Коломеец // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 11. – С. 1046-1052. – DOI 10.17586/0021-3454-2020-63-11-1046-1052. – EDN JOQXNC.

58. Коркишко, И. В. Расчет показателя целесообразности разработки программного учебно-тренировочного средства / И. В. Коркишко, Н. Р.

Третьякова, И. В. Коркишко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 3. – С. 402-408. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-3-402-408. – EDN NVDGRY.

59. Корнеева, Н. Ю. Иммерсивные технологии в современном профессиональном образовании / Н. Ю. Корнеева, Н. В. Уварина // Современное педагогическое образование. – 2022. – № 6. – С. 17-22. – EDN SXNQFD.

60. Корнилов, Ю. В. Применение технологий виртуальной реальности в изучении различных предметов: обзор научной литературы / Ю. В. Корнилов, М. У. Мукашева, С. М. Сарсимбаева // Вестник Северо-восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Педагогика. Психология. Философия. – 2022. – № 2(26). – С. 5-15. – EDN JFFHUF.

61. Корнилова, К. А. Роль информатизации в системе среднего и высшего образования / К. А. Корнилова, Е. В. Корнилова // Научно-методический электронный журнал "Концепт". – 2023. – № 4. – С. 96-110. – DOI 10.24412/2304-120X-2023-11026. – EDN AFNNIH.

62. Ковалев, А. Д. Моделирование виртуального пространства средствами 3D-графики в программе 3D-моделирования blender / А. Д. Ковалев, В. А. Шестакова // Сборник тезисов докладов научно-практической конференции студентов Курганского государственного университета: Тезисы докладов, Курган, 22 марта – 02 2021 года. Том Выпуск XXII. – Курган: Курганский государственный университет, 2021. – С. 252-253. – EDN HIZLPC.

63. Круподерова, К. Р. Подготовка будущих учителей к использованию технологий дополненной и виртуальной реальности / К. Р. Круподерова, Е. А. Гордеева, Д. Ю. Пичужкина // Проблемы современного педагогического образования. – 2022. – № 75-3. – С. 235-238. – EDN ZMZAPV.

64. Кугуракова В.В. Математическое и программное обеспечение многопользовательских тренажеров с погружением в иммерсивные виртуальные среды: 05.13.11 "Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей": диссертация на

соискание ученой степени кандидата технических наук / Кугуракова Влада Владимировна. – Казань, 2019. – 19 с.

65. Курзаева, Л. В. К вопросу о трансформации системы профессиональной подготовки учителей в условиях развития сквозных технологий (на примере виртуальной и дополненной реальности) / Л. В. Курзаева, М. В. Барынина, Е. К. Якунина // Мир науки. Педагогика и психология. – 2020. – Т. 8, № 3. – С. 29. – EDN FRVUPA.

66. Концепция сервиса цифровых (VR) микро-профессиональных проб «Виртуальный мир профессий: инженер-нефтяник» / А. А. Голубничий, В. С. Осипов, Е. А. Виноградов, Р. Э. Асланов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 1. – С. 132-137. – EDN VPUKFR.

67. Кармадонов, В. Ю. Основные методы и стандарты при разработке приложений виртуальной реальности / В. Ю. Кармадонов // Достижения науки и образования. – 2018. – Т. 2, № 8(30). – С. 20-21. – EDN USUCRM.

68. Кудрина, Е. В. Основы алгоритмизации и программирования на языке C# / Е. В. Кудрина, М. В. Огнева. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство ЮРАЙТ", 2019. – 322 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-09796-2. – EDN OYCWQE.

69. Кручинин, В. И. Программирование на языке C#: учебное пособие: [в 2 ч.] / В. И. Кручинин; В. И. Кручинин; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Волгоградский гос. технический ун-т", Камышинский технол. ин-т (фил.) ГОУ ВПО "Волгоградский гос. технический ун-т". – Волгоград: ВолгГТУ, 2011. – 91 с. – ISBN 978-5-9948-0655-5. – EDN QMWLLH.

70. Лагоха, А. С. Концептуальное моделирование как инструмент развития абстрактного мышления при изучении теории проектирования баз данных / А. С. Лагоха // Мир науки, культуры, образования. – 2021. – № 5(90). – С. 120-123. – DOI 10.24412/1991-5497-2021-590-120-123. – EDN BTRWSI.

71. Ломовцева, Н. В. Отношение студентов СПО к использованию технологий виртуальной реальности в процессе обучения / Н. В. Ломовцева //

Профессиональное образование и рынок труда. – 2021. – № 4(47). – С. 114-122.
– DOI 10.52944/PORT.2021.47.4.008. – EDN UHNSYU.

72. Лаборатория универсальной токарной и фрезерной обработки в среде виртуальной реальности (VR) / Р.Э. Асланов, И.А. Артемьев, А.А. Фролов, Р.Р. Хаббатуллин, И.Н. Шишкин // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021660861. Заявка № 2021615879 от 17.04.2021. зарег. 02.07.2021.

73. Лысенкова, А. М. Программное обеспечение для работы с трехмерной графикой / А. М. Лысенкова // Инновации в науке и практике: Сборник статей по материалам II Международной научно-практической конференции, Уфа, 17 апреля 2020 года. Том Часть 1. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2020. – С. 97-103. – EDN VEBRXP.

74. Лукьянович, И. Р. Создание модели для компьютерной игры / И. Р. Лукьянович, Е. Д. Русак // Веб-программирование и интернет-технологии WebConf2021: материалы 5-й Международной научно-практической конференции, Минск, 18–21 мая 2021 года. – Минск: Белорусский государственный университет, 2021. – С. 43. – EDN WUUIRT.

75. Метод формирования контента для объемного дисплея на основе проекционной пирамиды с использованием игрового движка Unity / А. В. Ключиков, А. А. Большаков, Ю. Н. Гречечук, С. А. Гречечук // Математические методы в технологиях и технике. – 2022. – № 11. – С. 63-66. – DOI 10.52348/2712-8873_MMTT_2022_11_63. – EDN COBYSM.

76. Мазур, Е. В. Разработка приложения с использованием технологий виртуальной реальности / Е. В. Мазур, К. С. Меденцева // ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ в научной СРЕДЕ: сборник статей международной научно-практической конференции: в 3 частях, Пермь, 25 апреля 2017 года. Том Часть 3. – Пермь: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2017. – С. 128-130. – EDN YMGPJN.

77. Мартишин, С. А. Организация безопасного запроса к базе данных на облаке / С. А. Мартишин, М. В. Храпченко, А. В. Шокуров // Труды Института системного программирования РАН. – 2022. – Т. 34, № 3. – С. 173-188. – DOI 10.15514/ISPRAS-2022-34(3)-12. – EDN LMDLSN.

78. Матлин, А. О. Автоматизация процесса создания виртуальных тренажеров: специальность 05.13.12 "Системы автоматизации проектирования (по отраслям)": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Матлин Александр Олегович. – Волгоград, 2012. – 22 с. – EDN QIJDOJ.

79. Меркулов И.А., Синельников А.О. Виртуальная реальность // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 50-1. С. 64-67.

80. Методические аспекты применения тренажеров с иммерсивной технологией при обучении в университете транспорта / М. В. Карелина, С. П. Вакуленко, П. А. Егоров, О. В. Мерецков // Отечественная и зарубежная педагогика. – 2021. – Т. 2, № 6(81). – С. 64-80. – DOI 10.24412/2224-0772-2021-81-64-80. – EDN YGVMRN.

81. Методологические основы проектирования тренажерного комплекса для обучения водителей транспортных средств и специальной техники с интегрированной системой виртуальных 3D моделей реальной местности / Л. А. Рыбак, А. А. Волошкин, К. В. Чуев [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2023. – № 1(231). – С. 134-146. – DOI 10.18522/2311-3103-2023-1-134-146. – EDN QQZCHZ.

82. Мироненко, М. С. Технологии виртуальной реальности и решение задачи разработки универсального интерфейса для исторических 3D-реконструкций / М. С. Мироненко, В. А. Чертополохов, М. Д. Белоусова // Историческая информатика. – 2020. – № 4(34). – С. 192-205. – DOI 10.7256/2585-7797.2020.4.34671. – EDN HXJPNM.

83. Мингалеева, Л. Б. Разработка консольных приложений на языке C# при изучении дисциплины "Программирование на языках высокого

уровня" / Л. Б. Мингалеева, Н. И. Киамова // Проблемы современного педагогического образования. – 2017. – № 55-11. – С. 90-97. – EDN ZFITTX.

84. Методология разработки приложений виртуальной реальности / Д. А. Малько, Е. И. Малько, Е. В. Буняева, Ю. В. Пономарчук // Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 26 июня 2020 года. – Чебоксары: Негосударственное образовательное частное учреждение дополнительного профессионального образования "Экспертно-методический центр", 2020. – С. 33-41. – EDN AQLHKW.

85. Малышева, А. И. 3D-моделирование городской среды для игрового приложения / А. И. Малышева, Т. Н. Томчинская // КОГРАФ-2021: Сборник материалов 31-й Всероссийской научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам, Нижний Новгород, 19–22 апреля 2021 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2021. – С. 46-50. – DOI 10.46960/43791586_2021_46. – EDN НМКХИТ.

86. Набокова, Л. С. Перспективы внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности в сферу образовательного процесса высшей школы / Л. С. Набокова, Ф. Р. Загидуллина // Профессиональное образование в современном мире. – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 2710-2719. – DOI 10.15372/PEMW20190208. – EDN RXMWRT.

87. Науменко, А. А. Использование авиасимуляторов в учебном процессе авиационного вуза / А. А. Науменко, А. С. Князев // Вестник Армавирского государственного педагогического университета. – 2021. – № 4. – С. 64-72. – EDN PTZFGI.

88. Назарова, Е. Н. Сравнительная характеристика программы Blender и другого редактора трехмерной графики - Maya / Е. Н. Назарова // Современные технологии: проблемы инновационного развития и внедрения результатов: Сборник статей XII Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 07 февраля 2022 года. – Петрозаводск:

Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2022. – С. 202-206. – EDN FZMOOH.

89. Николаев, А. Н. Оптимизация проектов Unity / А. Н. Николаев, С. В. Галибин // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2021. – С. 181-184. – EDN SNQITТ.

90. Обзор систем виртуальной реальности / А. Ю. Тычков, К. Ю. Волкова, Д. В. Киселева, Е. А. Родионова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2020. – № 2(54). – С. 3-13. – DOI 10.21685/2072-3059-2020-2-1. – EDN USFRAP.

91. Омурбеков, К. Т. 3D моделирование бочки с использованием Autodesk MAYA / К. Т. Омурбеков, М. Исакбек Кызы, З. М. Казакбаева // Вестник Кыргызского Национального Университета имени Жусупа Баласагына. – 2019. – № S1. – С. 120-123. – EDN MYXOED.

92. Палто, В. С. Менеджер событий на языке C# в Unity3D: разработка, оценка удобства использования и производительности / В. С. Палто, П. В. Фролов, С. А. Фролов // Прикладная информатика. – 2016. – Т. 11, № 2(62). – С. 78-98. – EDN VVERUL.

93. Пискунова, М. Д. Отношение студентов к обучению с использованием программ виртуальной реальности / М. Д. Пискунова, П. А. Побокин // Ярославский педагогический вестник. – 2021. – № 2(119). – С. 112-119. – DOI 10.20323/1813-145X-2021-2-119-112-119. – EDN ZWOTVK.

94. Применение информационных технологий в симуляционном оборудовании для формирования профессиональных навыков / С. А. Игнатъев, В. А. Добряков, С. В. Федюков [и др.] // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2020. – № 4(87). – С. 27-39. – EDN DGRHFP.

95. Пятаев, Д. А. Симулятор виртуальной реальности для развития навыков сварочных технологий / Д. А. Пятаев, Д. С. Кайзер, М. А. Зимин // Научный аспект. – 2023. – Т. 3, № 1. – С. 332-335. – EDN TYRMKQ.

96. Промышленные биотехнологии в виртуальной реальности (VR) / Асланов Р.Э., Большаков А.А., Долгов И.А., Шишкин И.Н., Шаповалов М.А., Рунасов К.А. // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022681594. Заявка № 2022681002 от 01.11.2022. зарег. 15.11.2022.

97. Полуэктов, А. В. Сравнительный анализ программ для моделирования / А. В. Полуэктов // Аспекты моделирования систем и процессов: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 27 мая 2022 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 307-316. – DOI 10.58168/AMSP2022_307-316. – EDN VNICPQ.

98. Разработка моделей и алгоритмов для беспилотного управления сельскохозяйственной техникой с применением технологий виртуальной и дополненной реальности / А. Н. Аверкин, М. В. Лишили, В. А. Дорохин, Л. Н. Теряев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 4. – С. 581-597. – DOI 10.17277/vestnik.2020.04.pp.581-597. – EDN ITQXUA.

99. Разработка отечественной версии социально-когнитивного тренинга больных шизофренией с использованием технологии виртуальной реальности / Е. С. Неретин, Ф. А. Колокольников, А. В. Новиков [и др.] // Социальная и клиническая психиатрия. – 2022. – Т. 32, № 1. – С. 28-33. – EDN JQXNYZ.

100. Разработка тренажёра виртуальной реальности получения практических навыков ремонта и разбора фонтанной арматуры / А. Е. Астрашабов, М. В. Румянцев, Н. О. Пиков [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 481-493. – EDN OMYRGD.

101. Рахимов, Д. И. Использование виртуальных тренажеров для обучения технике безопасности / Д. И. Рахимов, М. М. Волкова // Информационные технологии и автоматизация управления : Материалы X Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов,

работников образования и промышленности, Омск, 15–16 мая 2019 года / Ответственный редактор А.В. Никонов. – Омск: Омский государственный технический университет, 2019. – С. 278-284. – EDN XLVNNY.

102. Рахманов, Ф. Г. Применение имитационных виртуальных тренажёров в процессе профессионального обучения / Ф. Г. Рахманов // Молодой ученый. – 2015. – № 9(89). – С. 1173-1175. – EDN TRNFOB.

103. Ройтберг, Г. Е. Технология виртуальной реальности в обучении терапевтов: в фокусе оказание экстренной и неотложной медицинской помощи / Г. Е. Ройтберг, О. О. Шархун, А. Ш. Давыдова // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2022. – Т. 21, № S4. – С. 29-35. – DOI 10.15829/1728-8800-2022-3372. – EDN MICDOK.

104. Рязанова, А. И. Проектирование видеоигр с использованием средств работы с трехмерной графикой / А. И. Рязанова, К. С. Едич // Молодежь. Наука. Инновации. – 2021. – Т. 1. – С. 289-292. – EDN HGRDDI.

105. Сапронов, Р. В. Модели и алгоритмы генерации окружающего пространства в системе визуализации летного симулятора: специальность 05.13.18 "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сапронов Роман Владимирович. – Казань, 2016. – 22 с. – EDN ZQCVDR.

106. Солодов, С. В. Разработка методики когнитивного моделирования и математического обеспечения для компьютерно-тренинговых систем подготовки оперативно-технологического персонала в металлургии : специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Солодов Сергей Владимирович. – Москва, 2007. – 26 с. – EDN NJBUSN.

107. Соснило, А. И. Применение технологий виртуальной реальности (VR) в менеджменте и образовании / А. И. Соснило // Управленческое

консультирование. – 2021. – № 6(150). – С. 158-163. – DOI 10.22394/1726-1139-2021-6-158-163. – EDN ESWFGB.

108. Степанов, К. С. Определение оптимальной модели разработки приложений виртуальной реальности / К. С. Степанов, Т. В. Степанова // Информационные технологии. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 32-38. – DOI 10.17587/it.29.32-38. – EDN RDOWIA.

109. Сафонов, А. Компьютерная анимация: Создание 3D-персонажей в Maya / А. Сафонов. – Санкт-Петербург: Питер, 2011. – 208 с. – ISBN 978-5-459-00591-2. – EDN SDRFUV.

110. Савостикова, О. Г. Scrum-система для управления разработкой приложений виртуальной реальности / О. Г. Савостикова // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, Могилев, 24–25 октября 2019 года / Редколлегия: М.Е. Лустенков [и др.]. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет", 2019. – С. 177. – EDN EIAMTI.

111. Селиванцев, В. И. Разработка приложения для архитектурной визуализации в виртуальной реальности / В. И. Селиванцев // Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского : Материалы конференции, Москва, 17 февраля – 01 2017 года. – Москва: Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ, 2017. – С. 394-396. – EDN YOBNTN.

112. Система интеграции интернета вещей (IoT) в пространство информационной модели (BIM) на базе технологии виртуальной реальности (VR) / Асланов Р.Э., Дудырев Ф.Ф., Печеная А.С., Плеханов А.М., Рунасов К.А. / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022611048. Заявка № 2021667125 от 25.10.2021. зарег. 19.01.2022.

113. Симулятор обучения водителя карьерного самосвала в виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) / Асланов Р.Э., Большаков А.А., Гриншкун А.В., Киселев Г.А., Кузнецов С.В., Лукьянов М.А., Уральский

Д.С., Шикунов Д.Р., Шишкин И.Н., Шунина Л.А. // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023613937. Заявка № 2023612270 от 11.02.2023. зарег. 21.02.2023.

114. Симулятор обучения лазерной косметологии в виртуальной реальности (VR) / Асланов Р.Э., Большаков А.А., Гриншкун А.В., Долгов И.А., Кузнецов С.В., Лукьянов М.А., Рунасов К.А., Шаповалов М.А., Шишкин И.Н., Шунина Л.А. // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2023613805. Заявка № 2023612318 от 11.02.2023. зарег. 20.02.2023.

115. Симулятор обучения навыкам технического обслуживания персонального компьютера в среде виртуальной реальности (VR) / Асланов Р.Э., Большаков А.А., Гриншкун А.В., Шунина Л.А., Рунасов К.А., Кузнецов С.В., Фомина О.В., Таборидзе Л.В. // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022681289. Заявка № 2022680986 от 01.11.2022. зарег. 11.11.2022.

116. Симулятор обучения спинальной эндоскопии в среде виртуальной реальности (VR) / Асланов Р.Э., Большаков А.А., Долгов И.А., Шишкин И.Н., Шаповалов М.А., Рунасов К.А., Обозный Д.Ф., Брижань Л. К., Асланов Р.А., Кузнецов С.В. // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022682304. Заявка № 2022681070 от 02.11.2022. зарег. 21.11.2022.

117. Симулятор обучения и оценки квалификаций на инъекционно-литьевой машине в среде виртуальной реальности (VR) / Асланов Р.Э., Большаков А.А., Вейкум А.Д., Дудырев Ф.Ф., Долгов И.А., Обозный Д.Ф., Шишкин И.Н., Шаповалов М.А. // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022619875. Заявка № 2022619082 от 16.05.2022. зарег. 26.05.2022.

118. Совгачев, А. А. Игровые движки, их достоинства и недостатки / А. А. Совгачев // МОЛОДЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ - современной НАУКЕ: сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 10 мая 2023 года. – Петрозаводск: Международный центр

научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2023. – С. 186-190. – EDN DKMDLN.

119. Технологии виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе / И. И. Полева, А. Г. Иваницкий, А. С. Миканович [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2022. – Т. 6, № 1. – С. 119-142. – DOI 10.33408/2519-237X.2022.6-1.119. – EDN FVSVOO.

120. Тимофеев, А. Е. Исследование технологических аспектов проектирования и разработки программных средств виртуальной реальности в учебных симуляторах / А. Е. Тимофеев // Нейрокомпьютеры и их применение: тезисы докладов, Москва, 13 марта 2018 года. – Москва: Московский государственный психолого-педагогический университет, 2018. – С. 298-300. – EDN XMMCNF.

121. Толмачева, С. В. Применение технологий виртуальной реальности в обучении: ценностный аспект (по результатам социологического исследования) / С. В. Толмачева, Л. А. Толмачева // Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. – 2021. – № 3. – С. 123-138. – DOI 10.31660/1993-1824-2021-3-123-138. – EDN VNFFWP.

122. Торгонин, Е. Ю. Разработка методов и алгоритмов обработки информации при визуализации жидкостей в системах виртуальной реальности: специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Торгонин Евгений Юрьевич. – Белгород, 2014. – 137 с. – EDN SVBTZZ.

123. Трашкова, А. В. Выбор способа реализации тренажера-симулятора для системы трехмерного моделирования открытых горных работ / А. В. Трашкова, А. В. Вицентий // Труды Кольского научного центра РАН. – 2020. – Т. 11, № 8(11). – С. 83-90. – DOI 10.37614/2307-5252.2020.8.11.007. – EDN ICSLDI.

124. Тявкин, И. В. Аналитические и процедурные модели для информационной системы симуляции полета группы воздушных судов: специальность 05.25.05 "Информационные системы и процессы": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тявкин Игорь Владимирович. – Тамбов, 2012. – 163 с. – EDN QFWWEF.

125. Тявкин, И. В. Симуляторы и тренажеры в виртуальной реальности: монография / И. В. Тявкин; И. В. Тявкин; под ред. проф. В. М. Тютюнника. – Тамбов [и др.]: Нобелистика, 2011. – 68 с. – ISBN 978-5-86609-139-3. – EDN QMWLNP.

126. Удалов, А. Д. Применение GPU для оптимизации решения задач визуализации в реальном времени с применением Unity / А. Д. Удалов, А. В. Панов // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: Сборник научных статей по итогам десятой международной научной конференции, Казань, 30 ноября 2019 года. Том Часть 2. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2019. – С. 53-54. – EDN NALWZD.

127. Федорищев, Л. А. Модели, методы и инструментальные сервисы для создания профессиональных виртуальных облачных сред: специальность 05.13.11 "Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Федорищев Леонид Александрович. – Владивосток, 2013. – 201 с. – EDN SUZGSH.

128. Федченко, А. Д. Виртуальная реальность в современных технологиях профессионального образования / А. Д. Федченко // Вестник молодых ученых и специалистов Самарского университета. – 2020. – № 2(17). – С. 43-49. – EDN SRVGRD.

129. Фармацевтика в виртуальной реальности (VR) / Асланов Р.Э., Артемьев И.А., Большаков А.А., Гриншкун А.В., Кузнецов С.В., Рунасов К.А., Усатова С.Г., Фролов А.А., Шишкин И.Н., Шунина Л.А. // Свидетельство о

регистрации программы для ЭВМ № 2023614244. Заявка № 2023612249 от 07.02.2023. зарег. 27.02.2023.

130. Халиуллин, А. Р. Разработка архитектурных решений, алгоритмов и программных инструментов организации взаимодействия компонентов распределенных компьютерных тренажеров, реализующих виртуальную среду профессиональной деятельности диспетчеров систем газонефтепроводов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. Р. Халиуллин. – Москва, 2017. – 107 с. – EDN VXGDYC.

131. Харитонов, В. Ю. Сетевые механизмы обеспечения согласованности данных в распределенных системах виртуальной реальности: специальность 05.13.15 "Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Харитонов Василий Юрьевич. – Москва, 2010. – 187 с. – EDN QEVVPR.

132. Харькова, А. Д. Анализ программного обеспечения для разработки образовательных VR приложений / А. Д. Харькова // Научные известия. – 2022. – № 28. – С. 43-46. – EDN PDCVDJ.

133. Хозе Е.Г. Виртуальная реальность и образование // Современная зарубежная психология. 2021. Т. 10. № 3. С. 68-78.

134. Хоменко, Т. В. Моделирование процесса принятия решений в деятельности учебно-методического управления регионального вуза / Т. В. Хоменко, И. В. Аксютин, Л. Б. Аминул // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2019. – № 3. – С. 133-140. – DOI 10.24143/2072-9502-2019-3-133-140. – EDN UTLKIN.

135. Хархасов, В. В. Инструменты оптимизации Unity / В. В. Хархасов // Студенческий научный форум 2021 : сборник статей Международной научно-практической конференции, Пенза, 20 октября 2021 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2021. – С. 61-64. – EDN VTTWSY.

136. Чабаненко, Е. Д. Оптимизация изображений для дополненной и виртуальной реальности / Е. Д. Чабаненко // Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы: материалы VI Международной научно-практической конференции, Коломна, 30 апреля 2019 года. – Москва: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский политехнический университет", 2020. – С. 180-188. – EDN UKEMMN.

137. Шакаев, В. Д. Моделирование воксельных ландшафтов для автоматизации проектирования систем виртуальной реальности: специальность 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования (информационные технологии и промышленность)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шакаев Вячеслав Дмитриевич. – Волгоград, 2019. – 20 с.

138. Шалкин, Р. С. Разработка приложения виртуальной реальности для моделирования парковочного пространства / Р. С. Шалкин, И. В. Макарова, П. А. Буйвол // XIII Камские чтения : сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Набережные Челны, 19 ноября 2021 года. – Набережные Челны: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2021. – С. 310-314. – EDN XIQDCQ.

139. Швецов, В. П. Особенности 3D моделирования в программе Autodesk Maya 2017 / В. П. Швецов, Л. Ю. Забелин // Современные проблемы телекоммуникаций: Материалы Российской научно-технической конференции, Новосибирск, 26–27 апреля 2017 года. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2017. – С. 491-498. – EDN ZFMMZZ.

140. Шайдуров, А. А. Возможности программного обеспечения Blender для создания трёхмерной компьютерной графики / А. А. Шайдуров // Постулат. – 2018. – № 8(34). – С. 40. – EDN XZRJGX.

141. Штанюк, А. А. Разработка учебных примеров по смешанному программированию на языках C# и C++ / А. А. Штанюк // Постулат. – 2020. – № 12(62). – EDN JQXZFN.

142. Ярославцева, В. А. Автоматизация процесса создания виртуальных тренажеров: интеграция семиотических объектов в сцены реального мира / В. А. Ярославцева, С. П. Соловьев // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2013. – Т. 1. – С. 93-94. – EDN VBKFHF.\

143. Aslanov, R. Method for constructing virtual reality simulators for turning and milling for an engineering education system for building cyber-physical systems / R. Aslanov, A. Bolshakov // Society 5.0. Cyber-Solutions for Human-Centric Technologies / Editors A. G. Kravets [et al.]. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2023. – P. 91–106. – (Studies in Systems, Decision and Control ; vol. 437). – DOI 10.1007/978-3-031-35875-3_8.

144. Abrahamsson, P. Agile Software Development Methods: Review and Analysis / P. Abrahamsson, O. Salo, Jussi Ronkainen, J. Warsta // ArXiv abs/1709.08439, (2017)

145. Akin, M. Application Design and Implementation for the Automotive Industry with Virtual Realit / M. Akin, Y. Uzun // Hittite Journal of Science and Engineering, vol. 9, issue 2, (2022), pp.133-143, ISSN NUMBER: 2148-4171, DOI: 10.17350/HJSE19030000264"

146. Baron, D. Game Development Patterns with Unity 2021: Explore practical game development using software design patterns and best practices in Unity and C# / D. Baron – Packt Publishing, 2021

147. Bolshakov A.A., Klyuchikov A.V., Kovylov N.V. Building a system architecture for displaying data in a complex of output devices // 2020 Int. Conf. Actual Probl. Electron Devices Eng., APEDE 2020. 2020. paper № 9255414, pp. 302-304. DOI 10.1109/APEDE48864.2020.9255414. ISBN 9781728143088.

148. Boschmann, A. Immersive augmented reality system for the training of pattern classification control with a myoelectric prosthesis / A. Boschmann, D.

Neuhaus, S. Vogt, C. Kaltschmidt, M. Platzner, S. Dosen / Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation vol. 18, Article number: 25 (2021)

149. Bracq, M. Learning procedural skills with a virtual reality simulator: An acceptability study / M. Bracqa, E. Michinova, B. Arnaldib, B. Caillaudc, B. Gibauid, V. Gourantonb, P. Jannin // Nurse Education Today, vol. 79, (2019), pp. 153-160, ISSN 0260-6917"

150. Cirpesso, P. The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature / P. Cipresso, I.A. Chicchi Giglioli, M.A. Raya, G. Riva // Front. Psychol., (2018), Sec. Human-Media Interaction, vol. 9

151. Chugunkov I. V., Kabak D. V., Vyunnikov V. N., Aslanov R. E. Creation of datasets from open sources // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018, St. Petersburg and Moscow. – St. Petersburg and Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. – P. 295-297. – DOI 10.1109/EIConRus.2018.8317091. – EDN YBXTUD.

152. Doolani, S. A Review of Extended Reality (XR) Technologies for Manufacturing Training / S. Doolani, C. Wessels, V. Kanal, C. Sevastopoulos, A. Jaiswal, H. Nambiappan, F. Makedon // Technologies, 2020

153. Doolani, S. vIS: An Immersive Virtual Storytelling System for Vocational Training / S. Doolani, L. Owens, C. Wessels, F. Makedon // Appl. Sci. 2020, 10, 8143

154. Fang, H. Design and Application of VR Lab Based on Unity / H. Fang / Journal of Physics: Conference Series 1982, (2021), n. pag.

155. Faniran, V.T. Adopting Scrum as an Agile approach in distributed software development: A review of literature / V. T. Faniran, A. Badru, N. Ajayi // 1st International Conference on Next Generation Computing Applications (NextComp), Mauritius, 2017, pp. 36-40, doi: 10.1109/NEXTCOMP.2017.8016173.

156. Fleischmann, A. Software Life Cycles / A. Fleischmann // Improving Product Reliability and Software Quality, (2019), pp 45–55
157. Hadamus, A. Effectiveness of Early Rehabilitation with Exergaming in Virtual Reality on Gait in Patients after Total Knee Replacement / A. Hadamus, M. Błażkiewicz, K.T. Wydra, A.J. Kowalska, M. Łukowicz, D. Białoszewski, W. Marczyński // J. Clin. Med. 2022, 11, 4950.
158. Jantjies, M. Experiential learning through Virtual and Augmented Reality in Higher Education / M. Jantjies, T. Moodley, R. Maart // ICETM '18: Proceedings of the 2018 International Conference on Education Technology Management Pages 42–45 <https://doi.org/10.1145/3300942.3300956>
159. Jaya, H. Potential utilization of virtual reality learning for vocational school teachers / H. Jaya, S. Haryoko, A.R. Baharuddin, Lu'mu, Saharuddin, Mantasia, I. Suhardi // World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences, vol. 7, issue 2, 2022, pp. 054–061
160. Joeres, F. Laparoscopic augmented reality registration for oncological resection site repair / F. Joeres, T. Mielke, Ch. Hansen // International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. – 2021. – Vol. 16, No. 9. – P. 1577-1586. – DOI 10.1007/s11548-021-02336-x. – EDN TOKYMT.
161. Jorge Martín-Gutiérrez, Carlos Efrén Mora, Beatriz Añorbe-Díaz, Antonio González-Marrero. Virtual Technologies Trends in Education // EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education ISSN 1305-8223 (online) 1305-8215 (print) 2017 13(2):469-486 DOI 10.12973/eurasia.2017.00626a.
162. Koç, G. Trustworthy scrum: Development of secure software with scrum / G. Koç, M. Aydos // International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), Antalya, Turkey, 2017, pp. 244-249, doi: 10.1109/UBMK.2017.8093383.
163. Krauß, V. Current Practices, Challenges, and Design Implications for Collaborative AR/VR Application Development / V. Krauß, A. Boden, L. Oppermann, R. Reiners // Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, (2021), pp 1-15

164. Kyaw, B.M. Virtual Reality for Health Professions Education: Systematic Review and Meta-Analysis by the Digital Health Education Collaboration / B.M. Kyaw, N. Saxena, P. Posadzki, J. Vseteckova, C.K. Nikolaou, P.P. George, U. Divakar, I. Masiello, A.A. Kononowicz, N. Zary, L. Tudor Car // *Medical Internet Research*, Vol 21, No 1, 2019
165. Lee, j. The Impact of VR Application on Student's Competency Development: A Comparative Study of Regular and VR Engineering Classes with Similar Competency Scopes / j. Lee, O.A. Shvetsova // *Sustainability* (2019): n. pag.
166. Lerner, D. An Immersive Multi-User Virtual Reality for Emergency Simulation Training: Usability Study / D. Lerner, S. Mohr, J. Schild, M. Göring, T. Luiz // *JMIR Serious Games*, vol. 8, issue 3, (2020)"
167. Li, F. VR interactive game design based on unity3d engine / F. Li // *International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS)*, Sanya, China, 2020, pp. 142-145, doi: 10.1109/ICRIS52159.2020.00043.
168. Licorish, S.A. Adoption and Suitability of Software Development Methods and Practices / S. A. Licorish, J. Holvitie, S. Hyrynsalmi, V. Leppänen, R. Spínola, T. Mendes, S.G. MacDonell, J. Buchan // *2016 23rd Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*, (2021), pp 369-372.
169. Ma, X. VR Interactive Game System Based on Unity3d and Flow Data Processing / X. Ma // *6th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, Coimbatre, India, 2021, pp. 1721-1724, doi: 10.1109/ICCES51350.2021.9489009.
170. McGuinn Irina V. Application of the new technologies: Augmented Reality and Virtual Reality in Education. *Cross-Cultural Studies: Education and Science*, Vol. 7, Issue 2, (2022), pp. 126-132 (in the USA).
171. O'Regan, G. *Software Life Cycles* / G. O'Regan // *The Innovation in Computing Companion*. Springer, Cham, (2018), pp 239–242
172. Parong, J. Learning Science in Immersive Virtual Reality / J. Parong, R.E. Mayer // *Learning science in immersive virtual reality. Journal of Educational Psychology*, vol. 110, issue 6, (2018), pp. 785–797.

173. Qingyang I, Qian L., Ziwei L., Shen J. Virtual reality or video-based self-instruction: comparing the learning outcomes of cardiopulmonary resuscitation training // Bulletin of the South Ural State University. Series: Education. Educational sciences. 2021. T. 13. № 2. pp. 53-62.

174. Radianti, J. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda / J. Radianti, T. A. Majchrzak, J. Fromm, I. Wohlgenannt // Computers & Education, vol. 147, 2020, 103778, ISSN 0360-1315

175. Rokooei, S. Virtual reality application for construction safety training / S. Rokooei, A. Shojaei, A. Alvanchi, R. Azad, N. Didehvar // Safety Science. – 2023. – v. 157 – p. 1-9 – 105925 – ISSN 0925-7535

176. Venkatesh, V. How agile software development methods reduce work exhaustion: Insights on role perceptions and organizational skills / V. Venkatesh, J. Thong, F. Chan, H. Hoehle, K. Spohrer // Information Systems Journal 30, (2020), pp. 733 - 761.

Приложение А. Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

RU

2021660861

(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): <u>2021660861</u>	Авторы: Асланов Роман Эдвинович (RU), Артемьев Игорь Анатольевич (RU), Фролов Артем Андреевич (RU), Хаббатуллин Роман Радикович (RU), Шишкин Иван Николаевич (RU)
Дата регистрации: 02.07.2021	
Номер и дата поступления заявки: 2021615879 17.04.2021	
Дата публикации: <u>02.07.2021</u>	Правообладатели: Асланов Роман Эдвинович (RU) Артемьев Игорь Анатольевич (RU) Фролов Артем Андреевич (RU) Хаббатуллин Роман Радикович (RU) Шишкин Иван Николаевич (RU)
Контактные реквизиты: Эл. почта: Aslanov.boxing@mail.ru, тел.: +7 963 972 56 75, Роман Асланов	

Название программы для ЭВМ:
Лаборатория универсальной токарной и фрезерной обработки в среде виртуальной реальности (VR)

Реферат:

Программа разработана для симуляции работы на универсальном металлообрабатывающем оборудовании в среде VR, а также для обучения и подготовки трудового состава. Программа представляет собой полную имитацию работы универсального токарного и фрезерного универсального станка, обладает пакетом возможностей, которые идентичны оригинальному оборудованию. В симуляции представлен универсальный токарный станок с устройством цифровой индикации и набором инструментов – резцы и сверла. Также в симуляции представлен универсальный фрезерный станок с позиционной системой управления и устройством цифровой индикации с набором режущего инструмента. Основное меню содержит два режима: обучение либо симуляция. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК. ОС: Windows 7 и выше.

Язык программирования: C#

Объем программы для ЭВМ: 1,31 ГБ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства): 2022611048	Авторы: Асланов Роман Эдвинович (RU), Дудырев Федор Феликсович (RU), Печеная Анна Сергеевна (RU), Плеханов Андрей Михайлович (RU), Рунасов Кирилл Андреевич (RU)
Дата регистрации: 19.01.2022	
Номер и дата поступления заявки: 2021667125 25.10.2021	
Дата публикации: 19.01.2022	
Контактные реквизиты: Эл. почта: Aslanov.boxing@mail.ru, тел.: +79639725675, Роман Асланов	
	Правообладатель: Асланов Роман Эдвинович (RU)

Название программы для ЭВМ:

Система интеграции интернета вещей (IoT) в пространство информационной модели (BIM) на базе технологии виртуальной реальности (VR)**Реферат:**

Программа разработана для иммерсивного погружения пользователей в виртуальную среду реальных зданий, с возможностью управления умными объектами инфраструктуры в режиме реального времени. Программа представляет собой информационную модель школы (BIM), по которой можно перемещаться, используя технологию виртуальной реальности (VR), взаимодействовать с объектами школьной инфраструктуры, такими как стёкла, жалюзи, освещение, температура воздуха в помещении и др. на основе технологии интернета вещей (IoT) в реальном времени. Взаимодействие с объектами инфраструктуры, происходящие в виртуальной реальности, будет отображаться в реальности в режиме реального времени в помещении. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК. ОС: Windows 7 и выше.

Язык программирования: C#**Объем программы для ЭВМ:** 412 МБ

Приложение Б. Копии актов об использовании результатов диссертационного исследования



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «АЙТИПРО»

105082, Г.Москва, вн.тер.г. Муниципальный Округ Басманный,
ул Большая Почтовая, д. 55/59, стр. 1

ОГРН 1217700579612 ИНН/КПП 9701190525/770101001

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор ООО «АЙТИПРО»

О.Н. Павлова

«08» февраля 2023 г.



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Асланова Романа Эдвиновича

ООО «АЙТИПРО» – это инновационная компания, специализирующаяся на разработке компьютерного программного обеспечения в области расширенной реальности, в которую входят: виртуальная, дополненная и смешанная реальности. Основные разработки выполнены в области производства и образования. Большая часть заказов относится к разработке симуляторов виртуальной реальности для различных подсистем автоматизированных систем управления производством.

Внедрение методики построения симуляторов виртуальной реальности с использованием разработанного детализированного описания этапов проектирования, отраженном в виде схемы управления проектом, модели онтологии процесса построения симуляторов виртуальной реальности и метода разработки архитектуры приложения, реализующего заданный комплекс функций с применением визуальных компонентов симулятора виртуальной реальности, позволило сократить время проектирования и разработки симуляторов виртуальной реальности для АСУП на 32%.

Руководитель проектов ООО «АЙТИПРО»

Рунасов К.А.

Ведущий программист ООО «АЙТИПРО»

Обозный Д.Ф.

Ведущий 3D - дизайнер ООО «АЙТИПРО»

Шаповалов М.А.

Департамент образования и науки города Москвы
Государственное бюджетное профессиональное
образовательное учреждение
города Москвы
**«Московский государственный образовательный комплекс»
(ГБПОУ МГОК)**

Вишнёвая улица, дом 5, Москва, 125362
Телефон/факс 8 (495) 491-57-55, 8 (495) 491-92-25
ИНН/КПП 7733023121/773301001

<http://mgok.mskobr.ru/>
E-mail: mgok@edu.mos.ru



«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ГБПОУ МГОК
И.А. Артемьев
«25» января 2022 г.

АКТ

**об использовании результатов кандидатской диссертационной работы
Асланова Романа Эдвиновича**

ГБПОУ «Московский государственный образовательный комплекс» (далее – ГБПОУ МГОК) является государственным бюджетным профессиональным образовательным учреждением. Учредителем Образовательного комплекса является Департамент образования и науки города Москвы. ГБПОУ МГОК представляет современный образовательный комплекс нового поколения, транслирующий идеи нового времени, которые подразумевают погружение в специальность, через практико-ориентированное обучение и непрерывность образования. Стратегия развития МГОК предполагает формирование единой доступной образовательной среды, основанной на инновационных методах обучения, ориентированной на модульно-компетентный подход. Работодателями являются партнеры: Ростех, Роскосмос, Росатом.

Разработанный тренажер виртуальной реальности: «Лаборатория универсальной токарной и фрезерной обработки в среде виртуальной реальности (VR) / Р.Э. Асланов, И.А. Артемьев, А.А. Фролов, Р.Р. Хаббатуллин, И.Н. Шишкин // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021660861. Заявка № 2021615879 от 17.04.2021. зарег. 02.07.2021» используется в работе ГБПОУ МГОК в рамках обучения и оценки компетенций обучающихся. Тренажер виртуальной реальности применяется в обучении по профессиональным программам и в учебной практике программного модуля «ПМ.03 Разработка технологических процессов для сборки узлов и изделий в механосборочном производстве», в программах профессионального обучения ФГОС 19.01.01 Аппаратчик-оператор в биотехнологии, 15.02.16 Технология машиностроения, при проведении чемпионатов профессионального мастерства по компетенции «Полимеханика и автоматизация» и в профориентационной деятельности проектов системы московского образования. Внедрение результатов исследования повысило качество подготовки операторов АСУП на 9,64% за счет увеличения практической подготовки на тех же расходных материалах. Дополнительная возможность отработки нештатных ситуаций и безопасных для здоровья навыков является значительным преимуществом использования тренажера.

Разработанные по методам и алгоритмам Асланова Р.Э. образовательные тренажеры (Токарные и фрезерные работы, промышленные биотехнологии, геномная инженерия, фармацевтика) успешно используются в ГБПОУ МГОК.

Старший методист

Кильдеев Т.А.



www.atlas100.ru

ООО «Атлас новых профессий»
127486 г.Москва, Коровинское шоссе д.4, кор.3, кв.116
ИНН/КПП 7727460067/ 772701001
ОГРН 1217700066924
e-mail: atlas@atlas100.ru

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

ООО "Атлас новых профессий"

Е.А. Виноградов

«09» мая 2023 г.

«Атлас новых профессий»
М.П.



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Асланова Романа Эдмисовича

ООО «Атлас новых профессий» – компания, занимающаяся исследованиями и разработкой проектов, направленных на образование будущего. К ним относятся проведение лекций о профориентации, карьерном самоопределении, новых профессиях и навыках, тренингов по мягким навыкам будущего, форсайт-исследованиях, а также разработка Атласов новых профессий для регионов и предприятий под ключ. «Атлас новых профессий» (АНП) — мультимедийное и книжное издание, на основе разработки экспертной группы Агентства стратегических инициатив, Московской школы управления «Сколково» при участии Министерства образования и науки РФ, Министерства промышленности и торговли РФ, Министерства транспорта РФ, WorldSkills Russia, Министерства труда и социальной защиты РФ и др.

В рамках новых проектов разработан симулятор виртуальной реальности «Сервис цифровых (VR) микропрофессиональных проб». Демонстрация с использованием проекта реалий профессии инженера-нефтяника позволяет обучающимся делать выбор, повышает процент целенаправленно выбравших профессию и снижает процент уходящих в процессе обучения. При этом VR-технологии – это эффективный способ реализовать демонстрацию без выезда на отдаленные и опасные площадки. Использование методики построения симуляторов виртуальной реальности с применением разработанного детализированного описания этапов проектирования, отраженном в виде схемы управления проектом позволило разработать приложение с уменьшением финансовых затрат на 23% за счет сокращения времени на разработку и проектирование.

Методичка проекта «Сервис цифровых (VR) микропрофессиональных проб»
В.С. Осипов

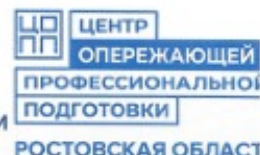


МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

РОСТОВСКИЙ-НА-ДОНУ КОЛЛЕДЖ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ

ЦЕНТР ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

пр-кт. Коммунистический, 11, г. Ростов-на-Дону, Россия, 344058
<https://copp161.ru/>, e-mail: copp161@copp161.ru
Тел.: +7 (928) 965-22-91



№ 81
от « 18 » мая 2023 г.



СПРАВКА

о практическом использовании результатов кандидатской диссертационной работы Асланова Романа Эдвиновича

Разработанный в рамках диссертационного исследования программный комплекс «Лаборатория универсальной токарной и фрезерной обработки в среде виртуальной реальности (VR)» успешно внедрен в работу Центра опережающей профессиональной подготовки Ростовской области структурного подразделения государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения Ростовской области «Ростовский-на-Дону колледж связи и информатики».

Программный комплекс «Лаборатория универсальной токарной и фрезерной обработки в среде виртуальной реальности (VR)» используется в профессиональной ориентации школьников. Программный комплекс позволяет демонстрировать работу универсальных токарных и фрезерных станков в условиях физической недоступности оборудования на выездных мероприятиях.

Заместитель руководителя
по реализации образовательных проектов

Я.В. Колесникова

ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ
«АГЕНТСТВО ПО РАЗВИТИЮ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА»
(ГАУ СО «АРЧК»)

Россия, 693023, Сахалинская область, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, д. 259 В, оф. 603
тел.: (4242) 31-11-13, e-mail: ma.gvnsrchk@sakhalin.gov.ru
ОКПО: 44586716, ОГРН: 1206500003160, ИНН/КПП 6501309746/650101001

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Асланова Романа Эдвиновича

Разработанный в рамках диссертационного исследования программный комплекс «Лаборатория универсальной токарной и фрезерной обработки в среде виртуальной реальности (VR)» успешно внедрен в работу Агентства по развитию человеческого капитала Сахалинской области.

Программный комплекс «Лаборатория универсальной токарной и фрезерной обработки в среде виртуальной реальности (VR)» используется в подготовке обучающихся по направлению машиностроения в области токарной и фрезерной обработки.

Генеральный директор
МП



А.О. Кожененко

17.03.2023

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор ООО «ИСЗ»

Филлимонов Д.И.

«26» мая 2023 г.



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Асланова Романа Эдвиновича

ООО «ИСЗ» – это инновационная компания, специализирующаяся на разработке компьютерного программного обеспечения в области расширенной реальности, в которую входят: виртуальная, дополненная и смешанная реальности.

Основные разработки компании выполняются в области симуляции производственных процессов и образования (обучения), в том числе реализуются виртуальные тренажеры для спорта и наземных космических экспериментов (симуляторов) в виртуальной реальности.

Для разработки экспериментального тренажера «Виртуальная симуляция напланетной деятельности» для серии международных космических экспериментов «Сирнус», проводимых в ГИЦ РФ – ИМБИ РАН с участием Роскосмоса, NASA и UAESA была внедрена методика проектирования и разработки симуляторов виртуальной реальности, основанная на детальном описании этапов проектирования, представленном в форме управляющей схемы проекта, онтологической модели процесса построения симуляторов виртуальной реальности и методе разработки архитектуры приложения, обеспечивающего широкий спектр функций с использованием визуальных компонентов симулятора виртуальной реальности.

Внедрение предложенной методики позволило сократить время проектирования и разработки симулятора виртуальной реальности «Виртуальная симуляция напланетной деятельности» для ГИЦ РФ – ИМБИ РАН (эксперимент «Сирнус») с 4 до 2,5 месяцев.

Руководитель проектов ООО «ИСЗ»

Ведущий программист ООО «ИСЗ»

Руководитель Лаборатории отдела Психофизиологии
и оптимизации профессиональной деятельности
операторов ГИЦ РФ – ИМБИ РАН

Абдуханов Р.Х.

Малочка А.В.

Гушин В.И.



Приложение В. Проект на Смартке АСИ

<https://smarteka.com/uploads/files/2021/07/25/93703963-2120-432f-85aa-4c0ea1b36b547bcbb67b-c6f2-4749-9e3a-7be1d33fa933.pdf>

