

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
Тюменский государственный нефтегазовый университет

На правах рукописи

Гаммер Максим Дмитриевич

УДК 681.3.082

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИМИТАЦИОННЫХ
ТРЕНАЖЕРОВ**

Специальность 05.13.12 – “Системы автоматизации проектирования в
машиностроении”

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
Сызранцев Владимир Николаевич

Тюмень - 2007

Введение.....	3
1. Задачи автоматизированного проектирования компьютерных имитационных тренажеров	10
1.1. Современные тенденции автоматизации проектирования компьютерных имитационных тренажеров	10
1.2. Нормативная документация по проектированию и эксплуатации КИТ	14
1.3. Возможность и перспективность использования технологии формирования виртуальной реальности при проектировании и эксплуатации КИТ	18
2. Разработка информационного, лингвистического, технического и программного обеспечения САПР КИТ	30
2.1. Информационное обеспечение САПР КИТ	30
2.2. Лингвистическое обеспечение САПР КИТ	46
2.3. Техническое обеспечение САПР КИТ	54
2.4. Программное обеспечение САПР КИТ	58
2.4.1. Проектный модуль импорта исходных данных	64
2.4.2. Проектный модуль редактирования	66
2.4.3. Проектный модуль просмотра и отладки	68
2.4.4. Проектный модуль экспорта	70
3. Состав и описание САПР КИТ	72
3.1. Среда визуального проектирования САПР КИТ	72
3.2. Средства просмотра и отладки	85
3.3. Средства экспорта созданного КИТ	87
4. Решение задач проектирования КИТ с помощью разработанной САПР	89
4.1. Основные принципы работы и потенциальные возможности системы при проектировании КИТ	89
4.2. Факторы, определяющие эффективность КИТ	99
4.3. Результаты внедрения и перспективы развития системы	104
Заключение	106
Литература	108

ВВЕДЕНИЕ

Существует множество прикладных областей, в которых применение систем автоматизированного проектирования (САПР) позволило эффективно автоматизировать практически все трудоемкие ручные операции, обеспечивая при этом высокую эффективность процесса проектирования. На потребительском рынке широкое распространение получили коммерческие программные продукты и системы, такие как AutoCAD, Ansys, P-Cad, используемые для автоматизации конструирования и технологической подготовки производства.

Вместе с тем, наблюдаемый рост вычислительной мощности персональных компьютеров и их доступность, позволили использовать компьютер не только в проектировании, но в качестве средства имитации виртуальной среды. В первую очередь, новая возможность позволила исследовать спроектированное изделие еще до выпуска прототипа, оценить удобство эксплуатации, ремонта, установки (например, комплекс виртуального макетирования многоцелевого самолета-амфибии Бе-200 [39]) и т.д. Кроме того, такое развитие послужило началом новым средствам обучения персонала - компьютерным имитационным тренажерам (КИТ).

Области применения компьютерных тренажеров постоянно расширяются. Помимо авиации, тренажеры находят все более широкое применение в вооруженных силах, медицине, космонавтике и тех областях, где проведение физического обучения сопряжено с существенными трудностями технического плана и значительными материальными затратами: высокая стоимость учебного оборудования и его эксплуатации; большая удаленность обучаемого от места расположения учебного оборудования; высокая опасность выполняемых работ; высокая сложность изменения конфигурации оборудования и параметров среды; большая длительность проведения работ; невозможность визуального наблюдения внутренней структуры изучаемого оборудования, микро- и макрообъектов и процессов, быстрых или медленных процессов или явлений; невозможность визуального наблюдения абстрактных понятий или концепций (например, магнитных полей) и т.д. На сегодняшний

день, наибольшее применение имитационные тренажеры находят при обучении персонала, занятого на опасных участках производства [3,32,94].

Полномасштабные тренажерные системы (в т.ч. на базе центров формирования виртуальной реальности) имеют большинство ведущих компаний мира - Боинг, Форд, Дженерал Моторс, Бритиш Петролеум и многие другие. Использование таких систем, имеющих сравнительно высокую стоимость, повышает качество подготовки персонала и коммерчески оправдано [83,6].

Несмотря на очевидную эффективность и востребованность компьютерных имитационных тренажеров, отсутствуют САПР для их создания. На сегодняшний день компьютерные имитационные тренажеры создаются преимущественно с использованием специализированного программного обеспечения для проектирования виртуальных сред обучения - VEGA, AVANGO, DIVE, VRJuggler. Данный класс программного обеспечения не является САПР, а представляет собой набор компонентов (программных библиотек), облегчающий создание КИТ командами профессиональных программистов, имеющих соответствующую квалификацию и специализацию. Кроме того, существующие технологии в областях распределенной имитации, систем виртуальной реальности и т.д. не полностью стандартизированы, достаточно ресурсоемки и ориентированы, в большей степени, на профессиональную команду разработчиков-программистов.

Главная проблема состоит в том, что многие предприятия, занимающиеся повышением квалификации персонала, создающие интерактивные руководства по использованию выпускаемой ими продукции, а также учебные заведения, очень редко имеют такой ресурс, и именно по этой причине современные компьютерные имитационные тренажеры, в т.ч. основанные на системе виртуальной реальности, не получили массового распространения. Для решения указанной проблемы необходима комплексная автоматизация проектирования КИТ.

В связи с этим актуальным является создание САПР КИТ, которая позволит разрабатывать современные компьютерные имитационные тренажеры

пользователями, не имеющими профессиональных знаний в области программирования, компьютерной графики и т.д.

Цель настоящей работы заключается в повышении качества проектирования компьютерных имитационных тренажеров, снижении материальных затрат, сокращении сроков и сложности проектирования компьютерных имитационных тренажеров путем создания САПР КИТ.

Для реализации этой цели в работе решаются следующие **задачи**:

- анализ современного состояния автоматизации проектирования компьютерных имитационных тренажеров;
- определение специфики компьютерных имитационных тренажеров как класса программного обеспечения, определение требований к проектируемым имитационным тренажерам, определение критериев эффективности;
- анализ математической модели КИТ;
- разработка лингвистического, информационного, технического и программного обеспечения САПР КИТ;
- анализ возможности системы при решении задач проектирования компьютерных имитационных тренажеров.

Объект исследования: средства и методы разработки компьютерных имитационных тренажеров.

Методы исследования. При исследовании использованы методы математического моделирования, теории компьютерной графики, теории последовательностей, теории графов, теории алгоритмов и программирования.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. специфика компьютерных имитационных тренажеров как класса программного обеспечения;
2. разработанное лингвистическое, информационное, технологическое и программное обеспечение САПР КИТ;
3. предложенные критерии эффективности компьютерных имитационных тренажеров и средств их разработки.

Научная новизна

- Разработан подход создания информационного обеспечения, основанный на интеграции технологий распределенного имитационного моделирования и технологии предоставления электронного образовательного контента с применением механизма повторного использования элементов КИТ.
- Разработана математическая модель и классификация типов КИТ, позволяющая сформулировать ограничение на процесс декомпозиции, выбрать направление декомпозиции, то есть реализовать первый этап создания рекомендаций пользователям САПР КИТ.
- Разработан компонент лингвистического обеспечения – языковой процессор, существенно упрощающий процедуру проектирования КИТ, набор функций которого оптимизирован по критериям скорости выполнения.
- Предложены критерии эффективности имитационных тренажеров.

Практическая ценность результатов

Разработанная САПР КИТ позволяет повысить качество проектирования компьютерных имитационных тренажеров, снизить материальные затраты, сократить сроки и упростить процедуру проектирования компьютерных имитационных тренажеров. Использование рассматриваемой САПР КИТ позволяет реализовать прогрессивные технологии обучения персонала и студентов.

Компьютерные имитационные тренажеры, созданные с помощью САПР КИТ, имеют поддержку международных стандартов SCORM и IMS, интегрируются в системы предоставления электронного образовательного контента. Поддержка стандарта IEEE 1516 гарантирует возможность объединения различных тренажеров (с том числе сторонних производителей) в один, что позволяет реализовать сложные тренажерные комплексы.

Применение кроссплатформенных решений позволяет использовать создаваемые компьютерные тренажеры на различных аппаратных платформах и операционных системах (MS Windows, Linux, MAC OS и т.д.). Реализована возможность функционирования созданных при помощи САПР компьютерных

имитационных тренажеров, как на стандартных персональных компьютерах, так и в составе систем виртуальной реальности.

Разработанная САПР КИТ успешно используется в проектной практике Научно-исследовательского института электронных образовательных ресурсов Тюменского государственного нефтегазового университета (НИИ ЭОР ТюмГНГУ), что подтверждено актами внедрения. Созданные с помощью САПР КИТ компьютерные имитационные тренажеры внедрены в учебный процесс ТюмГНГУ по 5 учебным дисциплинам.

Апробация научных положений и результатов работы

Основные положения и результаты работы докладывались на международной научно-технической конференции “Новые информационные технологии в нефтегазовой промышленности и энергетике” (Тюмень, 2003 г.); международной научно-практической конференции “Проблемы развития ТЭК Западной Сибири на современном этапе” (Тюмень, 2003 г.); региональной научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых “Новые технологии – нефтегазовому региону” (Тюмень, 2003 г.); региональной научно-практической конференции “Информационные технологии в образовании” (Тюмень, 2004 г.); международной научно-практической конференции “Нефть и газ Западной Сибири” (Тюмень, 2005 г.); Всероссийском форуме “Современная образовательная среда - 2006” (Москва, 2006 г.)

Публикации

По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, получены 3 авторские свидетельства на созданные имитационные тренажеры (№ 2004612593, 2004612377, 2004612530), получено авторское свидетельство для программы ЭВМ №2007614293.

Программный комплекс для проектирования имитационных тренажеров экспонировался на Всероссийской выставке «Современная образовательная среда - 2006» и удостоен серебряной медали.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений, изложенных на 121 страницах машинописного текста;

содержит 57 рисунков и графиков, 22 таблиц, список литературы из 113 наименований.

В первой главе анализируются современные тенденции автоматизации проектирования КИТ, формируется специфика САПР КИТ, приводятся основные задачи работы. В отдельных разделах главы представлен анализ нормативной документации, относящейся к проектированию и эксплуатации компьютерных имитационных тренажеров, а также анализ возможности и перспективности использования технологии формирования виртуальной реальности.

Вторая глава посвящена разработке информационного, лингвистического, технического и программного обеспечения САПР КИТ. Определены категории пользователей САПР КИТ, входные, промежуточные и выходные данные, показана возможность свести задачу проектирования компьютерного имитационного тренажера к формализованной последовательности. Приводится разработанная методика создания информационного и лингвистического обеспечения. Приводится описание основных программных модулей САПР КИТ с соответствующими блок-схемами алгоритмов функционирования.

В третьей главе приводится описание состава САПР КИТ, визуальная среда разработки, реализующая все этапы проектирования КИТ и контекстно-зависимая справочная система. Рассмотрены средства, используемые для представления входных, промежуточных и окончательных результатов – создание объектов, определение атрибутов и иерархии, написание и отладка математических моделей, процедура экспорта и т.д. Показана возможность проектирования КИТ для последующего использования в составе систем формирования виртуальной реальности.

Четвертая глава посвящена вопросам использования рассматриваемой САПР для практического проектирования КИТ и описывает процедуру создания демонстрационного КИТ “Испытания компрессора 4ВУ1-5/9”. Проектирование начинается с определения целей и задач КИТ, определения

имитируемого оборудования, создания и отладки математической модели КИТ и заканчивается экспортом автономного КИТ. Показывается возможность автономной работы созданного КИТ в различных операционных системах, в составе систем предоставления электронного образовательного контента, а также в составе систем формирования виртуальной реальности. В отдельном разделе главы рассматриваются факторы, определяющие эффективность компьютерных имитационных тренажеров. Кроме того, рассматриваются перспективы развития САПР КИТ и приводятся данные о внедрении.

1. ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИМИТАЦИОННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ

1.1. Современные тенденции автоматизации проектирования компьютерных имитационных тренажеров

Рассматривая современное состояние и тенденции автоматизации проектирования компьютерных имитационных тренажеров (КИТ), можно отметить, что процессу автоматизации проектирования КИТ присущи тенденции, характерные для современных САПР вообще, так и отличительные особенности, обусловленные спецификой объекта проектирования – компьютерными имитационными тренажерами.

Современные тенденции в области САПР достаточно подробно освещены в литературе по исследованиям САПР, проведенными Горбатовым В.А. [12], Гольдфарбом В.И. [10, 11], Малиной О.В. [46,47] и другими [51,52,58,41]. Изучение указанных источников, а также иных материалов, позволило установить, что проектирование КИТ является относительно новым, но активно развивающимся направлением в САПР, наряду с направлениями, направленными на решение задач исследования спроектированного изделия до выпуска прототипа, САПР имитационного моделирования производственных процессов и т.д. [44,24]. Особенность данного направления заключается в том, что, во-первых, проектируемое изделие (КИТ) само является программным обеспечением, во-вторых, наблюдается тенденция выделения компьютерных имитационных тренажеров в отдельный класс программного обеспечения. Это обстоятельство позволяет позиционировать САПР КИТ ближе к системам САЕ, таким как MathCAD.

Основой процесса создания системы автоматизированного проектирования [15,16], в частности САПР КИТ, является создание информационного, лингвистического, технического и программного обеспечения. Специфика объекта проектирования – КИТ, в значительной степени определяет требования к данному обеспечению создаваемой системы автоматизированного

проектирования, что требует дополнительного изучения литературы, касающейся исследований теории, методологии построения и использования компьютерных имитационных тренажеров.

Исследования компьютерных имитационных тренажеров освещены в работах, проведенных Дозорцевым В. М., Луценко Е.В. [45] и другими [60,50,37,80,81,88]. Данные указанных источников, позволяют сделать вывод о том, что, на сегодняшний день нет единого общепринятого стандарта для компьютерных имитационных тренажеров, определяющего терминологию, допустимые области применения и другие требования. Кроме того, в источниках [61,59] показано, что на сегодняшний день компьютерные имитационные тренажеры создаются преимущественно с использованием специализированного программного обеспечения для проектирования виртуальных сред обучения - VEGA, AVANGO, DIVE, VRJuggler [54,73,72]. Указанное программное обеспечение представляет собой набор компонентов (программных библиотек), облегчающий создание компьютерных имитационных тренажеров командами профессиональных программистов, имеющих соответствующую квалификацию и специализацию. По мнению тех же источников, такое положение связано с существующей противоречивостью взглядов при определении концепции КИТ.

Несмотря на отсутствие единого стандарта, такой класс программного обеспечения как компьютерные имитационные тренажеры имеет характерные черты, позволяющие применить в отношении КИТ 4 группы стандартов и спецификаций, это: применение тренажеров в обучении (ГОСТ 26387-84) [18]; распределенное имитационное моделирование (IEEE 1516) [98,99,100,97]; хранение и предоставление электронных образовательных ресурсов (IMS, ADL, LTSC, SCORM) [28,93,49,101]; эргономические требования по работе с компьютерными системами отображения информации (ISO 9241, ISO 10075, ISO 13407) [105,103,104]. Совмещение требований и ограничений, указанных в изученных стандартах и спецификациях, определяет специфику объектов проектирования - компьютерных имитационных тренажеров. Поскольку формирование специфики имеет значительный объем изложения,

изучение указанных нормативных документов приводится в отдельном разделе данной главы.

Рассматривая современные направления автоматизации проектирования КИТ, также можно выделить тенденции, которые не носят характера общих, но представляются достаточно важными.

Отметим среди них все более заметную тенденцию использования в процессе проектирования активноразвивающуюся технологию формирования виртуальной реальности (VR). На сегодняшний день множество компаний, таких как IBM или SUN, занимаются исследованиями, так или иначе связанными со средствами имитации виртуальной среды. Об этом свидетельствуют множество публикаций на таких международных конференциях как ITEC [106], SCS [112], SigGraph [110], International Conference on Artificial Reality and Tele-existence [111] и др. Системы VR способны реализовать принципиально новый и очень эффективный способ обмена информацией. Возможности исследования и запоминания информации в несколько раз превосходит традиционные способы [70]. Эти и другие качества систем VR имеют большую значимость для систем автоматизированного проектирования, в частности для САПР КИТ. Анализ возможности и перспективности использования технологии формирования виртуальной реальности при проектировании и эксплуатации КИТ приводятся в отдельном разделе главы.

Еще одним заметным современным направлением в автоматизации проектирования является применение в процессе проектирования элементов систем искусственного интеллекта. Одним из таких элементов являются базы знаний, в которых может содержаться информация о методах проектирования, проектируемые объекты, часто используемые имитационные модели и т.д. [38,21]

Анализ современного состояния автоматизации проектирования компьютерных имитационных тренажеров позволяет сделать вывод о возможности и целесообразности повышения качества проектирования компьютерных имитационных тренажеров, снижении материальных затрат,

сокращении сроков и упрощении процесса проектирования путем создания САПР компьютерных имитационных тренажеров.

Обобщая изложенную в данном разделе и во “Введении” информацию, можно сформулировать следующие основные требования, которым должна удовлетворять современная САПР КИТ:

- Ориентация на различные категории пользователей, т.е. возможность разработки современных КИТ пользователями, не имеющими профессиональных знаний в области программирования, компьютерной графики и т.д.
- Возможность сведения процесса проектирования КИТ к выполнению формализованной последовательности операций.
- Обеспечение решения задач для всех возможных сфер применения имитационного моделирования.
- Возможность модернизации для будущих технологий имитационного моделирования.
- Возможности функционирования САПР КИТ, а также созданных КИТ на различных аппаратных и программных платформах.
- Поддержка спецификаций SCORM и IMS, т.е. обеспечение возможности интеграции в системы предоставления электронного образовательного контента, что гарантирует востребованность и возможность успешного внедрения созданных тренажеров в ближайшем будущем.
- Поддержка стандарта IEEE 1516 для возможности объединения различных тренажеров (в том числе сторонних производителей) в один сложный тренажерный комплекс.
- Лицензионная чистота и малая стоимость используемого, в случае необходимости, стороннего программного обеспечения.
- Возможность функционирования САПР КИТ, а также созданных при ее помощи тренажеров, как на стандартных персональных компьютерах, так и в составе систем формирования виртуальной реальности.

1.2. Нормативная документация по проектированию и эксплуатации КИТ

Задача поиска и внедрения новых методов и средств обучения на сегодняшний день является достаточно актуальной. Вопросы разработки и применения электронных средств обучения, и, в частности, компьютерных тренажеров, затрагивают достаточно большое количество международных стандартов. Можно выделить 4 основные группы стандартов по следующим направлениям:

- определение, требования и допустимые области применения КИТ;
- хранение и предоставление электронных образовательных ресурсов, в т.ч. КИТ;
- распределенное имитационное моделирование (IEEE 1278, IEEE 1516);
- эргономические требования по работе с компьютерными системами отображения информации.

В настоящий момент действуют следующие нормативные документы, касающиеся определения компьютерных имитационных тренажеров и их областей применения - ГОСТ 26387-84 "Система человек-машина. Термины и определения" [17] и "Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы" [63,19]. В указанных источниках тренажер определяется как техническое средство профессиональной подготовки обучаемого, предназначенное для формирования и совершенствования у обучаемых профессиональных навыков и умений, необходимых им для управления материальным объектом путем многократного выполнения обучаемыми действий, свойственных управлению реальным объектом. Согласно этому же документу, в общем случае, тренажер должен иметь три необходимые части: конструктивную (точную копию рабочего места оператора); программную (адекватную модель оборудования и процессов); дидактическую (рабочее место инструктора с программой оценки и контроля действий оператора и прочих не менее важных сервисных программ). При отсутствии хотя бы одной из указанных составляющих устройство уже не

может называться тренажером. Дальнейшее изучение вышеуказанных материалов позволило выявить следующее:

- определение “компьютерный тренажер” отсутствует;
- регламентируется применение тренажеров только на производстве.

В тоже время компьютерные имитационные тренажеры используются, как в авиации, медицине, энергетике, нефтегазовой отрасли, военном деле и т.д., так и в ВУЗах [1,27,6,2]. Частично использование КИТ в этих отраслях регламентировано в соответствующих отраслевых стандартах, однако требования и рекомендации, указанные в этих источниках не носят универсального характера. Характерно, что данная ситуация справедлива, как для России, так и для других стран [96,82].

В отношении компьютерных имитационных тренажеров большой интерес представляют ряд стандартов в области образовательных информационных технологий. В настоящее время можно выделить ряд организаций – лидеров в этом направлении. Глобальный консорциум IMS (Instructional Management System Global Learning Consortium) занимается разработкой и внедрением открытых спецификаций для поддержки различных процессов в информационных образовательных технологиях. К компьютерным имитационным тренажерам относятся следующие спецификации: IMS CP - упаковка контента и цифровые репозитории IMS. Данные спецификации определяют единый формат упаковки любых электронных образовательных ресурсов (ЭОР), в т.ч. КИТ, а также структуру метаданных ЭОР. Спецификация IMS CP широко поддержана крупными компаниями и институтами. Кроме IMS большое влияние на информатизацию образования оказывает комитет по стандартизации образовательных технологий (Learning Technology Standards Committee - LTSC) при Институте инженеров по электротехнике и электронике (IEEE). Данный комитет создан в 1996г. группой университетов, правительственных учреждений и представителей промышленности при международной организации IEEE. Около 20 рабочих групп в рамках LTSC готовят проекты технических стандартов по ключевым направлениям в технологиях информатизации образования. Многие из разработанных

документов являются кандидатами на международные стандарты для рассмотрения Комитетом ISO (International Standards Organization) и др. Основные направления – облегчение поиска, рассмотрение и использование учебных объектов учителями, инструкторами или автоматически процессами в ходе выполнения образовательных программ, а также облегчение совместного использования таких объектов путем создания каталогов и хранилищ. Отдельный интерес представляет инициативная группа прогрессивного распределенного обучения (Advanced Distributed Learning - ADL), основанная в 1997г. министерством обороны США. Результатом выполнения этой программы стало создание ссылочной модели совместно используемых объектов образовательного контента. Фактически эта модель представляет интеграцию различных стандартов и спецификаций (например, LTSC, IMS CP) в единую модель контента и представляет техническую инфраструктуру, позволяющую совместно использовать объекты в распределенной обучающей среде. На данный момент спецификация является одной из наиболее используемых в мире.

Наибольший интерес представляет спецификация SCORM, вобравшая в себя лучшие достижения всех перечисленных выше организаций и, фактически, ставшая стандартом предоставления электронного образовательного контента. Для обеспечения возможности использования компьютерных имитационных тренажеров в современных системах управления обучением (LMS), поддержка спецификации SCORM является необходимым условием.

В области стандартизации моделирования и имитации значительный вклад внес Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE). Наибольший интерес представляет группа стандартов IEEE 1278 и IEEE 1516 [98]. Указанные стандарты напрямую относятся к компьютерным имитационным тренажерам, поскольку касаются построения систем распределенной интерактивной имитации (протоколы, рекомендованные методы управления и обратной связи, системная архитектура и т.д.). Распределенное моделирование – технология обмена данными между

тренажерами по локальным или глобальным вычислительным сетям. Это позволяет обеспечить совместную работу отдельных КИТ как одной управляемой системы моделирования/имитации. Концепция распределенного моделирования опирается на использовании HLA (высокоуровневой архитектуры). Практически, HLA определяет архитектуру путем использования единого API (программного интерфейса приложений). HLA является абсолютным стандартом для взаимодействия тренажеров и симуляторов в военных приложениях, что обусловлено жесткими требованиями совместимости с HLA тренажерами, разрабатываемыми и используемыми Министерством обороны США. В настоящее время HLA находит все большее применение и в гражданской сфере при разработке симуляторов и тренажеров для тренировки персонала сложных технических систем, в авиации, космонавтике, транспорте и т.п., становясь промышленным стандартом и в этой области [23].

На систему автоматизированного проектирования КИТ, как и на объекты проектирования – компьютерные имитационные тренажеры, распространяется группа стандартов, определяющих эргономические требования по работе с компьютерными системами отображения информации. В эту группу можно отнести следующие стандарты: ISO 9241 – Эргономические требования по работе с компьютерными системами отображения информации (принципы диалога, руководство пользователя, окна меню, окна управления, окна заполнения форм); ISO 10075 - Эргономические принципы, относящиеся к умственной нагрузке при работе с интерактивными системами; ISO 13407 - Человеко-ориентированные процессы проектирования интерактивных систем. Фактически в указанных стандартах описываются такие свойства программного обеспечения, как: индивидуализация, удобство обучения, ясность, четкость, облегчение понимания, устранение перегрузки восприятия, учет особенностей восприятия, содействие пониманию информации, поддержка изучения, обеспечение функций поиска и навигации, обеспечение альтернативных методов навигации, поддержка понятной навигации и т.д.

Изучение вышеуказанных материалов позволяет сделать следующий вывод. Существующие на сегодняшний день группы стандартов решают лишь часть вопросов относительно проектирования и эксплуатации компьютерных имитационных тренажеров и не способны стандартизировать процесс полностью. Несмотря на это, в САПР КИТ необходима полная поддержка существующих стандартов, касающихся создания и эксплуатации КИТ.

1.3. Возможность и перспективность использования технологии формирования виртуальной реальности при проектировании и эксплуатации КИТ

Формирование виртуальной реальности – это новая область применения компьютерных средств. В настоящее время в мире существует более ста крупномасштабных установок виртуальной реальности [6], которые используются в различных областях науки и техники, решая задачи фундаментальных научных дисциплин и узкоспециализированных прикладных направлений. Полномасштабные тренажерные системы (в т.ч. на базе центров формирования виртуальной реальности) имеют большинство ведущих зарубежных компаний — Boeing, Ford, General Motors, BP и многие другие. Разнообразные тренажеры с использованием элементов виртуальной реальности реализованы для армейской и гражданской сферы. Так, например, инвестиции Boeing в создание виртуальных инструкций по ремонту выпускаемых лайнеров составляют несколько десятков миллионов. Ведущим институтом в области формирования виртуальной реальности является Фраунгоферовский Институт медиакоммуникаций.

В настоящее время нет единого определения термина “виртуальная реальность”, так как в различных источниках VR определяется по-разному. В целом, система виртуальной реальности – это система, обеспечивающая генерацию модели реальности в соответствии с математической моделью этой реальности при помощи программных средств [74]. Суть заключается в том, что при подаче на основные органы восприятия пользователя программно управляемых воздействий, а также обеспечении реалистичной реакции

моделируемой среды на производимые действия появляется эффект личного участия пользователя в наблюдаемой виртуальной среде. Главное отличие систем виртуальной реальности от прочих технологий (видеоряд, 2D, 3D графика и проч.) состоит именно в том, что VR обеспечивает эффект личного присутствия и личного участия пользователя. Системы VR способны реализовать принципиально новый и очень эффективный способ передачи информации с глубокой, на уровне подсознания, степенью воздействия на пользователя. Глубина закрепления информации в несколько раз превосходит традиционные способы [113]. Это и другие качества систем VR имеют большую значимость при создании САПР и обучающих программ, в частности, компьютерных имитационных тренажеров, что подтверждают существующие разработки (рис. 1.1, рис. 1.2., рис. 1.3). Кроме того, доклады консалтинговых компаний, например, Insight Media [92,55] относительно ситуации на рынке VR уверенно подтверждают стремительные темпы развития данного направления (рис. 1.3.4).



Рисунок 1.1. Виртуальная среда COSIMIR® VR

Для оценки существующего состояния технологического статуса такой быстро развивающейся области как формирование виртуальной реальности были изучены работы Луценко Е.В., Иванова В.П. и других [45,27,53,62]. Анализ указанных источников показал, что на современном этапе в области формирования виртуальной реальности еще не сформированы соответствующие стандарты, единые протоколы обмена и т.д. Фирмы-лидеры в данной области (Ascension [66], InterSence [102], eMagin [67], Sensics [69], NaturalPoint) используют отличные друг от друга интерфейсы, а также собственные API. Фактически, это означает необходимость поддержки

устройств известных устройств VR отдельно, что ведет к значительному усложнению технологического обеспечения создаваемой САПР КИТ.

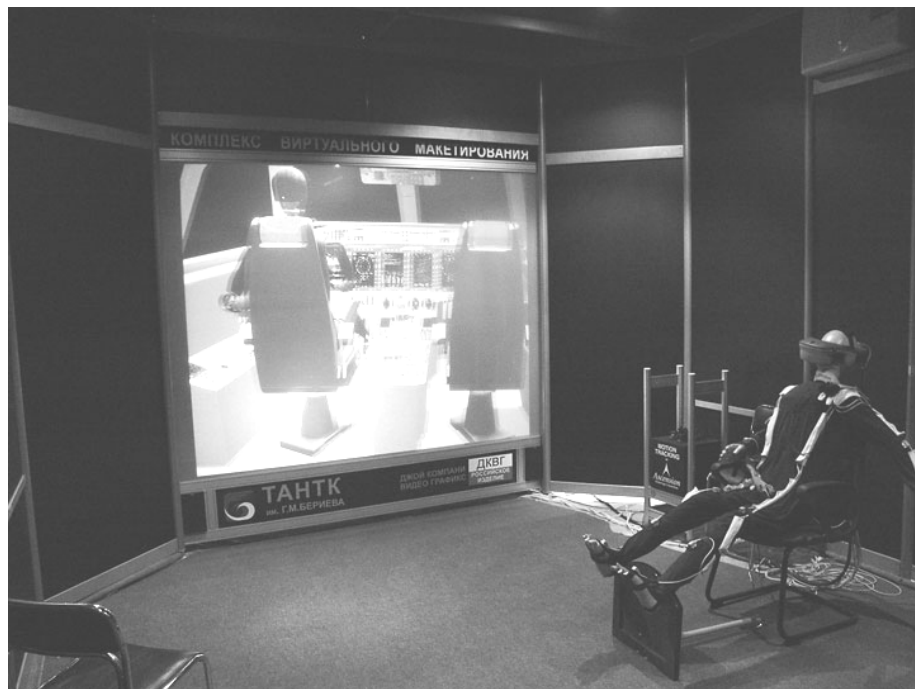


Рисунок 1.2. Комплекс виртуального макетирования многоцелевого самолета-амфибии Бе-200.



Рисунок 1.3. Виртуальная среда Curved Wall RMIT I-Cubed Edge.

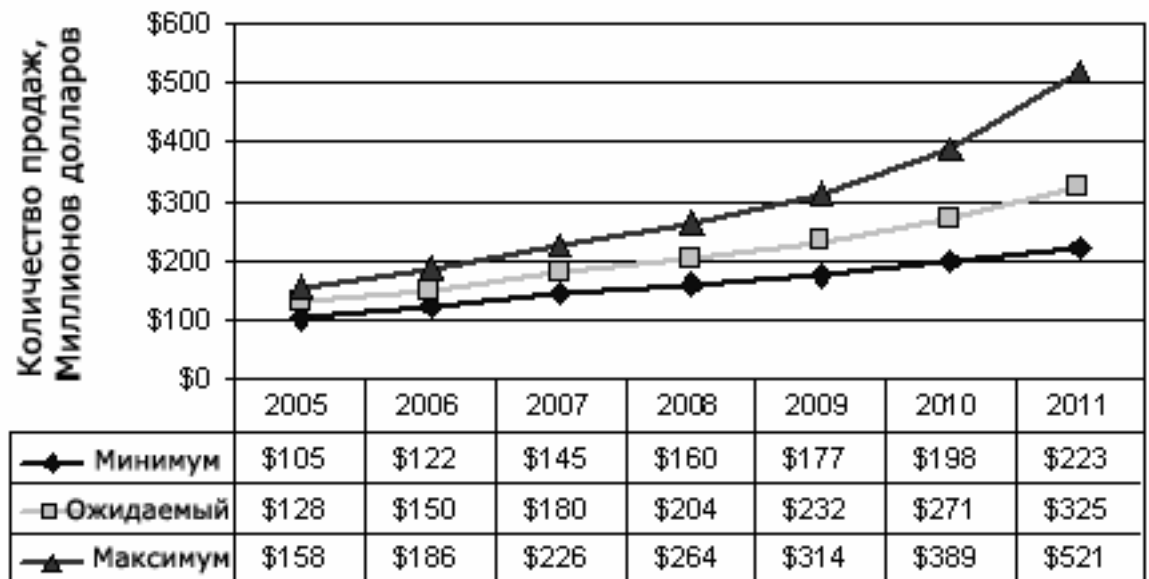


Рисунок 1.4. Данные консалтинговой компании Insight Media.

В результате дальнейшего изучения указанных источников было установлено, что система формирования виртуальной реальности, в общем случае, состоит из следующих составляющих систем: вычислительной, объемной (бинокулярной) визуализации, формирования звуковой картины, позиционирования и имитации воздействия среды [50,89,30]. Классификация систем VR показана на рисунке 1.5.

В качестве вычислительной системы может использоваться как обыкновенный персональный компьютер, так и вычислительный кластер. Система объемной визуализации – совокупность устройств, визуально передающих наблюдателю окружающую виртуальную среду с учетом глубины пространства. Суть объемной визуализации состоит в оценке различий величины проекций одноименных точек пространства на сетчатке левого и правого глаза (бинокулярное зрение). В обычных условиях уверенная оценка глубины пространства с помощью бинокулярного зрения не превышает 90 – 140 метров, более далекие планы оцениваются за счет анализа перспективы. Стерео изображение - это смещение 2-х изображений, которые разделяются для левого и правого глаза. Величина различия проекций одноименных точек

задается параллактической составляющей. Величина параллактической составляющей на изображении, проецируемой оптической системой глаза на сетчатку, не должна превышать для зрителя предельного значения физиологического параллакса. Максимальный эмоциональный эффект достигается при таком построении пространства изображения, когда полностью задействован диапазон бинокулярного зрения. Построение далекой перспективы не может быть построено только с помощью параллактической составляющей, а создается методом комбинации элементов изображения - монофрагментов, для обеспечения непротиворечивой подсознательной оценки перспективы.

В настоящее время для создания условий объемного восприятия в системах виртуальной реальности используются самые разные подходы, из которых наибольшее развитие и распространение получил подход, использующий стереоскопию, в силу его простоты. Однако стереоскопическая визуализация не является единственным способом бинокулярной визуализации объемных сцен. Тот же эффект можно получить, используя голографическую визуализацию, а также визуализацию на объемных носителях (так называемые системы с 3D-разверткой) [4].

Использование голографии для объемной визуализации имеет большие перспективы и одновременно большие препятствия в виде трудностей технологического характера. В частности, необходимо иметь разрешающую способность носителя изображения, соизмеримую с длиной волны; для визуализации динамических сцен в голограммы необходимо переносить огромные объемы информации и т.д. Поэтому голографические системы для объемной визуализации применяются достаточно редко (только для статических сцен). Принцип визуализации в системах с 3D-разверткой основан на построении изображения 3D-объекта лазерным лучом на подвижном носителе. В качестве подвижных носителей использовались самые разные объекты - колеблющиеся мембраны, зеркала, вращающиеся поверхности (плоские, винтовые и т.п.).

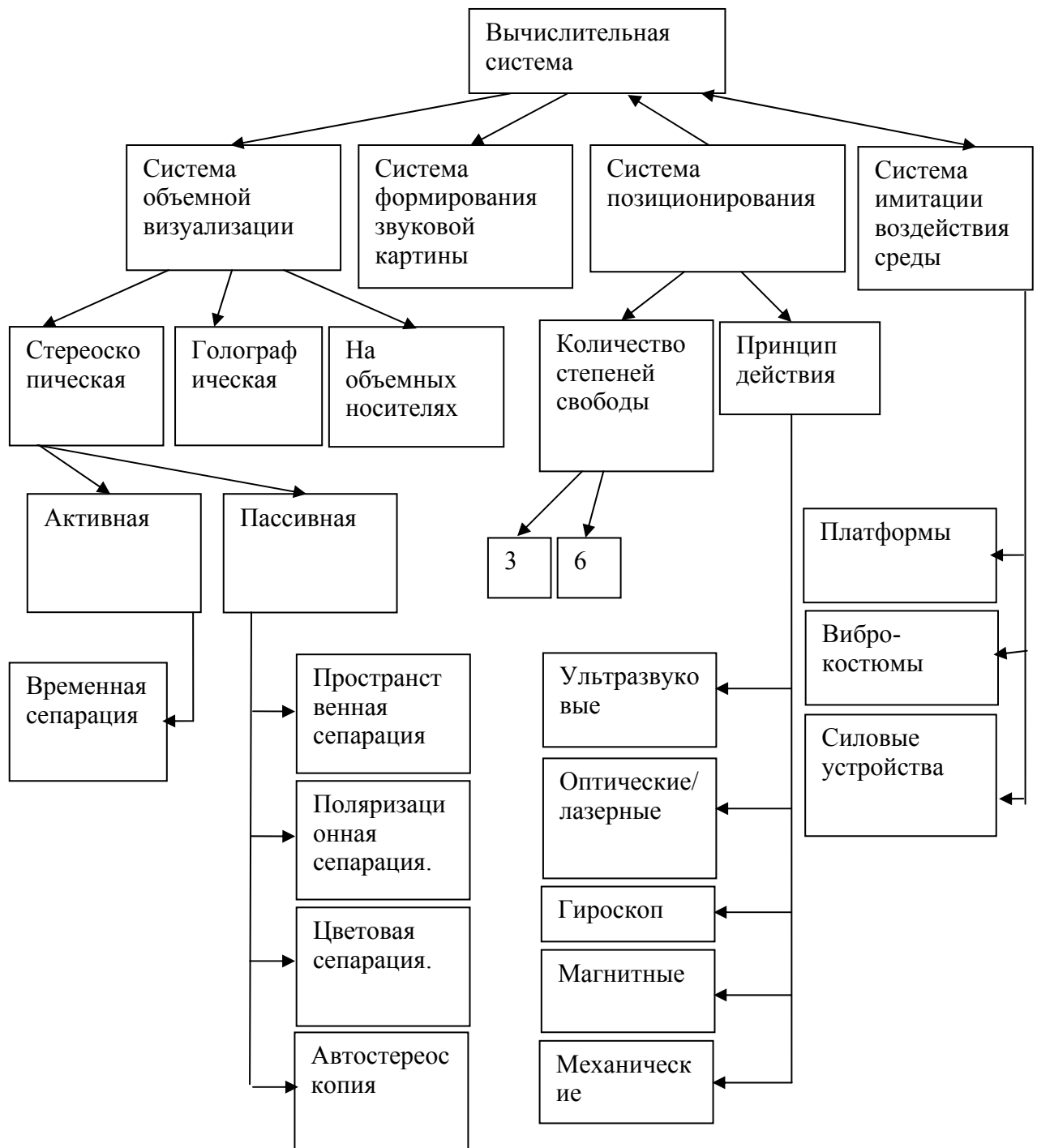


Рисунок 1.5. Классификация систем формирования виртуальной реальности.

Проводились и проводятся опыты по непосредственной объемной визуализации в жидкостях и газах, содержащих мелкие частицы, рассеивающие свет (пар, дым, аэрозоли, взвеси в жидкостях и т.п.) [20]. Практически, в системах виртуальной реальности для объемной визуализации чаще всего

применяется именно стереоскопия. Далее будет рассмотрен именно стереоскопический метод в силу возможности его практического использования в техническом обеспечении современных САПР КИТ.

В основу стереоскопического принципа бинокулярной визуализации положен тот факт, что изображение на сетчатке глаза является двумерным. Поэтому можно ожидать, что если предоставить глазам два изображения некоторой объемной сцены, полученные с двух точек наблюдения, соответствующих расположению оптических центров глаз, то центральный отдел зрительного анализатора должен в конечном итоге создать у наблюдателя иллюзию наблюдения объемной сцены. На самом деле так и происходит, причем, как оказалось, реконструктивные возможности зрительного анализатора чрезвычайно мощны. Об этом свидетельствуют некоторые эксперименты Б.Джулеса [48].

Одной из основных технологических проблем стереоскопии является создание условий для разнесения изображений стереопары по разным оптическим каналам, предназначенным соответственно для левого и правого глаза, - сепарация полей стереопары. Для этой цели применяются различные оптические схемы, из которых наиболее распространенными являются, пространственная, временная, поляризационная, а также цветовая (анаглифическая).

Самым известным устройством, в котором используется пространственная сепарация, является шлем-дисплейные системы. Изображения, образующие стереопару располагаются на двух разных носителях либо на одном носителе, но разделенном на две половинки. Принципиальным является то, что изображения не перекрываются и могут независимо подводиться к глазам по разным оптическим каналам.

Основной недостаток этой схемы до последнего времени заключался в том, что из-за больших геометрических размеров носителей изображения (дисплеев) расстояние между геометрическими центрами изображений существенно превышало межзрачковое расстояние. Это приводило к необходимости применения зеркальных систем для сведения оптических осей.

В настоящее время, благодаря развитию LCD/OLED-технологий появилась возможность миниатюризации дисплеев. При этом в системах остается актуальной задача размещения мнимого 2D-изображения 3D-сцены на комфортном расстоянии (28-52 см), то есть, по-прежнему, необходима дополнительная линзовая система.

В системах с временной сепарацией на одну проекционную плоскость (экран дисплея или проектора) последовательно выводятся правое и левое изображения стереопары. Синхронно с выводом изображений, последовательно открываются и перекрываются правое и левое поля зрения. Для перекрытия используются высокоскоростные оптические затворы, чаще всего жидкокристаллические, размещенные в очковой оправе. Для синхронизации применяется специальная электронная или электронно-оптическая схема. Основной недостаток систем с временной сепарацией заключается в их сложности, так как необходимы дополнительные устройства и синхронизация их работы. Общим недостатком метода временной сепарации являются побочные изображения, известные также как «тени» или «духи». При использовании CRT мониторов или проекторов причина состоит в большом времени послесвечения зелёного люминофора, изготовленного на основе сульфида цинка. Вследствие послесвечения, часть изображения, предназначенного для одного глаза, становится видимой для другого; пользователь при этом видит зелёные тени от ярких объектов. В настоящее время CRT мониторы и проекторы постепенно вытесняются более прогрессивными технологиями, ведется разработка специальным образом перестроенных DLP-проекторов, что практически полностью решает указанную проблему.

Системы с поляризационной сепарацией часто называют системами «пассивного стерео». Они чаще всего используются для аудиторной стереовизуализации на больших экранах. Используются два или более проектора, снабженные поляризационными ориентированными ортогонально фильтрами. Оба изображения одновременно проецируются на экран из специального материала, обладающего минимальной степенью деполяризации.

Для прямой (зрители и проекторы находятся по одну сторон от экрана) и обратной (по разные) проекции используются разные материалы. Используются очки (широко применяемые в стерео-кинотеатрах) с поляризационными фильтрами, ориентированными параллельно соответствующим фильтрам проекторов, вследствие чего каждый глаз получает предназначенное для него изображение. Применяется несколько видов поляризации: L-поляризация (одна плоскость поляризации расположена горизонтально, другая - вертикально), V-поляризация (L-поляризация под углом 45 градусов к горизонтали), а также циркуляционная поляризация, при которой, в отличие от линейной (как L, так и V), эффект разделения изображений не зависит от ориентации головы наблюдателя. Достоинствами поляризационных стерео-систем является возможность наблюдения стереоизображения одновременно большим числом зрителей, а также относительная простота и дешевизна изготовления большого количества поляризационных стерео-очков (в частности, по сравнению с ЖК-затворами). Основной проблемой поляризационных систем являются побочные изображения, известные также как «тени» или «духи». Время послесвечения люминофора не играет решающей роли, причина удвоения изображения состоит в деполяризующих свойствах экрана, которые могут быть уменьшены, но не устранены полностью.

В системах с цветовой сепарацией используется особенность восприятия дополнительных цветов зрительным анализатором человека. В частности, при использовании пар «красный-синезеленый», «пурпурный-зеленый», «желтый-синий» и т.д. Фильтрация приводит к маскировке одного из цветов пары. Благодаря этой особенности, на одном и том же носителе можно с перекрытием разместить два изображения, образующие стереопару, но окрашенные в дополнительные цвета. Анаглифические стереоизображения нужно рассматривать через цветные фильтры, пропускающие световые пучки дополнительных цветов, к разным глазам (так называемые красно-синие или красно-зеленые очки). Достоинством этой схемы является предельная простота устройства наблюдения стереопары-анаглифа (достаточно двух разноцветных

стекол или прозрачных пленок). Недостатком является то, что при наблюдении возникает ощущение искаженной цветовой гаммы [113].

В последние годы все большее распространение системы, в которых оптические пучки, соответствующие полям стереопары, разделяются в пространстве таким образом, что достигают левого и правого глаз без использования дополнительного оборудования. Это так называемые автостереоскопические системы. Исследования и экспериментальные разработки автостереоскопических систем были начаты в 60-х годах. Наиболее глубокие и всесторонние исследования принципов функционирования таких систем были проведены Валюсом Н.А. и Т.Окоси [31]. В настоящее время наиболее распространены два варианта автостереоскопических систем – линзо-растровые и апертурно-растровые.

Если образовать изображение из чередующихся вертикальных растровых полосок, на каждой из будет размещен фрагмент изображения, предназначенный для одного из глаз, и, кроме этого, перекрыть «чужое» изображение струнами апертурной решетки, то глаза увидят предназначенные поля стереопары. Основным недостатком технологии является тот факт, что наблюдатель должен находится в строго определенном месте перед экраном.

Не менее значимую роль в формировании виртуальной реальности играет система обеспечения объемного звукового сопровождения. В современных проектах интерактивных обучающих программ звуковому сопровождению отводится до 40 процентов бюджета и времени [76]. Помимо традиционного стерео звука, существует пространственный звук, появились и многоканальные решения: 4-канальные, 5.1-звук, а в последнее время и 7.1. Само понятие «трехмерный звук» подразумевает, что источники звука располагаются в трехмерном пространстве вокруг слушателя. Для получения объемного звука используются законы психоакустики (науки об особенностях восприятия звуковых волн человеком). При этом каждый источник представляет собой в широком смысле любой объект в виртуальном окружении, способный производить звуки. В системах формирования виртуальной реальности 3D-звук используется для усиления эффекта личного присутствия пользователя, за счёт

усиления реализма. Для этого используются различные технологии, эмулирующие поведение звука в реальном мире. Например, реверберации, отраженные звуки, окклюзии (звук, прошедший через препятствие), обструкции (звук не прошел через препятствие), дистанционное моделирование (вводится параметр удаленности источника звука от слушателя) и другие эффекты.

Система позиционирования – совокупность устройств, позволяющих отслеживать положение пользователя в виртуальном пространстве. Может быть реализована на основе устройств, использующих магнитный, ультразвуковой, оптический, механический или инерционный принципы [107,71,109,95]. Использование каждого из перечисленных подходов имеет, как свои преимущества, так и недостатки, в зависимости от заданных условий эксплуатации. Также системы позиционирования отличаются количеством степеней свободы. Различают так называемые 3DOF и 6DOF устройства. 3DOF устройства могут отслеживать ориентацию датчика, либо по углам наклона в соответствующих осях, либо по координатам положения в пространстве, соответственно устройства 6DOF отслеживают положение датчика и его ориентацию (наклон). Существующие системы позиционирования представлены как отдельными датчиками, так и в составе таких устройств, как виртуальные перчатки, шлемы и т.д.

Система имитации воздействия среды (осознания) обеспечивает имитацию силового сопротивления (необходимость приложения силы) при взаимодействии с виртуальными объектами. Устройства имитации осознания могут быть представлены как простой перчаткой с сенсорным контактом, так и полной моделью, обеспечивающей силовое сопротивление во всех суставах рук или ног [75].

Общим выводом относительно применения технологии формирования виртуальной реальности при проектировании и эксплуатации КИТ является следующее – использование данной технологии обеспечивает значительные преимущества. Вместе с тем стоит отметить, что на современном этапе в области формирования виртуальной реальности еще не сформированы соответствующие стандарты, единые протоколы и т.д. Этот вывод

подтверждается тем, что фирмы-лидеры в данной области (Ascension, InterSence, eMagin, Applied Science Laboratories, Sensics) используют отличные друг от друга интерфейсы, а также собственные API. Фактически, это означает необходимость поддержки каждого из известных устройств VR отдельно, что ведет к значительному усложнению технологического обеспечения создаваемой САПР КИТ.

2. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО, ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО, ТЕХНИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР КИТ

2.1. Информационное обеспечение САПР КИТ

Важнейшим условием эффективного использования рассматриваемой САПР КИТ является возможность свести задачу проектирования компьютерного имитационного тренажера к формализованной последовательности. В целом, эффективность САПР КИТ зависит от правильности определения входных, промежуточных и выходных данных, используемых при проектировании КИТ, правил хранения данных, механизма взаимодействия с пользователями и т.д. Именно по этой причине создание информационного обеспечения является одним из самых ответственных этапов при проектировании САПР КИТ.

Информационное обеспечение САПР КИТ должно включать в себя [84] информационную базу, для хранения данных, информационную систему и интерфейс для обеспечения возможности единообразного взаимодействия с различными форматами данных и соответствующие проектные модули для непосредственного взаимодействия с пользователями САПР.

На основании результатов ранее проведенного анализа в области стандартов, касающихся распределенной интерактивной имитации, в качестве основной идиомы информационного обеспечения принята модель, описанная в стандарте IEEE 1516. Базовые термины, используемые в информационном обеспечении, соответствуют терминологии стандарта на системы распределенной интерактивной имитации IEEE 1516 – это федерация, федерат, объект, атрибут и интеракция. Понятие объекта определяется как модель отдельного явления реального мира. Объекты не имеют методов, а имеют только состояния (только структура данных без функций их обработки). Состояния объектов характеризуется фиксированным набором атрибутов – точных значений, которые могут изменяться с течением времени. Каждый объект в любой момент времени характеризуется своим состоянием, которое

определяется набором текущих значений его атрибутов. Федераты представляют собой математические описания поведения объектов – имитационные модели, заданные программно (реализованные на директивном языке) или представленные значениями датчиков аппаратных средств. Федераты могут управлять объектами, меняя (обновления) или получая (отображая) значения их атрибутов. В частности, пользователи КИТ также являются федератами. Совокупность всех участвующих в имитационном моделировании федератов образует федерацию.

Термин интеракция определяется как изменение объектов, которое может отражаться на других объектах. Интеракции, в отличие от состояний объектов, не поддерживаются в системе постоянно, а имеют мгновенную природу. Иерархическая схема федерации (HLA - IEEE 1516) показана на рисунке 2.1.

Взаимодействие федератов осуществляется при помощи общего механизма взаимодействия (RTI), реализованного в виде подписки. Федерат, заинтересованный в получении определенных атрибутов и интеракций другого федерата, должен подписаться на них через RTI. Механизм запроса, предоставления и изменения значений атрибутов представлен на рисунке 2.2. Механизм организации распределенной имитации и совместной работы пользователей КИТ представлен на рисунке 2.3.

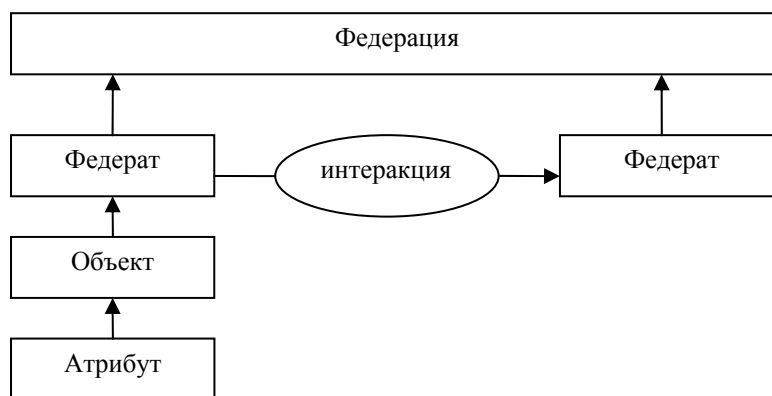


Рисунок 2.1. Иерархическая схема федерации.

Объекты в компьютерном имитационном тренажере – это 3D модели, источники звука, соответственно атрибутами таких объектов являются положение и ориентация в пространстве, размер, громкость и т.д. Применительно к компьютерным имитационным тренажерам, в качестве

интеракций можно рассматривать действия пользователя (федерата), например – включение какой-либо клавиши.

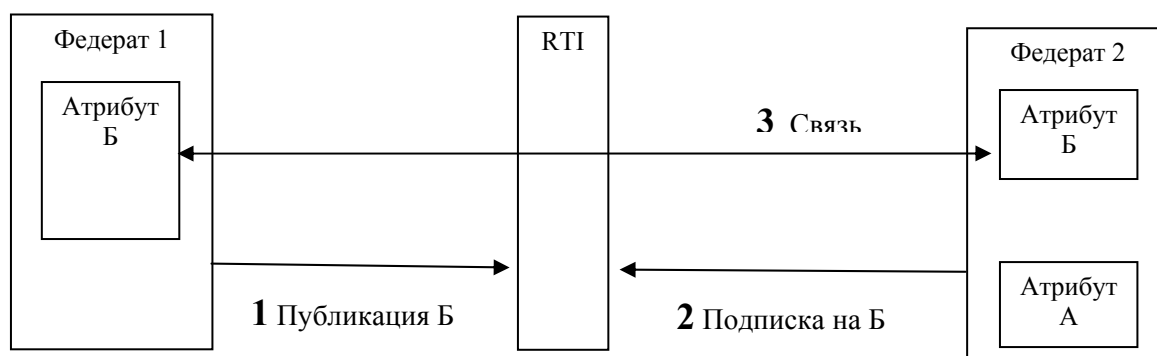


Рисунок 2.2. Общий механизм взаимодействия (RTI).

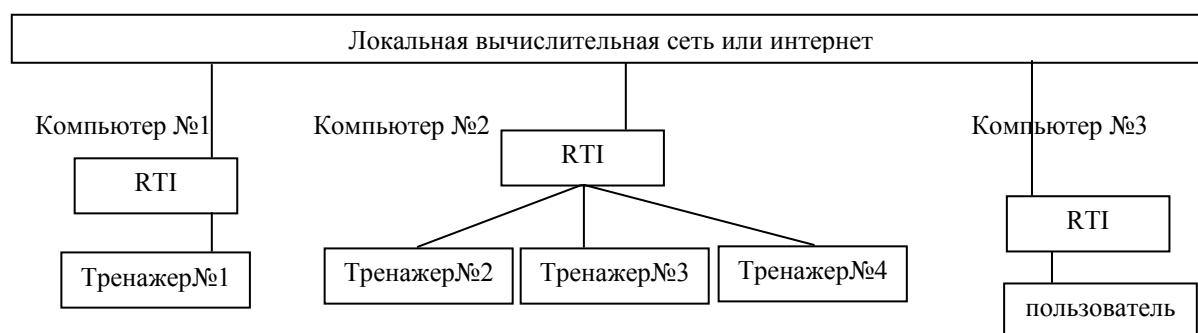


Рисунок 2.3. Организация распределенной имитации и совместной работы.

Для качественного проведения анализа было установлено, что предложенная высокоуровневая архитектура (HLA) есть граф, $G = (V, E)$, где V – множество элементов модели; E – множество связей, демонстрирующих взаимоотношения элементов модели между собой. $V = F' + F_d' + M' + B' + A'$, где F' – множество федераций; F_d' – множество федератов; M' – множество математических имитационных моделей; B' – множество объектов; A' – множество атрибутов.

Каждый элемент модели характеризуется уровнем. Уровнем называется длина маршрута от корневой вершины графовой модели до текущей. Определим операцию вхождения элементов одной структуры в другую, то есть принадлежность. Один элемент входит в другой непосредственно, если разница уровней равна 1 и опосредованно – если разница составляет больше 1.

Для проверки возможности применения высокоуровневой архитектуры (HLA) в качестве основы, были изучены 10 технических заданий на разработку КИТ из различных предметных областей, различной сложности, предоставленных Научно-исследовательским институтом электронных образовательных ресурсов ТюмГНГУ:

- испытания поршневого насоса НБЗ-120/40;
- динамическая балансировка роторов центробежных насосов;
- определение температуры вспышки паров бензина;
- испытания поршневого компрессора 4ВУ1-5/9;
- испытания образцов на выносливость при изгибе с вращением;
- определение КПД цилиндрического редуктора;
- стендовые испытания, снятие скоростной характеристики двигателя;
- кавитационные испытания центробежных насосов;
- кинематика станка-качалки;
- определение основных механических характеристик материала.

Анализ указанных технических заданий, существующих решений и областей применений, показал, что каждый из элементов модели HLA имеет внутреннюю структуру – эта структура меняется в зависимости от некоторого набора ограничений, накладываемые: техническим заданием на КИТ, предметной областью и т.д.

Рассмотрим структуру каждого элемента модели по результатам проведенного анализа.

Федерация: $f = \{ F_{i+1} \cup Fd_{special} \cup M \cup Fd_{i+1} \}$, $F = \bigcup_{i=1}^n f$, $F_d = \bigcup_{i=1}^{n'} f_d$, где

f - федерация в общем виде; n - количество федераций, входящих в текущую федерацию; n' - количество федератов, входящих в текущую федерацию; F_{i+1} - множество федераций уровнем ниже; $Fd_{special}$ - специальный федерат (пользователь); M - математическая имитационная модель; f_d - федерат; F_{di+1} - множество федератов следующего уровня. При этом, если $Fd_{special} = 0$ -

федерация не корневая; $M = 0$ - статический тип КИТ; $F_{i+1} = 0$ $F_{di+1} = 0$ - модель не имеет смысла; $F_{i+1} = 0$ - модель содержит не более 2х уровней (рисунок 2.4).

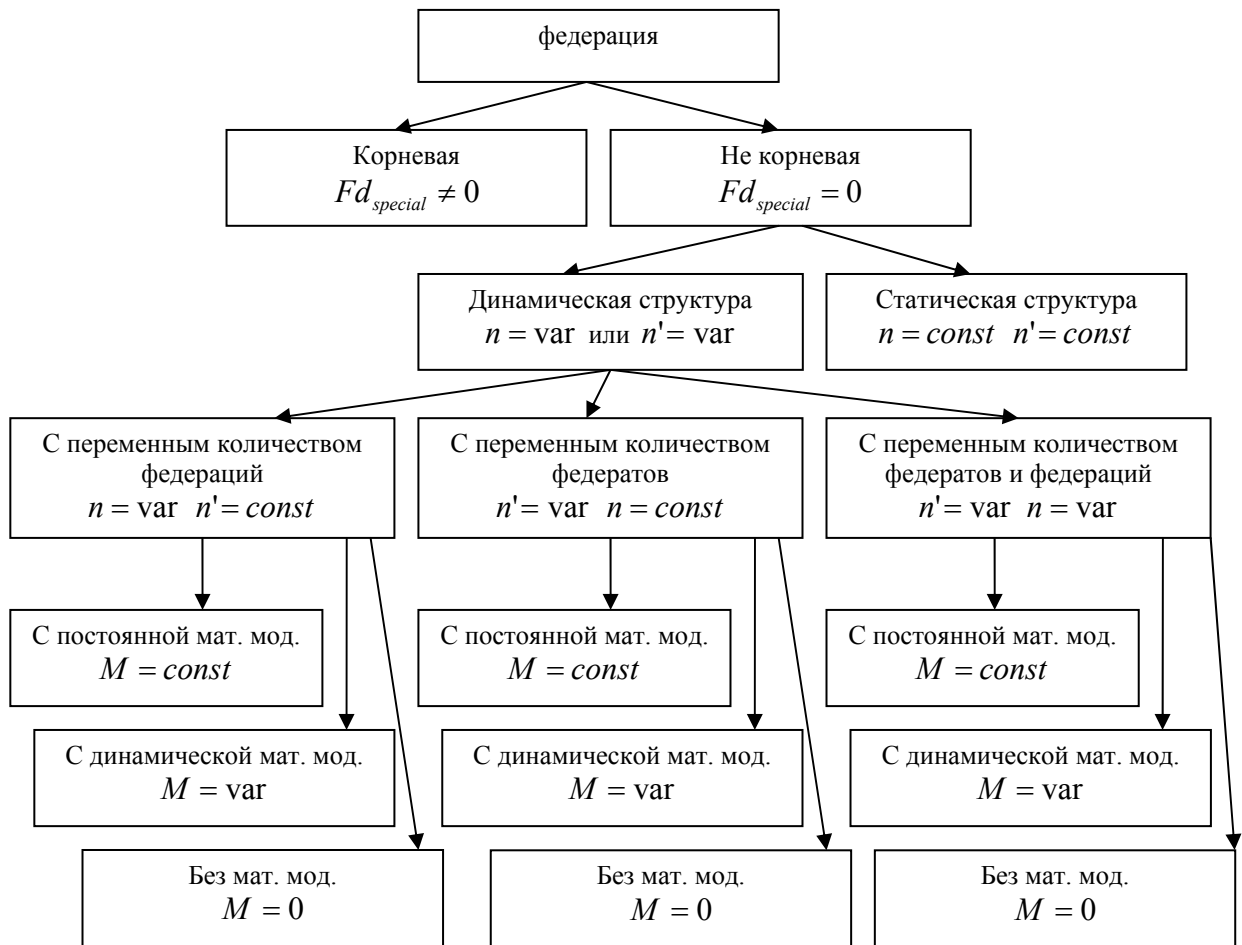


Рисунок 2.4. Классификация элемента NLA - федерации.

Федерат: $f_d = \{ B_i \cup M \cup B_{ispecial} \cup M_{special} \}$, где f_d - федерат в общем виде; B_i - множество объектов; M - математическая имитационная модель; $B_{ispecial}$ - заранее заложенные в систему объекты; $M_{special}$ - заранее заложенная математическая имитационная модель. При этом, если $M = 0$ - без математической имитационной модели; $M = const$ - с постоянной (неизменяющейся) мат. мод.; $M = var$ - с динамической мат. мод.; $B_{ispecial} \neq 0$ $M_{special} \neq 0$ - специальный федерат (с заранее определенными объектами и мат. мод., источник заранее определенных интеракций); $B_{ispecial} = 0$ $M_{special} = 0$ - обычный федерат с определенными пользователем объектами и мат. мод. (рисунок 2.5).

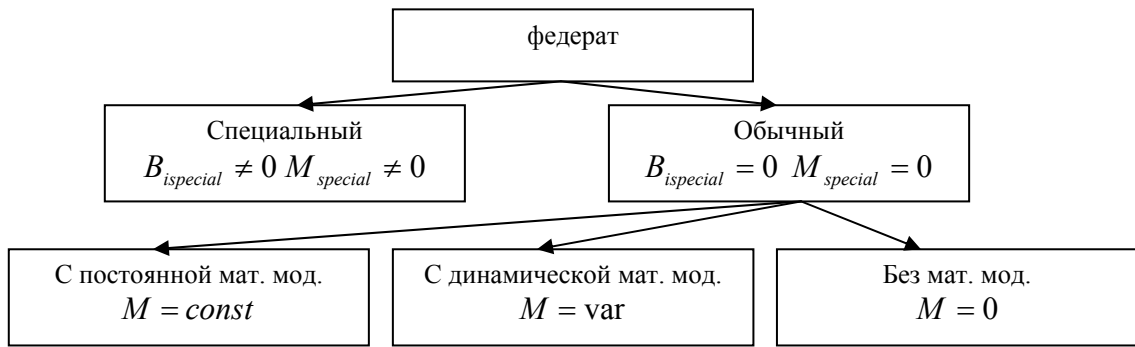


Рисунок 2.5. Классификация элемента HLA – федерата.

Математическая имитационная модель: $M = \{ S_1 \cup S_2 \cup S_3 \cup S_4 \}$, где

M - математическая имитационная модель в общем виде; S_1 - имитация поведения объекта или процесса с использованием известных зависимостей; S_2 - имитация поведения объекта или процесса с исп. известных зависимостей и систем уравнений; S_3 - при создании имитационной модели использованы экспериментальные данные; S_4 - при создании имитационной модели использованы экспериментальные данные и прогнозирование. (рисунок 2.6.)

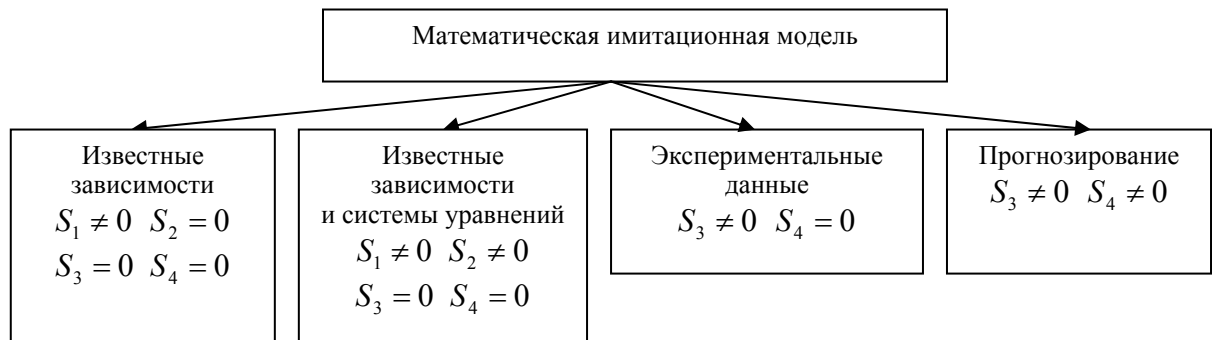


Рисунок 2.6. Классификация элемента HLA – математической модели.

Объекты: $B = \{ B_1 \cup B_2 \cup B_3 \cup B_{special} \}$, где B - множество объектов модели в общем виде; B_1 - множество объектов, описывающих геометрию и внешний вид оборудования или процессов (3D объекты); B_2 - множество объектов, описывающих звуковые излучатели; B_3 - множество объектов, описывающих текстовые данные; $B_{special}$ - заранее заложенные в систему объекты.

$B_1 = \{ b_i \}$, $B_2 = \{ b_i' \}$, $B_3 = \{ b_i'' \}$, где b_i - множество атрибутов объекта. $b_i = \{ a_1 + a_2 + \dots + a_n \}$, где a_i - атрибуты.

В результате получены промежуточные выводы:

1. Дана классификация элементов модели HLA, позволяющая в автоматизированном режиме формулировать ограничения на процесс декомпозиции объекта моделирования.

2. Дана классификация видов взаимодействий, которая позволяет обеспечить корректность процесса декомпозиции объекта моделирования за счет автоматизированного наложения ограничений.

Множество ребер E может быть постоянным, а может быть переменным. Данные заключения основаны на том, что, согласно IEEE 1516, ни один элемент модели не может быть изолирован. $E = E_{const} \cup E_{var} \cup E_{make}$

Из формулы видно, что, ребра имеют различный характер:

- Постоянные ребра (E_{const}) – связь однажды закрепляется в модели и не изменяется в процессе функционирования КИТ;
- Перенаправляемые ребра (E_{var}) – возникают, когда федерация i -го уровня статическая, а входящие в нее федерации $> i$ уровня – динамические;
- Создаваемые (E_{make}) – когда мощность множества федераций, входящих в федерацию $i+1$ уровня, увеличивается в процессе функционирования КИТ.

Классификация множества вершин и множества ребер позволяет выполнить классификацию типов КИТ (рисунок 2.7).

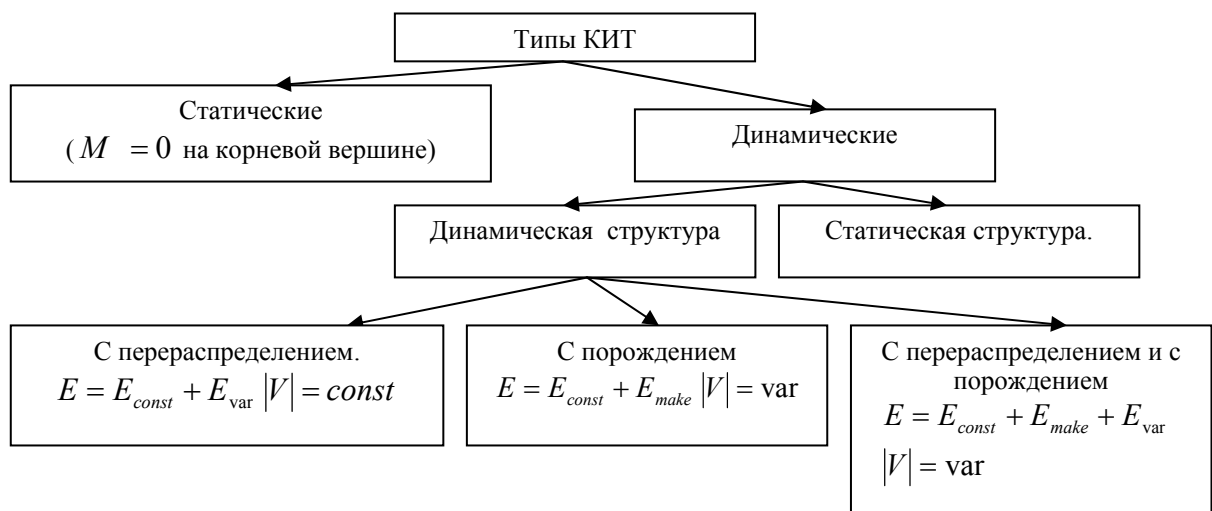


Рисунок 2.7. Типы компьютерных имитационных тренажеров.

В результате построена математическая модель, позволяющая создание класса типов КИТ, которые, в свою очередь, позволяют сформулировать ограничение на процесс декомпозиции, выбрать направление декомпозиции и дают предпосылки для создания рекомендаций пользователям САПР КИТ.

Применение в качестве промежуточных данных информационного обеспечения НЛА позволит свести задачу проектирования компьютерного имитационного тренажера к достаточно формализованной последовательности - определению состава федерации, созданию математических моделей федератов, определению атрибутов объектов и т.д.

Элементарными входными данными (объектами) информационного обеспечения САПР КИТ являются геометрические описания имитируемого оборудования и процессов, звуковые данные (источники звука), а также текстовые данные.

Геометрические описания (3D модели) представляют собой файлы, созданные в любом пакете геометрического моделирования – Discreet 3D MAX, Maya, Blender, Cinema 4D и т.д. 3D модели могут включать не только статические данные, но и анимацию. Основные атрибуты 3D объектов представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Основные атрибуты 3D объектов.

Атрибут	Тип данных	комментарий
Общие атрибуты		
имя	строка	Название объекта для его поиска и обращения из директивного языка
источник данных	ссылка на файл	
Положение в пространстве и ориентация, относительно локальной системы координат		
{X1, Y1, Z1}	числ. двойной точности	числовые данные, определяющие геометрический центр объекта (центр масс)
{X2, Y2, Z2}	числ. двойной точности	числовые данные, определяющие положение объекта в пространстве
{X3, Y3, Z3}	числ. двойной точности	числовые данные, представляющие угол поворота по данным осям.

Продолжение таблицы 2.1.

Атрибут	Тип данных	комментарий
Видимость		
Visible	логический	флаг, определяющий, скрыт объект или видим.
Проекция на экран		
Menu	логический	флаг, определяющий проецирование объекта на экранную плоскость, например, как меню.
Подключаемые эффекты		
Effects	строковой	Список имен микропрограмм на языке шейдеров (Shader language), имитирующих эффекты керамической поверхности, микрорельефа, дыма и т.д.
Физика		
PhysicON	логический	флаг для автоматического включения расчета физики препятствий и столкновений жестких тел
PMass	числ. двойной точности	масса объекта
PAcc	числ. двойной точности	точность расчета

Источники звука представляют собой файлы в форматах WAV или mp3. Кроме того, возможно воспроизведение не только заранее записанного звука, но и его генерация (тон/частота). Основные атрибуты источников звука представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Основные атрибуты источников звука.

Атрибут	Тип данных	комментарий
Общие атрибуты		
имя	строка	Название объекта для его поиска и обращения из директивного языка
источник данных	ссылка на файл	
Положение в пространстве и ориентация, относительно локальной системы координат		
{X1 ,Y1 ,Z1}	числ. двойной точности	числовые данные, определяющие положение объекта в пространстве
{X2 ,Y2 ,Z2}	числ. двойной точности	числовые данные, представляющие угол поворота по данным осям.
Loop	логический	флаг, определяющий, повторное (“Зацикленное”) воспроизведение звука.

Продолжение таблицы 2.2.

Атрибут	Тип данных	комментарий
HeadRelative	логический	флаг, определяющий воспроизведение с минимальной дистанцией до слушателя.
Подключаемые эффекты		
Effects	строковой	Список подключаемых звуковых эффектов (затухание, отражение, эффект Доплера и т.д.).

Элементарные данные (объекты) образуют основу федерата – следующей ступени в иерархии информационного обеспечения САПР КИТ. Федераты могут включать в себя любое количество объектов. Федераты имеют собственные атрибуты, специальным образом могут запрашивать и изменять атрибуты других федератов, специально предоставленные в общий доступ (механизм RTI). Главным отличием федератов от объектов является возможность определения математических моделей их поведения. Для этой цели предоставлены ряд стандартных интеракций, таких как инициализация математической модели, таймер, интеракции - действия пользователя. Основные атрибуты и интеракции федерата представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Основные атрибуты и интеракции федерата.

Атрибут	Тип данных	комментарий
Общие атрибуты		
имя	строка	Название объекта для его поиска и обращения из директивного языка
Публикуемые атрибуты	Ассоциативный массив значений	Все предоставляемые членам федерации атрибуты (определяются пользователями)
Запрашиваемые атрибуты	Ассоциативный массив значений	Все запрашиваемые у федерации атрибуты
Представление математической модели		
Инициализация	Директивный язык	Инициализация математической модели федерата представленная с использованием директивного языка программирования
Таймер	Директивный язык	Реакция математической модели изменение значения времени в федерации

Продолжение таблицы 2.3.

Атрибут	Тип данных	комментарий
Обработчики базовых интераций		
Нажатие на объект	Директивный язык	генерируется при нажатии пользователем на данный объект
Отпускание объекта	Директивный язык	генерируется при прекращении процесса нажатия или перемещения
Использование объекта	Директивный язык	происходит при нажатии клавиши активировать/выбрать/использовать на объекте
Перемещение объекта	Директивный язык	генерируется при попытке перемещения пользователем данного объекта
Нахождение на объекте	Директивный язык	генерируется в том случае, если пользователь стоит на этом объекте или движется по нему
Нахождение объекта в зоне видимости	Директивный язык	генерируется в том случае, когда объект находится в поле видимости пользователя
Интеракции определенные пользователем		
Публикуемые интеракции	Ассоциативный массив значений	Все предоставляемые другим федератам интеракции
Запрашиваемые интеракции	Ассоциативный массив значений	Все запрашиваемые у иных федератов интеракции

Следующим уровнем иерархии в информационном обеспечении САПР КИТ является федерация. Федерации могут включать в себя любое количество федератов. Федерации имеют собственные атрибуты, могут запрашивать и изменять атрибуты других федераций, специально предоставленные в общий доступ. Федерации также могут иметь собственную имитационную математическую модель. Основные атрибуты и интеракции федерации представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Основные атрибуты и интеракции федерации.

Атрибут	Тип данных	комментарий
Общие атрибуты		
имя	строка	Название федерации
Публикуемые атрибуты	Ассоциативный массив значений	Все предоставляемые другим федерациям атрибуты (определяются пользователями)
Запрашиваемые атрибуты	Ассоциативный массив значений	Все запрашиваемые у иных федераций атрибуты

Продолжение таблицы 2.4.

Атрибут	Тип данных	комментарий
Представление математической модели		
Инициализация	Директивный язык	Инициализация математической модели федерата, представленная с использованием директивного языка программирования
Таймер	Директивный язык	Реакция математической модели на изменение значения времени в федерации
Интеракции определенные пользователем		
Публикуемые интеракции	Ассоциативный массив значений	Все предоставляемые другим федерациям интеракции
Запрашиваемые интеракции	Ассоциативный массив значений	Все запрашиваемые у иных федераций интеракции

Совокупность описанной иерархической структуры, значений атрибутов, математических моделей и используемых источников данных (файлов) представляет собой базу данных (БД) проектируемого компьютерного имитационного тренажера. База данных создается для каждого проектируемого тренажера и может быть включена в состав информационной базы САПР КИТ, содержащей целый ряд готовых к использованию и модификации элементов: объектов, федератов и федерации (электродвигатели, измерительное оборудование, помещения и т.д.). Кроме этого, информационная база САПР КИТ отдельно содержит целый ряд часто используемых математических функций и моделей. Пользователь может производить поиск, импортировать, экспортировать, переименовывать и удалять любые элементы библиотеки. Централизованное хранилище информационной базы САПР КИТ представлено на базе сайта WEB сервера НИИ ЭОР ТюмГНГУ (<http://eor.tsogu.ru/playDB>) и регулярно обновляется.

Дополнительно, информационная база САПР КИТ включает в себя справочную систему (руководство пользователя, справочник по используемому директивному языку, примеры и т.д.). Детальная схема информационной базы САПР КИТ представлена на рисунке 2.8.

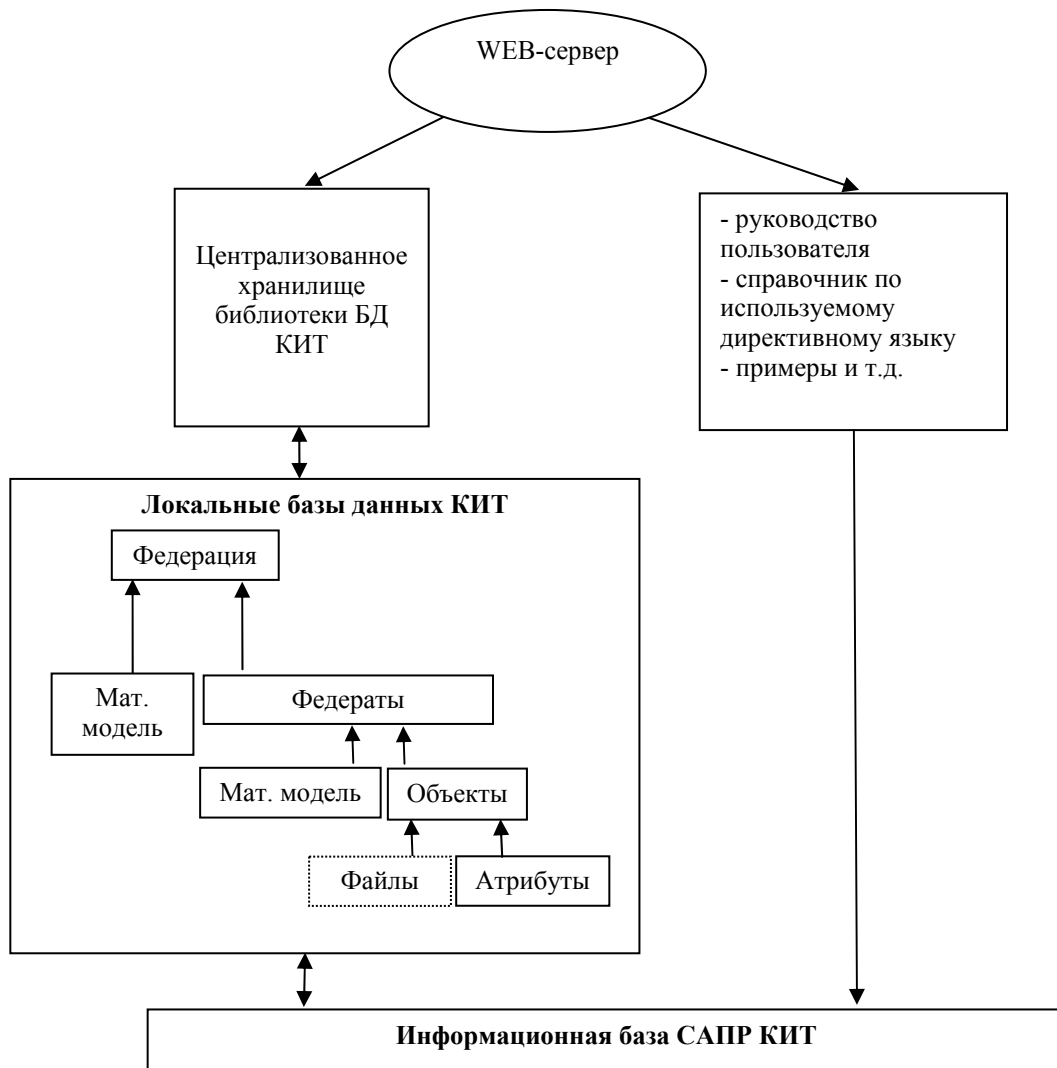


Рисунок 2.8. Информационная база САПР КИТ.

Следующим этапом при создании информационного обеспечения САПР КИТ является определение **проектных модулей**, необходимых для взаимодействия пользователей САПР с созданной информационной базой в процессе проектирования КИТ. Необходимо отметить, что для связи проектных модулей с информационной базой необходима информационная система, задачами которой являются создание новых баз данных КИТ (проектов), их удаление, предоставление данных из существующих проектов или сохранения изменений в проектах.

Поскольку информационная база оперирует такими данными как файлы описания геометрии имитируемого оборудования/ процессов, звуковые файлы, файлы шрифтов и т.д., необходим проектный **модуль импорта** указанных данных из внешних по отношению к САПР программ. Модуль импорта данных

должен позволить использование при проектировании КИТ результатов работы программ 3D моделирования (Discreet 3D Studio MAX, Maya, Blender), звуковых фрагментов и шрифтов, т.е. добавить соответствующие данные в локальную базу данных КИТ.

После импорта всех необходимых внешних данных (3D модели, звук и т.д.), необходимо создать иерархическую структуру федерации, определить атрибуты, задать соответствующие имитационные модели оборудования и процессов. Для этой цели пользователю САПР КИТ необходим проектный **модуль редактирования** элементов проектируемого тренажера. Задачами этого модуля являются редактирование иерархии федерации, определение атрибутов объектов и определение математических моделей федератов. Модуль должен содержать интерактивную справочную систему.

Для предварительного просмотра проектируемого КИТ в том виде, в каком он будет представлен обучаемому, необходим проектный модуль **просмотра и отладки КИТ**. Задачей указанного модуля является запуск полученного КИТ, для того чтобы пользователь САПР мог проверить правильность работы математической модели, правильность внешнего вида имитируемого оборудования, возможность выполнения обучаемым всех запланированных действий и т.д. Кроме того, модуль просмотра и отладки должен обеспечивать механизмы отладки математической модели в случае допущенной ошибки в ее описании. Для этого необходимы инструменты для определения и локализации ошибок в проверяемых математических моделях.

При создании КИТ необходимо решать ряд задач, напрямую не относящихся к проектированию. Например, перевод созданного КИТ на другой язык (интернационализация). Для реализации перевода, а также других сервисных функций, в состав информационного обеспечения могут быть добавлены **дополнительные сервисные** модули.

Финальным этапом проектирования является экспорт созданного КИТ в автономный файл формата SCORM для последующего использования в системах предоставления электронного образовательного контента. Проектный **модуль экспорта** КИТ в SCORM должен поддерживать все определенные в

ранее изученной спецификации SCORM информационные поля, такие как авторы, организация, назначение и т.д. Структура созданного информационного обеспечения САПР КИТ показана на рисунке 2.9. Процесс проектирования КИТ показан на рисунке 2.10.

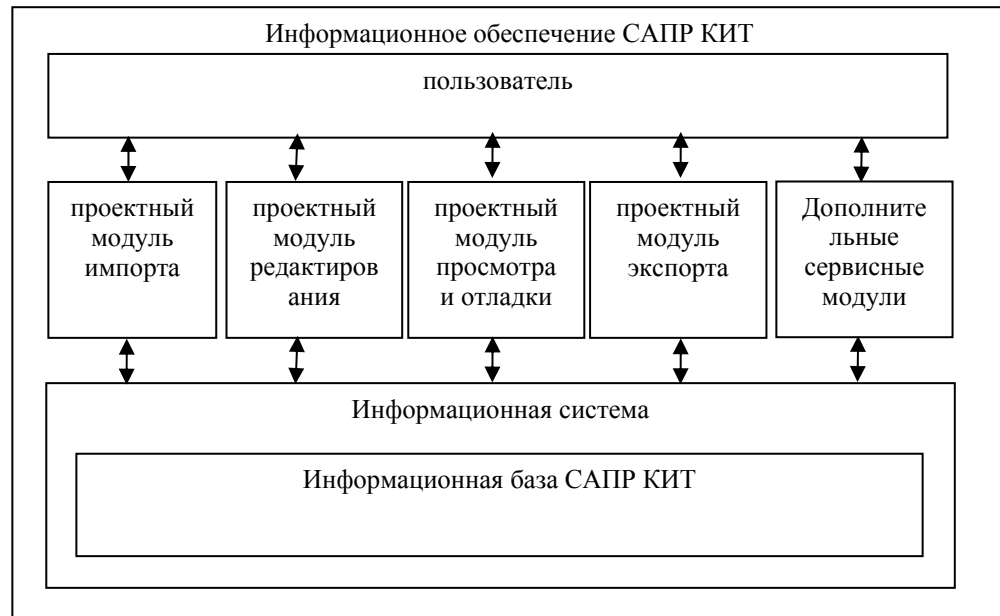


Рисунок 2.9. Структура информационного обеспечения САПР КИТ.

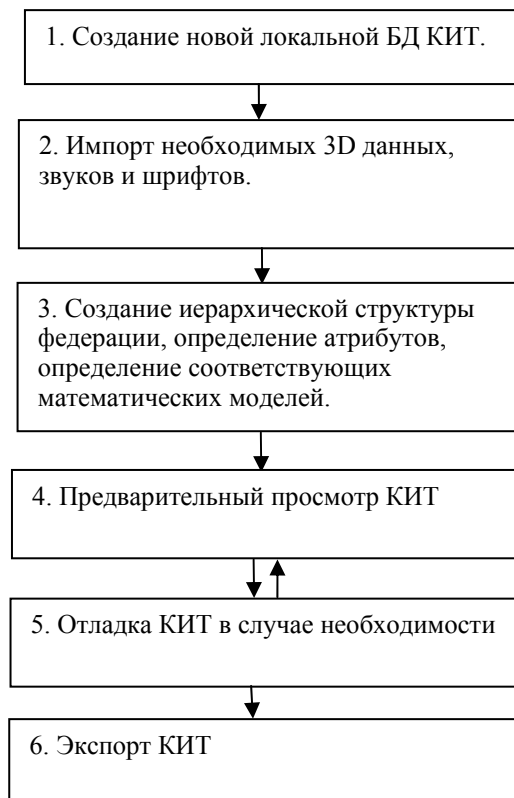


Рисунок 2.10. Процесс проектирования КИТ.

Таким образом, предложенный подход к созданию информационного обеспечения позволяет построить информационное обеспечение и, тем самым, решить задачу проектирования компьютерного имитационного тренажера путем выполнения достаточно формализованной последовательности. Обеспечивается вторичное (повторное) использование элементов тренажеров.

Особенностью созданного информационного обеспечения является возможность подключения проектируемых КИТ к математическим моделям или данным реальных датчиков, программ Matlab, LabView и т.д., поскольку указанные программы также поддерживают общий механизм взаимодействия (RTI), определенный в IEEE 1516. Для реализации этой возможности достаточно передать (опубликовать) или запросить необходимые атрибуты и интеракции.

2.2. Лингвистическое обеспечение САПР КИТ

Реализация информационного обеспечения САПР КИТ, в частности, проектного модуля редактирования, предполагает разработку специализированного лингвистического обеспечения. Исходя из задач, решаемых проектным модулем редактирования, лингвистическое обеспечение САПР КИТ должно базироваться на комбинированных языках, сочетающих простоту диалоговых («Выбор из меню») и универсальность директивных языков. Такие операции как чтение или изменение атрибутов объектов, изменение иерархической структуры федератов и т.д. могут быть реализованы в диалоговом режиме. Использование диалогового режима для описания математических моделей федератов и федерации сопряжено со значительными сложностями, кроме того, использование графических языков при проектировании сложных математических моделей вызывает большие затруднения [9]. В таком случае, описание математических моделей необходимо реализовать при помощи директивного языка. При разработке лингвистического обеспечения САПР КИТ необходимо учитывать и тот факт, что конечными пользователями САПР КИТ являются специалисты в предметной области (область определяется проектируемыми КИТ). Знание пользователями программирования не является обязательным требованием. Из этого следует, что взаимодействие с САПР КИТ должно быть представлено на удобном и доступном для пользователя языке. Пользователь должен легко оперировать понятными ему терминами. Указанные требования приводятся в ГОСТ 22487-77. Кроме этого, лингвистическое обеспечение, в целом, должно обладать следующими свойствами:

- точность передачи задания пользователя и лаконичность записи;
- возможность описания всех объектов проектирования, а также всех аспектов, имеющих отношение к проектированию компьютерных имитационных тренажеров;

- обеспечение возможности расширения семантики языка в соответствии с развитием области имитационного моделирования, в частности области КИТ;
- выразительность и проблемная ориентация;
- обеспечение простоты изучения и использования элементов лингвистического обеспечения пользователями.

В частности, критериями качества диалогового и директивного языка САПР являются скорость работы пользователя, количество ошибок, вызванных пользователем, и скорость обучения. Скорость работы пользователя, главным образом, зависит от продолжительности восприятия информации. По этой причине графический интерфейс САПР КИТ должен обеспечивать различные режимы предоставления информации, возможность выделения и скрывания определенной информации, развитые средства поиска и навигации. Количество ошибок, вызываемых пользователем, может быть уменьшено при наличии развитого механизма предварительного просмотра результатов производимых действий. Скорость обучения в основном определяется возможностями контекстно-зависимой справочной системы. Также при разработке графического интерфейса использованы ранее изученные эргономические принципы, регламентированные в ISO 9241, ISO 10075, ISO 13407. Использование приведенных эргономических принципов позволяет реализовать как вышеперечисленные свойства, так и механизмы индивидуализации, облегчения понимания, устранения перегрузки восприятия и т.д.

Имитационные модели отдельных федератов и федераций можно представить как некоторое представление о системе, отражающее закономерности ее структуры и процесса функционирования, представленное на определенном языке. Основным требованием к имитационной модели является возможность получения информации о свойствах или поведении системы-оригинала. Основной сложностью при разработке адекватных

имитационных моделей, точки зрения автоматизированного проектирования КИТ, являются дополнительные требования к специалистам в предметной области КИТ, т.е. наличие базовых знаний системного анализа. Кроме этого, для создания имитационной модели необходим специализированный язык.

В настоящее время, для построения имитационных моделей разработаны достаточно серьезные теоретические методы, основанные на развитии математических и логических средств моделирования, а также предложены различные формальные и графические нотации, отражающие специфику решаемых задач.

В САПР КИТ имитационные модели отдельных федератов и федерации описываются с помощью директивного языка. В качестве базы для языкового процессора лингвистического обеспечения САПР КИТ используется язык Lua [91], разработанный Computer Graphics Technology Group (Бразилия). Язык Lua свободно доступен для академических или коммерческих целей и используется в различных проектах во всем мире. Главной причиной выбора в качестве основы этого языка послужил тот факт, что Lua создавался именно как легкий язык программирования расширений, позволяющий изменять и расширять свою семантику - возможность ориентации на конкретную предметную область. Эти качества, а также простой процедурный синтаксис с мощными конструкциями описания данных, динамические типы и автоматическое управление памятью определяет этот язык в качестве оптимальной основы лингвистического обеспечения САПР КИТ.

Для обеспечения необходимой проблемной ориентации, т.е. направленности на решение задач, возникающих при проектировании компьютерных имитационных тренажеров, в состав Lua необходимо ввести новые функции для возможности считывать и изменять атрибуты объектов, функции-обработчики стандартных интеракций, соответствующие типы данных, алгоритмы и т.д. Для этого, в свою очередь, необходима классификация математических моделей КИТ по категориям решаемых задач (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11. Типы математических имитационных моделей.

В результате был установлен набор необходимых функций, вида $y = f(x)$. Например, функция перемещения может иметь следующий вид: $c = f(name, x, y, z)$, где c - признак успешного выполнения функции, $name$ - имя объекта, $\{x, y, z\}$ – значения атрибутов, определяющие положение объекта в пространстве.

Задачи работы с атрибутами объектов представлены следующими функциями:

- Управление атрибутами пользователя.
- Управление атрибутами геометрических объектов.
- Управление атрибутами текстовых объектов.
- Управление атрибутами источников звука.

Задачи работы с моделью HLA представлены следующими функциями:

- Функции чтения и обновления значений атрибутов.
- Функции изменения иерархии федерации.
- Функции создания и удаления элементов федерации.

Предметные задачи зависят от предметной области и не могут быть заранее определены. Тем не менее, имеется широкий набор устойчивых классов задач, для которых созданы имитационные модели, такие, как управляющее оборудование, двигатели, процессы разгона-торможения, переходные процессы и т.д.

Был проведен анализ полученного набора функций в попытке минимизировать множество функций. Целевой функцией оптимизации является скорость вычислений и адаптивность языка (скорость освоения) – на

основе числа шагов вычисления, скорости выполнения шага и скорости выполнения набора шагов.

Полный список созданных проблемно-ориентированных команд (функций) языкового процессора САПР КИТ, представлены в таблице 2.5. Базовые описания интеракций, определенные в языковом процессоре САПР КИТ представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.5. Специализированные команды языкового процессора.

Команда	Назначение
Управление пользователем	
SetUserPositionAndRotation	Установка положения и направления взгляда пользователя. Аргументы: x [число], y [число], z [число], horiz [число], vert [число], где x,y,z - новые координаты пользователя. horiz, vert - направление взгляда в градусах. Пример: SetUserPositionAndRotation (0,0,0,0,0)
Управление геометрическими объектами	
RSetAt	Установка одного объекта на место другого и выравнивания осей вращения. Аргументы: Name1 [строка], Name2 [строка], где Name1 - название переносимого объекта, где Name2 - название объекта - цели переноса. Пример: RSetAt("kran01", "manometr") - совмещает точку привязки объекта kran1 с точкой привязки объекта manometr
RSetPosition	Перемещение объекта. Аргументы: Name [строка], x [число], y [число], z [число], где Name - название объекта, x, y, z - новые координаты. Пример: RSetPosition ("kran",-1.2,0, 0) - сдвигает объект по оси X относительно прежнего положения
RSetVisible	Задание видимости объекта. Аргументы: Name [строка], value [логика], где Name - название объекта, value - true/false (видим/нет). Пример: RSetVisible ("kran", false) - скрыть объект "kran"
RSetRotate	Вращение объекта. Аргументы: RSetRotate ("name",x,y,z), где Name - название объекта x,y,z - относительное вращение на углы по x,y и z Пример:RSetRotate ("kran",0,0,0.1) - вращение крана по Z
RSetScale	Задания масштаба объекта. Аргументы: Name [строка], dx [число], dy [число], dz[число], где Name - название объекта, dx, dy, dz - относительное изменение масштаба по соответствующим осям.

Продолжение таблицы 2.5.

Команда	Назначение
RGetPosition	Получение координат объекта в пространстве, относительно его предка по иерархии. Аргументы: Name [строка], где Name - название объекта Пример: <code>x,y,z = RGetPosition ("kran")</code> - получение текущих координат объекта в соотв. переменные
RGetScale	Получение значений масштаба объекта. Аргументы: Name [строка], где Name - название объекта Пример: <code>x,y,z = RGetScale ("kran")</code> - получение текущих масштабов в соотв. переменные
RGetRotate	Получение значений вращения объекта. Аргументы: Name [строка], где Name - название объекта Пример: <code>x,y,z,w = RGetRotate ("kran")</code> - получение текущих поворотов в соотв. переменные
AGetPosition	Получение координат объекта, относительно координат федерации. Аргументы: Name [строка], где Name - название объекта Пример: <code>x,y,z = AGetPosition ("kran")</code> - получение абсолютных координат объекта в соотв. переменные
RChangeTexture	Замена текстуры на объекте. Аргументы: Name [строка], FileName [строка], где Name - название объекта, Filename - имя файла новой текстуры. Пример: <code>RChangeTexture("kran01","./images/zad.png")</code>
RTextureDraw	Рисование на текстуре. Аргументы: Name[строка],x[num],y[num],r[0..1],g[0..1],b[0..1],a[0..1], где name - название объекта x,y - координаты точки рисования [0..ширина][0..высота] r,g,b,a - цвет точки [0..1] Пример: <code>RTextureDraw("Box08",120,120,1,0,0,1,true)</code> - рисует красную точку в координатах [120,120]
RSetColor	Изменение цвета материала. Аргументы: name [строка],r[0..1],g[0..1],b[0..1],a[0..1], где rgba - значение соотв компоненты цвета от 0 до 1, name - название объекта Пример: <code>RSetColor("TeapotEE",0,1,0,0.9)</code>
RTestIntersects	Проверка пересечения двух объектов. Аргументы: [bool] = ([строка1],[строка2]) Пример: <code>RSetAt("kran01", "strekla")</code> <code>test = RTestIntersects ("kran01","strekla")</code> <code>print (test)</code>

Команда	Назначение
GotoAnimation	Переход на нужное время анимации. Аргументы: GotoAnimation ("name",t), где Name - название объекта, t - абсолютное время анимации в секундах Пример: GotoAnimation ("sphereSSS", 0.5) - переход на время анимации 0.5
SetPauseAnimation	Установка или снятие паузы анимации. Аргументы: SetPauseAnimation ("name", bool), где Name - название объекта, bool - true (установить паузу) / false (снять с паузы) Пример: SetPauseAnimation ("sphereSSS", true/false) - поставить на паузу/снять с паузы
RConnectObjectTo	Присоединение одного объекта в подчинение к другому (изменение графа иерархии). Аргументы: RConnectObjectTo ("name1", "name2"), где Name1 - название объекта который присоединяют, Name2 - название объекта к которому присоединяют Пример: RSetAt("kran01", "Cylinder488") RConnectObjectTo("kran01","Cylinder488") - присоединяет кран к цилиндру
управление текстовыми объектами	
SetText	Задание отображаемого текста .Аргументы: Name [строка], text [строка], где Name - название объекта, text - новый текст. Пример: SetText ("kranText", "авария!!!")
управление источниками звука	
PlaySound	Начало воспроизведения звука. Аргументы: Name [строка], где Name - название объекта. Пример: PlaySound ("Voice1")
PauseSound	Останов воспроизведения звука. Аргументы: Name [строка], где Name - название объекта. Пример: PauseSound ("Voice1")
LoopSound	Задание режима повторения звука (зацикливания). Аргументы: Name [строка], flag [логика], где Name - название объекта, flag - повторять звук или нет (true/false). Пример: LoopSound ("Voice1", true)
Сервисные и отладочные функции	
print_object	Вывод значений всех наименований и значений атрибутов объекта, федерата или федерации
Пользовательские классы и имитационные модели	Управляющее оборудование, двигатели, процессы разгона-торможения, переходные процессы и т.д.

Таблица 2.6. Специализированные интеракции языкового процессора.

Интеракция	Описание
TIMER	Интеракция "таймер" генерируется при очередном изменении внутреннего времени федерации. Источником интеракции является федерация.
INIT	Интеракция "инициализация" генерируется при создании федерата. Источником интеракции является федерация.
PUSH	Интеракция "нажатие" генерируется при нажатии пользователем на данный объект федерата. Источником интеракции является спец. федерат "пользователь".
RELEASE	Интеракция "освобождение" генерируется при прекращении действий пользователем над данным объектом федерата.
USE	Интеракция "использование" генерируется при использовании пользователем данного объекта федерата.
DRAG	Интеракция "перемещение" генерируется при перемещении пользователем данного объекта федерата.
STEP	Интеракция "шаг" генерируется в том случае, если пользователь стоит на этом объекте. Источником интеракции является спец. федерат "пользователь".
EYE	Интеракция "объект видим" генерируется при нахождении объекта федерата в зоне видимости пользователя. Источником интеракции является спец. федерат "пользователь".

Предложенный подход разработки лингвистического обеспечения, ориентированного на решение задач автоматизации имитационного моделирования, основанный на использовании: комбинированного языка, сочетающего диалоговый режим и языковой процессор, специализированного набора функций и механизма интерпретации, позволил реализовать эффективное лингвистическое обеспечение САПР КИТ.

Благодаря простоте комбинированного языка и наличию в информационной БД большого количества типовых блоков обработки интеракций (например, переключение тумблера, поворот задвижки и др.), а также иных элементов математических моделей (процессы разгона и торможения, переходные процессы и др.), описание математической модели федерата, технически, представляет собой достаточно простую задачу.

2.3. Техническое обеспечение САПР КИТ

Процесс проектирования КИТ подразумевает ввод данных для описания объекта проектирования, преобразование и хранение данных, отображение данных в удобном для восприятия виде и т.д. Для обеспечения процесса проектирования, САПР КИТ необходимо техническое обеспечение [26]. В качестве технического (аппаратного) обеспечения САПР КИТ может применяться персональный компьютер, соответствующий следующим базовым требованиям:

Параметр	Условие
Модель процессора	Intel, AMD, Via
Частота процессора	Не менее 2 GHz
RAM	Не менее 256 MB
HDD	Не менее 1GB
Video	Аппаратная поддержка OpenGL Поддержка разрешения - 1024*768 и выше Поддержка глубины цвета- 24 или 32 бит/пиксель
Video RAM	Не менее 64 MB
Звуковая карта	Поддержка DirectX / OpenAL
Манипулятор	Мышь, 3 кнопки
Клавиатура	Любая
Монитор	Поддержка разрешения 1024*768 и выше Поддержка глубины цвета не менее 24 бит/пиксель
Устройства формирования виртуальной реальности	shutter-очки “Панорама”
	шлем VR eMagin Z800 3D Visor
	система захвата движения InterSence IS 900
	перчатки Data Glove 5 Ultra
	система захвата движения NaturalPoint OptiTrack

При работе САПР КИТ и созданных при ее помощи КИТ в системе формирования виртуальной реальности необходимы дополнительные аппаратные средства. В соответствии с результатами анализа технологий формирования виртуальной реальности, в САПР КИТ поддерживает следующие устройства VR:

1. систему формирования объемной визуализации;
2. систему формирования объемного звукового сопровождения;
3. систему захвата движения.

Система формирования **объемной визуализации** может быть реализована на базе цветовой, временной, пространственной или поляризационной сепарации. Использование цветовой сепарации не требует дополнительных аппаратных устройств (необходимы специальные очки с светофильтрами). Для обеспечения временной сепарации изображения САПР КИТ имеет поддержку следующих устройств: shutter-очки “Панорама”, производства корпорации “Стел” (рисунок 2.12), профессиональные стереоочки фирмы StereoGraphics. Для пространственной сепарации изображения САПР КИТ имеет поддержку следующих шлемов VR: eMagin Z800 3D Visor, производства фирмы eMagin (рисунок 2.12.), i-glasses PC 3D, фирмы i-O Display Systems. Поляризационная сепарация может быть реализована на базе DLP проекторов, поляризационных фильтров и поляризационного экрана (рисунок. 2.13). Во всех перечисленных вариантах получения объемной визуализации, кроме цветовой сепарации, необходим видеоадаптер с поддержкой стерео режима. Для этой цели может использоваться любой видеоадаптер производства фирмы nVidia либо профессиональные модели фирм AMD/ATI или 3D labs.



Рисунок 2.12. shutter-очки “Панорама” и шлем VR eMagin Z800 3D Visor

Система формирования **объемного звукового сопровождения** может быть реализована на базе звуковых карт, поддерживающих алгоритмы обработки звука EAX1, EAX2 и т.д. В настоящее время поддержку указанных алгоритмов имеют практически все имеющиеся на рынке устройства, однако для получения наиболее точного и быстрого объемного звука рекомендуется использование звуковых карт производства фирмы Creative Labs.

В качестве **системы захвата движения** САПР КИТ могут использоваться 3DOF датчик ориентации головы, имеющийся в шлеме eMagin Z800 3D Visor, любые наборы датчиков положения и ориентации фирмы InterSense, включая систему IS-900 (рисунок 2.114). Для определения действий пользователей в система VR допускается использование “перчаток” Data Glove 5 Ultra, фирмы Data Glove, или указательных устройств фирмы InterSense (рисунок 2.16). Для захвата движения всех частей тела возможно использование системы захвата движения NaturalPoint OptiTrack (рисунок 2.15).

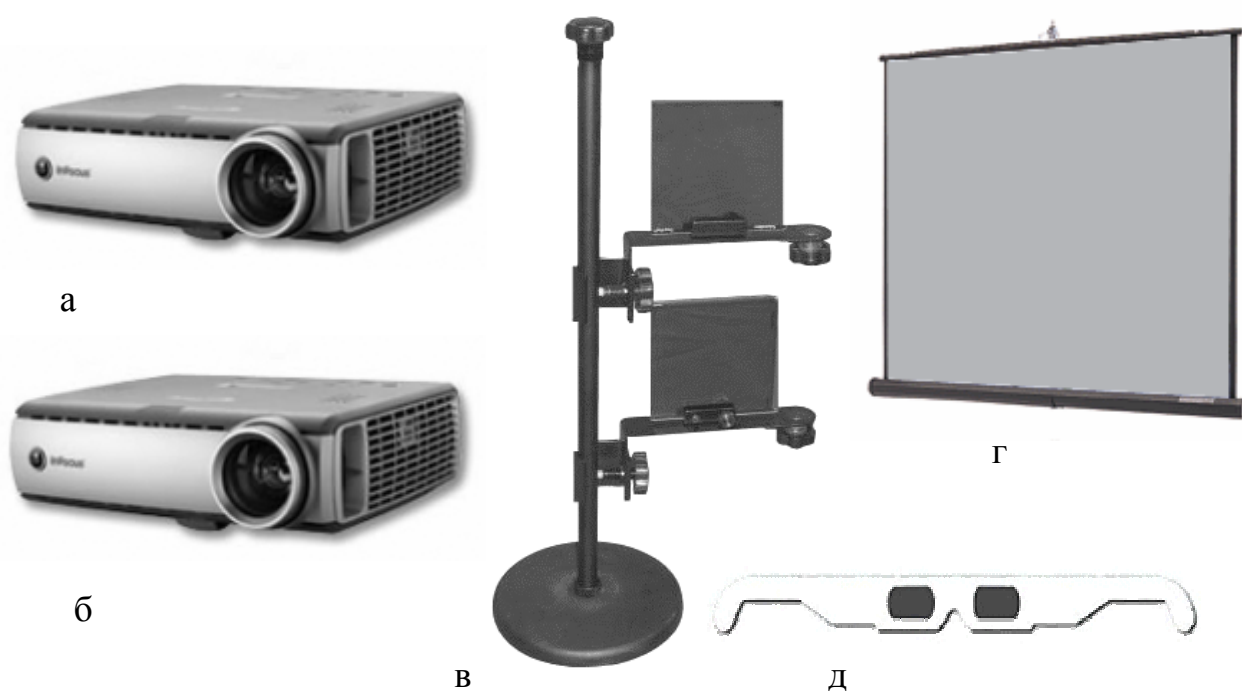


Рисунок 2.13. устройства обеспечения поляризационной сепарации изображения

(а, б –DLP проекторы; в – поляризационные фильтры;

г – поляризационный(металлизированный) экран, д – поляризационные очки)



Рисунок 2.14. Система захвата движения IS 900 производства InterSense
(а - 6DOF датчики положения и ориентации (до 8 датчиков);
б – ультразвуковые отражатели; в – процессор)

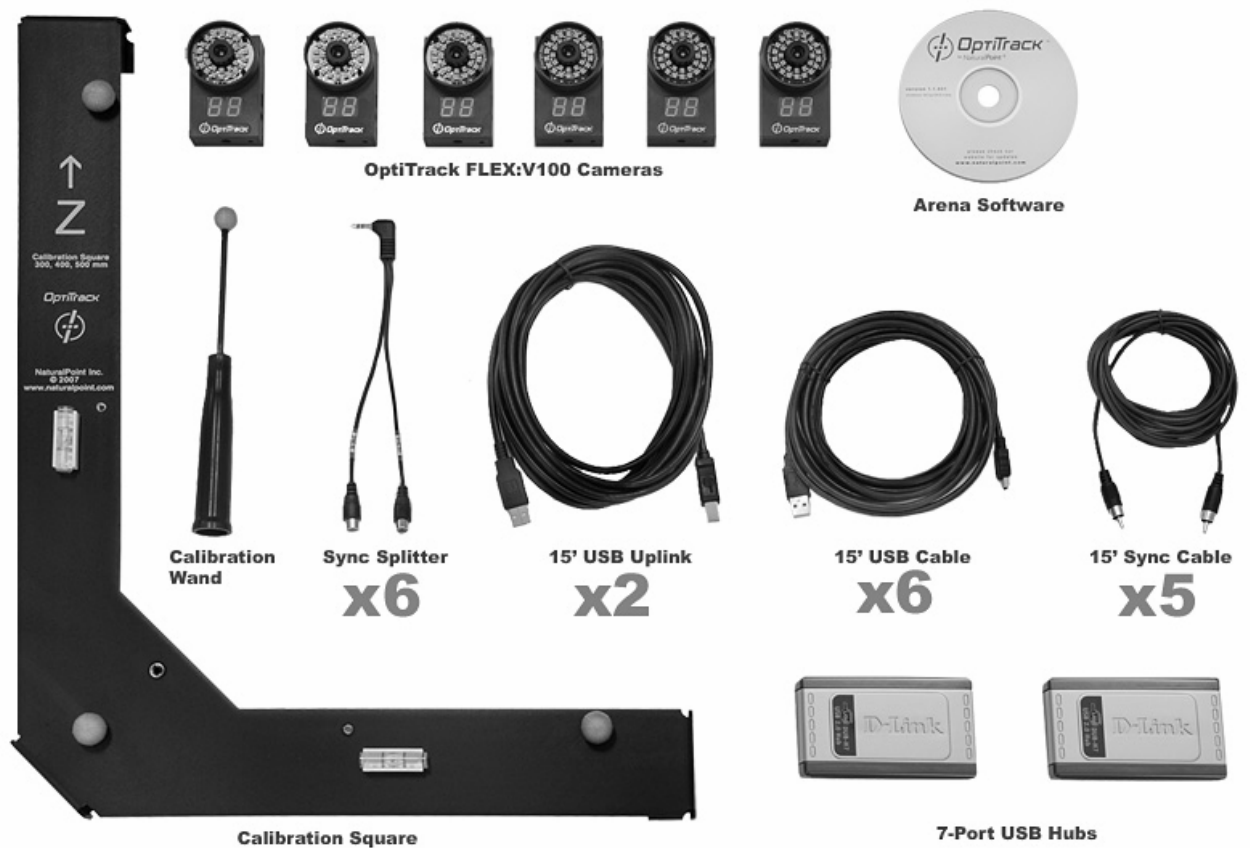


Рисунок 2.15. Система захвата движения NaturalPoint OptiTrack



Рисунок 2.16. Data Glove 5 Ultra (слева) и IS 900 MiniTrax (справа).

Указанное оборудование может использоваться пользователями до 3 часов в день без вреда для человека. При более продолжительной работе производители рекомендуют 30 минутные перерывы. Предложенное техническое обеспечение САПР КИТ позволяет проектировать и использовать КИТ как на стандартных персональных компьютерах, так и в составе систем формирования виртуальной реальности, что существенно увеличивает эффективность проектирования и использования КИТ в целом.

2.4. Программное обеспечение САПР КИТ

В первой главе была показана возможность и целесообразность создания САПР компьютерных имитационных тренажеров. Выполнение основных требований, которым должна удовлетворять современная САПР КИТ, реализовано в созданном информационном, лингвистическом и техническом обеспечении. В данном разделе рассматриваются вопросы, связанные с разработкой программного обеспечения САПР КИТ.

Программное обеспечение в САПР КИТ разделено на общесистемное и прикладное. В состав общесистемного программного обеспечения входят операционная система, необходимые драйверы устройств и программы 3D моделирования. Для работы САПР КИТ необходима любая современная операционная система – MS Windows 2000/2003/XP/Vista, Unix/Linux или MacOS. Для любой из перечисленных ОС необходимы драйверы с поддержкой

аппаратного ускорения графики и звука. Графические пакеты не используются САПР КИТ непосредственно, но необходимы для создания геометрических описаний имитируемых объектов (процессов) пользователями САПР КИТ или пользователями, имеющими соответствующую квалификацию. Наиболее распространенными графическими пакетами на данный момент являются следующие коммерческие продукты – Autodesk 3D Studio MAX, Autodesk Maya, LightWave, Cinema 4D и бесплатные – Blender, Remo3D и т.д.

К прикладному программному обеспечению относятся специализированное программное обеспечение для решения отдельных задач проектирования КИТ. Созданное информационное обеспечение предполагает использование прикладного программного обеспечения, состоящего из отдельных модулей. Принятый подход обладает следующими преимуществами [5,29]:

- каждый программный модуль может разрабатываться и совершенствоваться независимо от остальных;
- обеспечивается возможность последующего включения в САПР новых модулей, для расширения функциональности (открытая архитектура).

В состав основных модулей системы входят:

- проектный модуль импорта исходных данных;
- проектный модуль редактирования;
- проектный модуль просмотра и отладки;
- проектный модуль экспорта.

Ключевым вопросом при разработке указанных модулей является выбор соответствующего программного пакета для разработки, технологий визуализации, соответствующих баз данных и т.д. Обеспечение возможности функционирования САПР КИТ, а также созданных КИТ на различных аппаратных и программных платформах, требует применения соответствующих средств разработки. Использование популярных визуальных сред разработки ПО, таких как MS Visual Studio NET, Borland Delphi или Borland CBuilder не представляется возможным, т.к. полученные программы

функционируют только в операционных системах Microsoft, что напрямую нарушает указанное требование кроссплатформенности. Использование платформенно-независимых языков программирования, таких как JAVA, позволяет выполнять созданное программное обеспечение практически на любой платформе. Несмотря на преимущества платформенно-независимых языков программирования, низкая скорость выполнения программ не допускает их использования в задачах проектирования КИТ (по данным различных источников [22], JAVA имеет более чем в 10 раз меньшую скорость выполнения кода по сравнению с C++). Обеспечение работы САПР КИТ на различных аппаратных и программных платформах с достаточной скоростью может быть достигнута при использовании языка C++ совместно с библиотекой QT фирмы TrollTech [42]. При этом используется возможность портирования программ C/C++ на различные платформы, библиотека QT обеспечивает переносимость программ на C++ на уровне кода для наиболее популярных операционных систем – Microsoft Windows 2000/XP/Vista, Unix/Linux и MacOS. Еще одним аргументом в пользу выбора языка C++ является тот факт, что программные интерфейсы (API), входящие в комплект поставки различных устройств VR, представляют собой программы и библиотеки на языке C/C++. Большая часть графических, звуковых и сетевых интерфейсов (OpenGL, Direct3D, DirectSound, OpenAL и т.д.) также использует в качестве основного языка именно C++.

Решая вопрос о выборе технологии визуализации, необходимо отметить, что на сегодняшний день существует только один кроссплатформенный графический интерфейс – OpenGL (Open Graphic Library), необходимый для создания интерактивных трехмерных прикладных программ [56,86,90,64]. Библиотека OpenGL разработана в качестве низкоуровневого, аппаратно-независимого интерфейса, допускающего реализацию на множестве различных аппаратных платформ. Для того чтобы достичь этих качеств, в состав библиотеки OpenGL не включены команды для выполнения задач работы с окнами или для получения пользовательского ввода; вместо этого необходимо работать через любую систему управления окнами (MS Windows /

Linux и т.д.), которая работает с конкретными аппаратными средствами. Точно так же библиотека OpenGL не предоставляет команды высокого уровня для описания моделей трехмерных объектов. Для этого существуют наборы инструментов более высокого уровня, которые являются надстройкой библиотеки OpenGL и самостоятельно доступны для множества реализаций библиотеки OpenGL. По данным популярного WEB-портала [59], посвященного профессиональным средствам визуальной имитации и индустрии образования (Visual Simulation & Training Industry), на март 2006 года самым популярным инструментарием является OpenSceneGraph (рисунок 2.17). Судя по приведенным данным, практически все профессиональные средства имитации построены именно на базе OpenGL. Библиотека OpenSceneGraph поддерживает следующие технологии получения объемных изображений: временная сепарация, пространственная сепарация, поляризационная сепарация и цветовая сепарация.

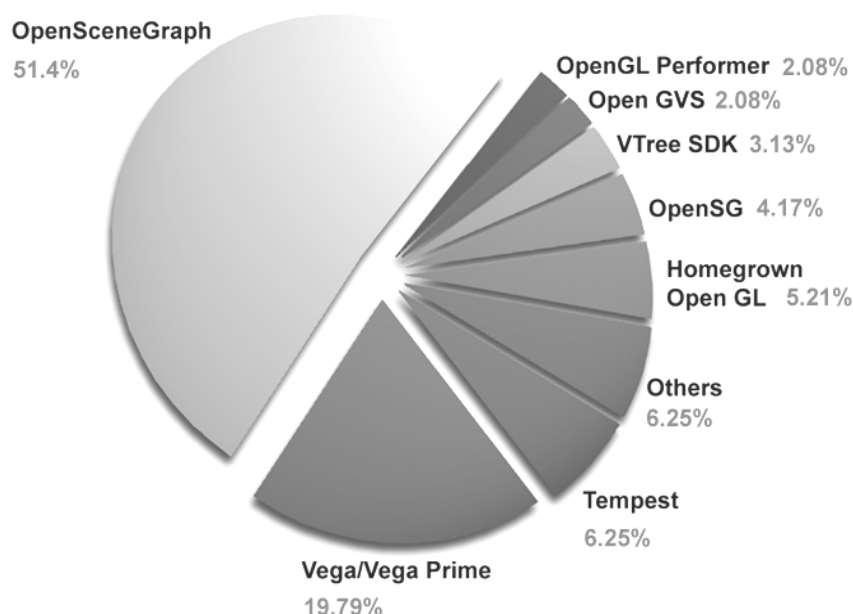


Рисунок 2.17. Диаграмма популярности различных графических инструментариев, используемых при визуализации.

При выборе технологии получения объемного звукового сопровождения также необходимо учитывать требование кроссплатформенности. По данным IASIG (Interactive Audio Special Interest Group) [65], на сегодняшний день

существует 2 аппаратных интерфейса для создания звукового сопровождения – DirectSound и OpenAL (Open Audio Library). DirectSound на данный момент является самым распространенным интерфейсом. Большинство выпускаемых звуковых плат поддерживает DirectSound, но возможность работы исключительно в операционных системах Microsoft исключает возможность использования в программном обеспечении САПР КИТ. OpenAL [43] была разработана фирмой Loki Entertainment как кроссплатформенный API, на данный момент активно поддерживается крупными производителями вычислительной техники (Creative Labs, NVIDIA) в качестве альтернативы DirectSound. В отличие от DirectX, OpenAL является полностью кросс-платформенной библиотекой. Возможности воспроизведения пространственного звука OpenAL в полной мере позволяют использовать эту библиотеку при разработке компьютерных имитационных тренажеров.

Для получения информации с датчиков положения и ориентации в пространстве, используемых в системе формирования виртуальной реальности, программное обеспечение использует программные библиотеки, предоставляемые производителями соответствующего оборудования. Для работы специализированного оборудования, определенного в техническом обеспечении САПР КИТ используются комплекты для разработчиков (develop kit), предоставляемые следующими производителями: EMagin, Data Glove и InterSence, NaturalPoint.

В настоящее время реализация механизма распределенной интерактивной имитации выполняется при помощи программной библиотеки pRTI 1516 LE [68]. pRTI 1516 LE является полной реализацией спецификации интерфейсов HLA версии 1.3. Изучение стандарта IEEE 1516, проведенное в первой главе, показало, что эта библиотека наиболее широко используется в моделировании и имитации. pRTI™ 1516 LE имеет реализацию на операционных системах Windows NT/2000/XP/Vista, а также Linux и всех основных UNIX системах.

Следует отметить, что выбранное программное обеспечение предоставляется в двух вариантах: свободном (бесплатном) и коммерческом. Как правило, все вышеперечисленное программное обеспечение использует

механизм лицензирования, основанный на открытой публичной лицензии GNU. Это обстоятельство дает право свободно использовать данное программное обеспечение для проектирования и открытого распространения САПР КИТ. При использовании коммерческих лицензий возможно создание **закрытого** (платного) программного обеспечения (коммерческая версия САПР КИТ).

UML-схема взаимодействия компонентов программного и технического обеспечения приведена на рисунке 2.18.

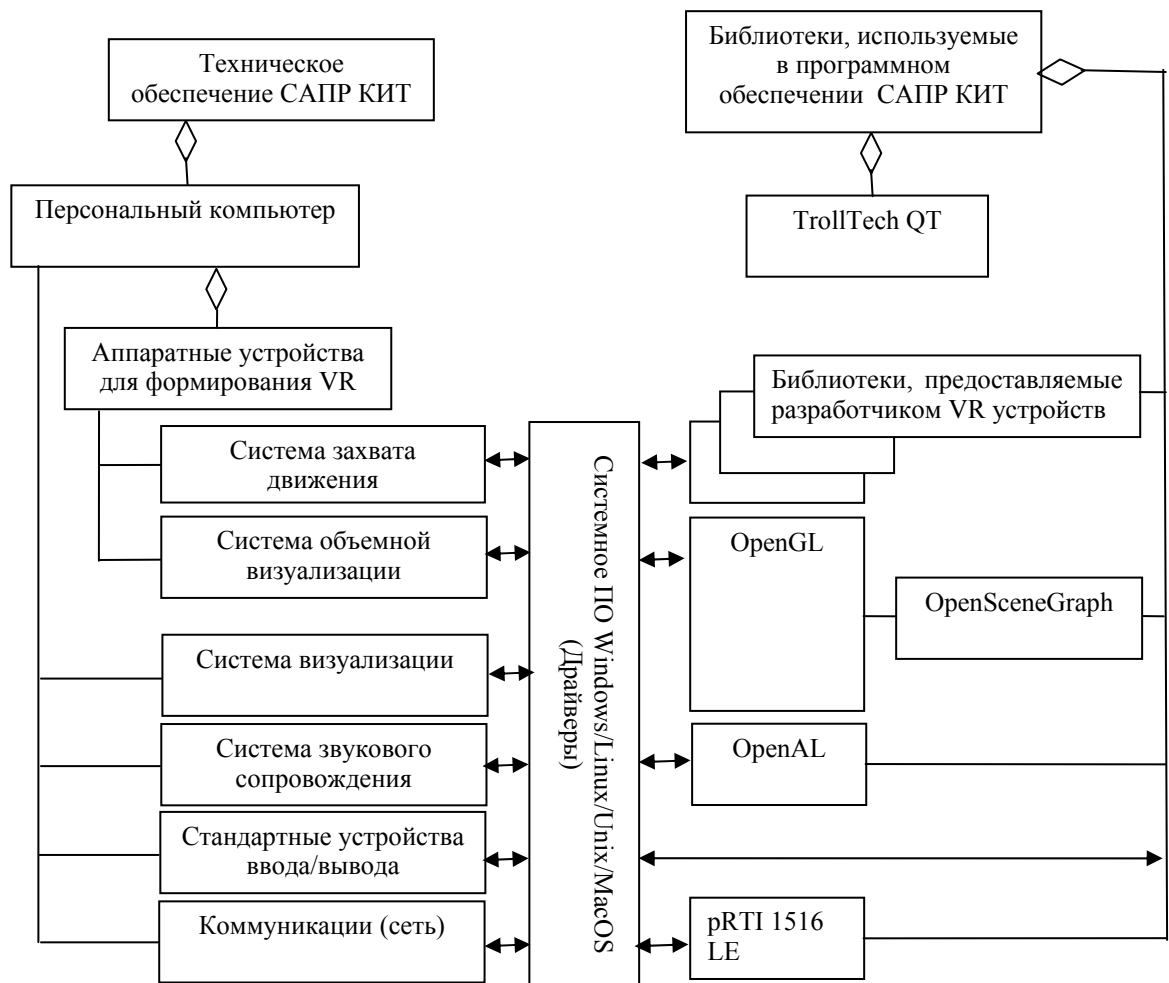


Рисунок 2.18. UML-схема взаимодействия компонентов программного и технического обеспечения.

Выбранные технологии и программные библиотеки в полном объеме предоставляют необходимую функциональность при разработке необходимых проектных модулей САПР КИТ и, в целом, соответствуют поставленным

требованиям для современных САПР. Применение промежуточных библиотек (OpenSceneGraph и pRTI 1516 LE) направлено на обеспечение быстрых темпов разработки САПР КИТ без потери функциональности.

2.4.1. Проектный модуль импорта исходных данных

Основной задачей модуля импорта данных является обеспечение возможности использования в процессе проектирования данных, созданных в программах 3D моделирования, звуковых редакторах, редакторах растровых и векторных изображений и т.д. Указанные данные должны быть представлены пользователю САПР КИТ в удобном для просмотра и редактирования виде. Для этого, во многих случаях необходимо преобразование данных из одного формата в другой. В случае со звуковыми файлами такое преобразование необходимо, поскольку библиотека OpenAL напрямую поддерживает только стандартные форматы файлов звука. Файлы в формате mp3, wma и mid должны быть преобразованы. Проекты с описанием геометрии имитируемых объектов, созданные при помощи распространенных программ 3D моделирования, таких как Autodesk 3D Studio MAX, Autodesk Maya или Blender, представляют собой совокупность достаточно большого числа файлов (карты текстуры, нормалей и т.д.). Кроме того при создании геометрии в указанных программах достаточно часто, разработчики используют модули, расширяющие функциональность программы. По этим причинам, использование таких файлов напрямую, несмотря на то, библиотека OpenSceneGraph поддерживает указанные форматы, вызывает массу трудностей. В качестве примера можно представить ситуацию, когда пользователь графического пакета при создании геометрии использовал некое расширение. Другой пользователь, не имея этого расширения, уже не сможет открыть созданный файл, как и библиотека OpenSceneGraph не сможет его визуализировать. По этой причине необходимо использовать универсальный формат 3D-данных, лишенный этих недостатков. Разработчики OpenSceneGraph рекомендуют использовать форматы OSG (внутренний

текстовый формат библиотеки) и IVE (внутренний бинарный формат библиотеки, использующий сжатие).

В связи с этим, основными функциями проектного модуля импорта является преобразование графических, звуковых и других файлов в указанные форматы, поддерживаемые библиотеками OpenAL, OpenSceneGraph и TrollTech QT соответственно для возможности последующего их использования. На рисунке 2.19 показан пример преобразования данных из программы 3D Studio MAX в форматы OSG/IVE. Задача преобразования была реализована путем вызова соответствующих сервисов системного программного обеспечения или специализированных программ-конвертеров, входящих в состав используемых библиотек (OpenSceneGraph, OpenAL). В результате САПР КИТ поддерживает множество форматов входных и преобразуемых данных. Поддерживаемые форматы входных данных показаны в таблице 2.7. При добавлении к проекту КИТ нового файла модуль импорта проверяет его формат, а в случае необходимости преобразует файл к одному из внутренних форматов и копирует его в локальную информационную базу, т.е. в соответствующую директорию рабочего проекта КИТ. После этой операции данные становятся доступными для следующего проектного модуля – модуля редактирования.

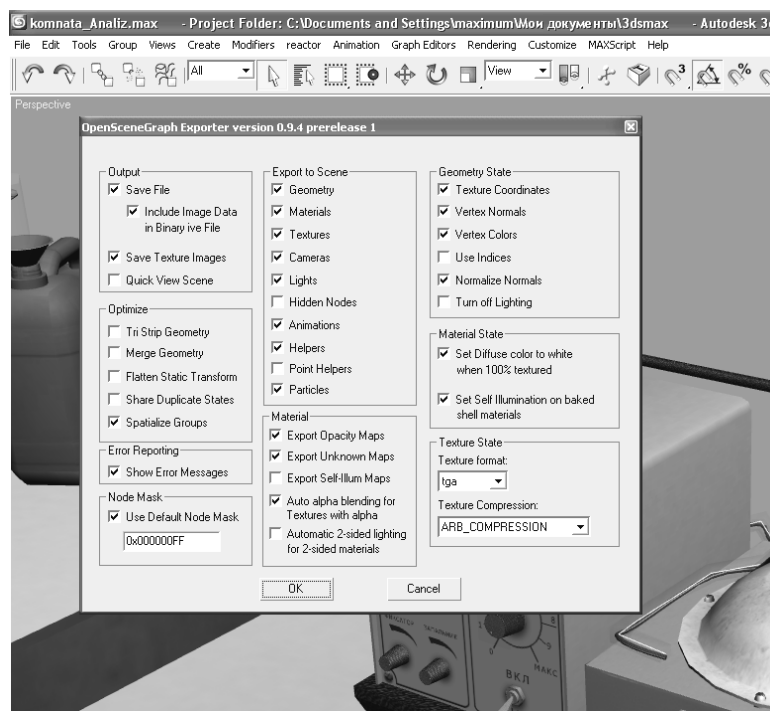


Рисунок 2.19. Преобразование данных из программы 3D Studio MAX

Таблица 2.7. Поддерживаемые форматы входных данных.

Группа	Формат	
	Внутренний формат	Внешний формат
Звуковые данные	Звуковой формат Windows (*.wav)	Сжатый формат аудио (*.mp3)
		Ogg Vorbis (*.ogg)
Файлы, описывающие шрифт	TrueType (*.ttf)	
	Type 1 PostScript (*.pfb)	
	Растровый шрифт (*.fon)	
3D геометрические форматы	OSG IVE	AC3D (*.ac3d)
		MultiGenFlight (*.flt)
		OpenFlight (*.fly)
		Inventor VRML (*.iv)
		3D Studio Max (*.3ds)
		LightWave (*.lwo)
		Wavefront (*.obj)
		SoftImage (*.pic)
		AutoCAD (*.dw)
		DirectX (*.x)
2D графические форматы	растровое изображение Windows (*.bmp)	Direct Draw (*.dds)
		GeoPaint (*.geo)
		Graphics interchange file format (*.gif)
	Truevision Targa bitmap (*.tga)	QuickTime image (*.mov)
	Portable Network Graphic (*.png)	Silicon Graphics Raw Red, Green and Blue bytes bitmap image (*.rgb)
	JPEG (*.jpg)	Tagged Image File Format (*.tiff)

2.4.2. Проектный модуль редактирования

Основной задачей модуля редактирования является обеспечение возможности просмотра и модификации иерархической структуры федерации

КИТ, атрибутов объектов и написания соответствующей имитационной модели. Модуль редактирования практически является средой проектирования КИТ. Главное окно модуля разделено на следующие зоны: управления проектом, рабочий лист проекта, атрибуты и интеракции. Каждая зона управления определена соответствующим классом, что наилучшим образом соответствует принципам объектно-ориентированного программирования [78,4,7]. UML-схема модуля представлена на рисунке 2.20. Класс главного окна модуля является верхним в иерархии прикладного программного обеспечения и включает все остальные модули.

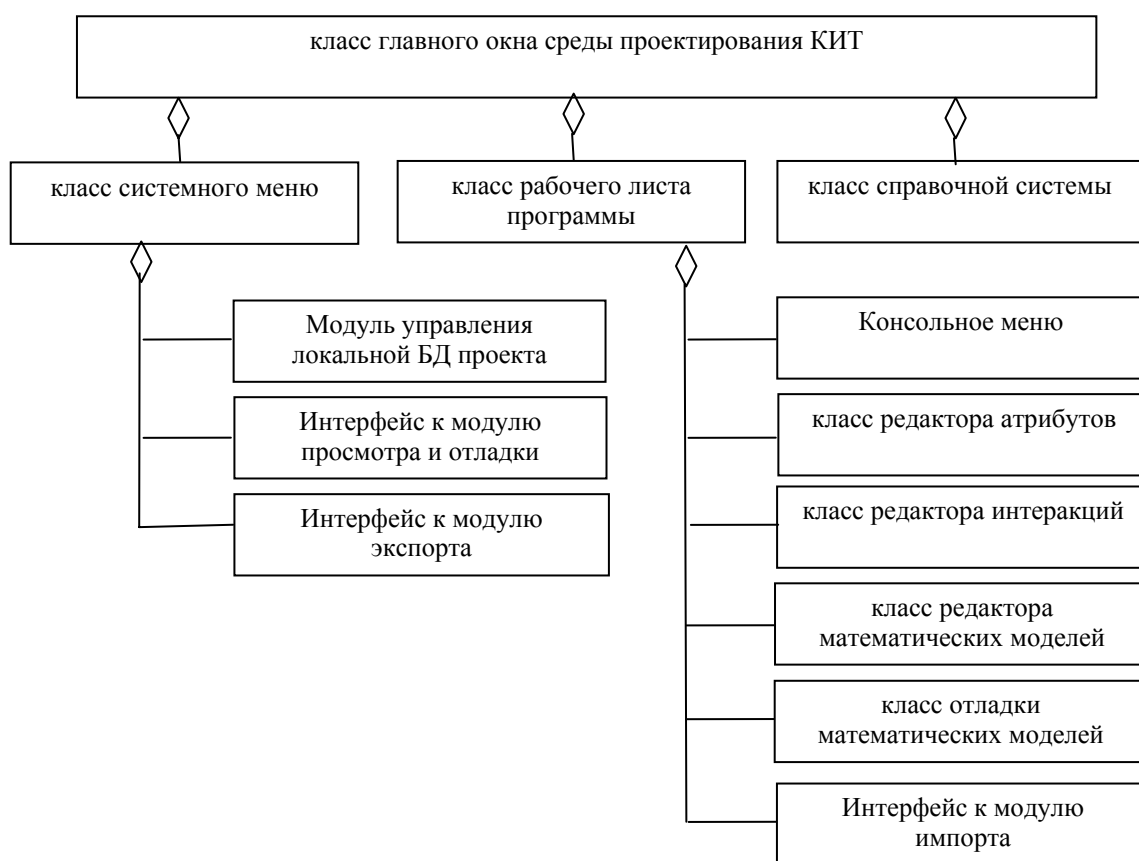


Рисунок 2.20. UML-схема модуля редактирования

Модуль редактирования написан на языке C++ с использованием библиотеки QT. Контекстно-ориентированная справочная система создана с помощью средства Assistant, входящего в состав библиотеки QT. Созданный модуль редактирования позволяет создавать элементы КИТ (федерации,

федераты), передавать созданный КИТ в модуль просмотра или модуль экспорта. Получая информацию из модуля просмотра, пользователь может производить процесс отладки созданных математических моделей. Подробное описание интерфейса пользователя и типовых операций при проектировании КИТ содержится в главе №3 данной работы.

2.4.3. Проектный модуль просмотра и отладки

Проектный модуль просмотра и отладки – это автономная среда выполнения разрабатываемых компьютерных имитационных тренажеров. Фактически, модуль просмотра получает файл сценария, полностью описывающий КИТ на специализированном управляющем языке, описанном в разработанном лингвистическом обеспечении. После открытия файла “start.lua”, проектный модуль выполняет процедуру поиска запущенных сервисов общего механизма взаимодействия (RTI). Сервис RTI необходим как в случае локального выполнения КИТ одним пользователем, так и при распределенной интерактивной имитации. Если сервис не был найден, происходит запуск RTI и подключение к нему. Следующим этапом является инициализация видео и звуковой системы, а также устройств формирования виртуальной реальности. Если обнаружены устройства формирования виртуальной реальности, дублирующие функции стандартных устройств, например, виртуальные перчатки и шлем, события, поступающие от манипулятора “мышь”/клавиатуры игнорируются. После инициализации всех аппаратных устройств, начинается интерпретация файла - сценария КИТ. В начале файла сценария находятся ссылки на данные, необходимые для работы КИТ (3D модели, звуковые фрагменты, шрифты и т.д.). После загрузки всех необходимых данных вызывается интеракция федерации – функция инициализации, которая в свою очередь вызывает процессы инициализации всех федератов. После этого, начинается выполнение главный цикл программы. В главном цикле программы происходит обработка всех событий происходящих в RTI, т.е. прием, отправка и получение значений атрибутов и интеракций, после

чего происходит изменение атрибутов и вызов функций – обработчиков из файла-сценария. Кроме того, при каждом выполнении цикла происходит интеракции TIMER. При совершении пользователем каких либо действий также вызываются обработчики соответствующих интеракций. Функции-обработчики интеракций (определенные в сценарии), в свою очередь, вызывают команды для изменения 3D сцены, звукового сопровождения и т.д.

При возникновении ошибки в программе или языковом процессоре LUA, необходимая информация выводится на стандартный поток err, который получает среда разработки. Функции-обработчики интеракций также могут выводить любую информацию в поток err. Таким образом, осуществляется процесс получения данных для отладки созданного КИТ. Блок-схема работы и UML-схема проектного модуля просмотра и отладки показаны на рисунках 2.21 и 2.22.



Рисунок 2.21. UML-схема модуля просмотра и отладки

Созданный модуль просмотра и отладки позволяет выполнять созданные компьютерные имитационные тренажеры, как в автономном режиме, так из среды проектирования КИТ. В последнем случае реализуется механизм локализации возможных ошибок в математических моделях.

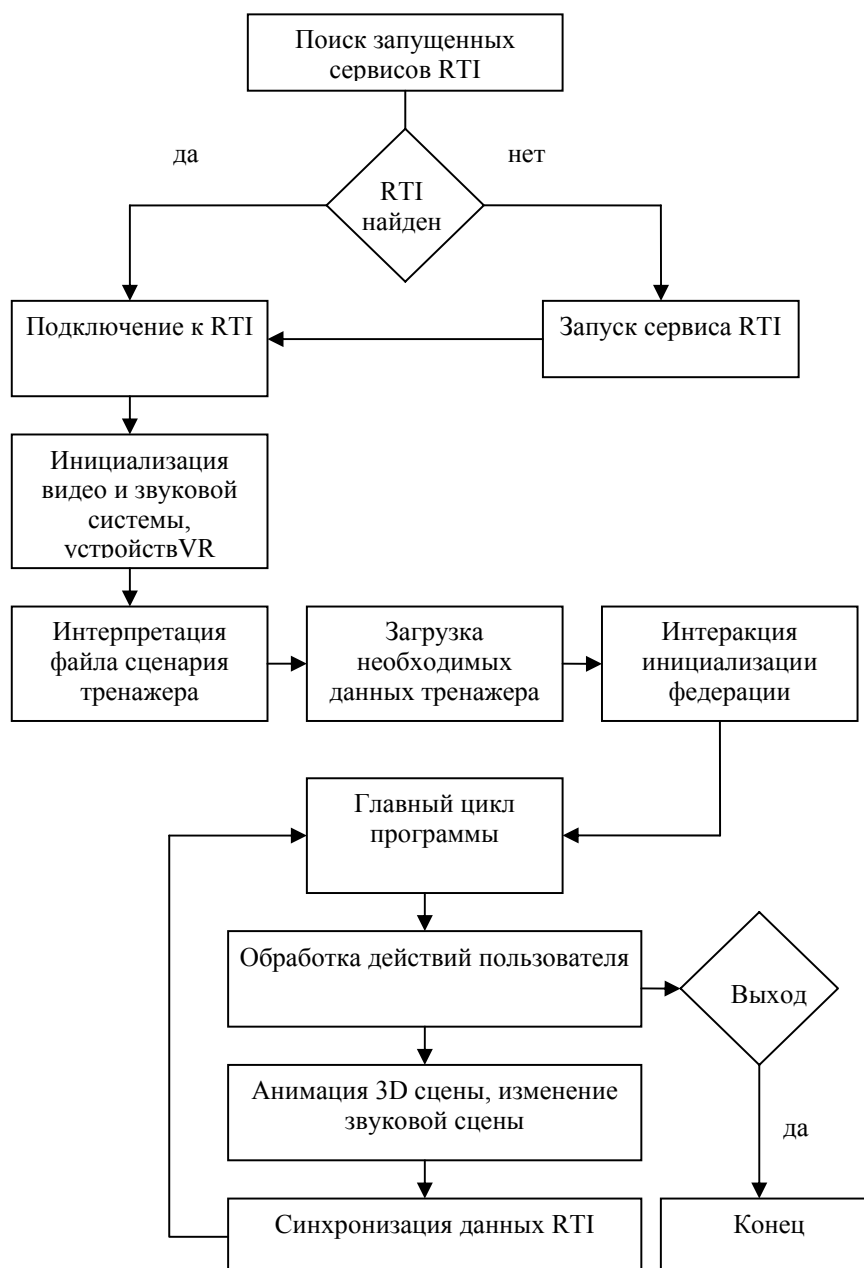


Рисунок 2.22. Блок-схема работы модуля просмотра и отладки.

2.4.4. Проектный модуль экспорта

Проектный модуль экспорта – это средство для выполнения преобразования созданного компьютерного имитационного тренажера в формат предоставления электронного образовательного контента SCORM. Файл SCORM представляет собой ZIP-архив, содержащий все необходимые для автономной работы электронного образовательного ресурса (ЭОР), файлы. Также в ZIP-архиве должен находиться XML файл – манифест, содержащий

такие поля, как авторы, организация-разработчик, назначение, язык, системные требования и т.д.

Поскольку созданный модуль просмотра и отладки является автономным приложением для получения SCORM-ресурса достаточно создать файл манифеста, скопировать все используемые КИТ файлы (в т.ч. файл сценария) и модуль просмотра в файл ZIP. Проектный модуль экспорта автоматизирует указанный процесс. В результате созданные с помощью САПР компьютерные имитационные тренажеры становятся доступными для использования во всех системах предоставления электронных образовательных ресурсов, например, Learning Space, Web City, Moodle и т.д.

Созданная САПР КИТ отвечает всем изначально определенным требованиям, а также требованиям, указанным в процессе проектирования информационного и технического обеспечения.

3. СОСТАВ И ОПИСАНИЕ САПР КИТ

3.1. Среда визуального проектирования САПР КИТ

С точки зрения проектировщика, САПР КИТ представляет собой стандартное приложение, использующее графический интерфейс пользователя. Рабочий экран визуальной среды проектирования в операционной системе MS Windows XP представлен на рисунке 3.1. Среда визуального проектирования также поддерживает альтернативные режимы просмотра и редактирования, но представленный на рисунке режим является основным.

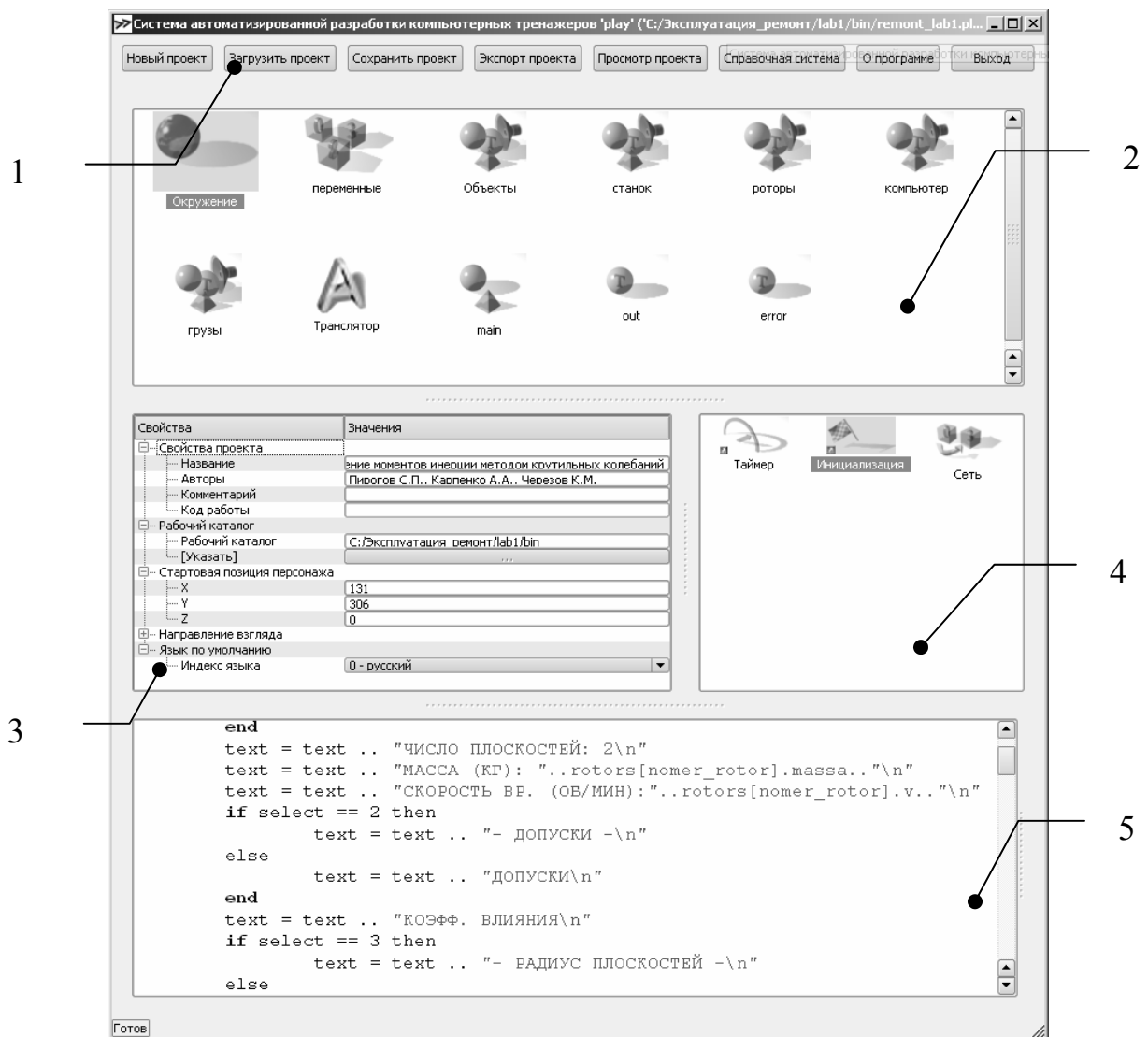


Рисунок 3.1. Внешний вид визуальной среды проектирования КИТ

На главном окне системы расположено главное меню (1), окно редактирования состава федерации (2), окно определения атрибутов объектов (3), окна интеракций (4) и редактирования (5) имитационных моделей. Самая верхняя строка окна – это заголовок. В заголовке указано название системы – САПР КИТ и файл проекта. Компоновка окон может быть легко изменена при помощи разделительных полос. В зависимости от рода выполняемых пользователем действий, окна программы могут быть увеличены, уменьшены или временно скрыты в любом порядке, также может быть изменен и способ представления той или иной информации. На рисунке 3.2. показаны различные варианты компоновки окон САПР КИТ, а также один из альтернативных режимов проектирования.

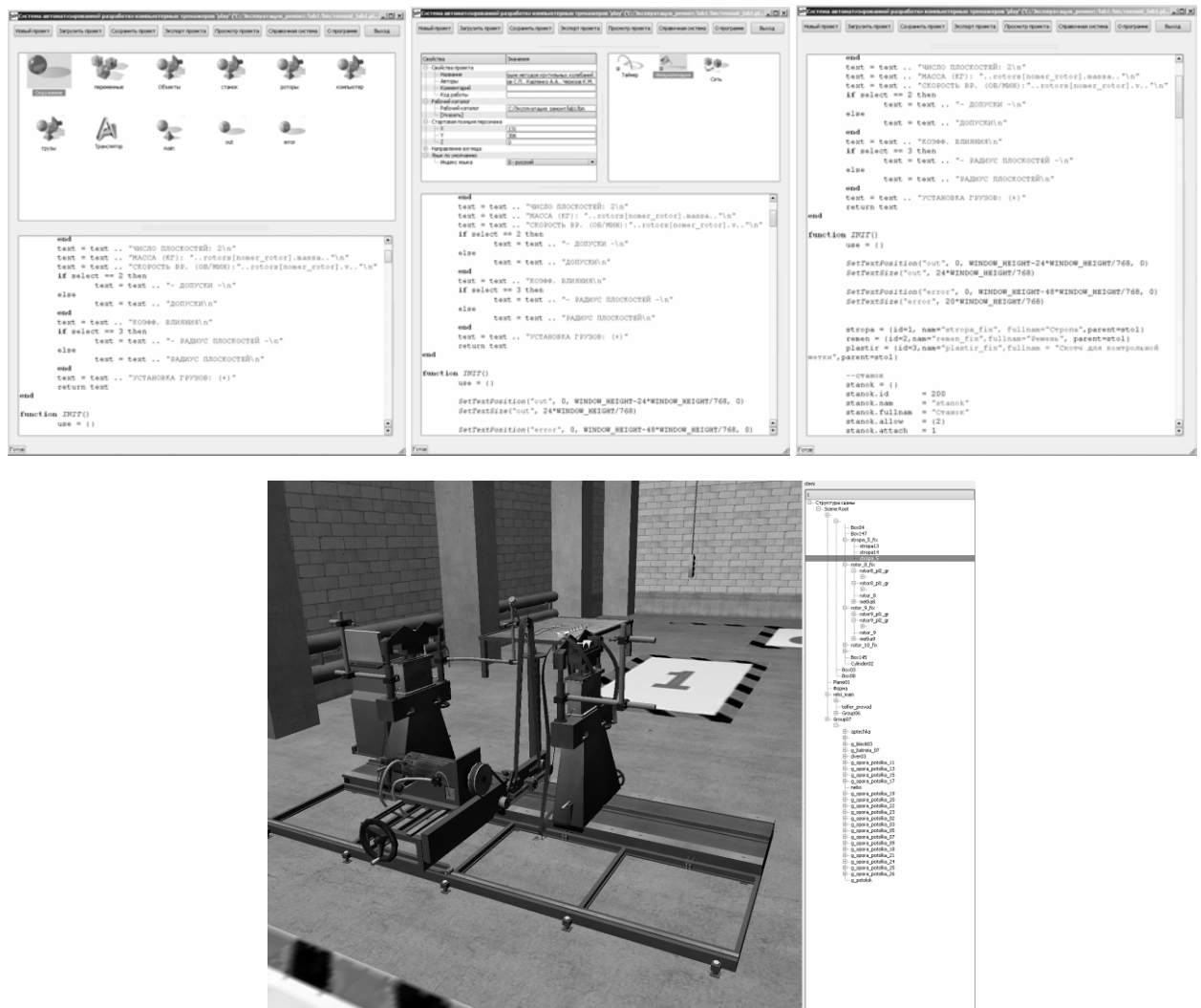


Рисунок 3.2. Возможности компоновки окон САПР КИТ и альтернативные режимы проектирования

При помощи главного меню пользователь может выполнять следующие действия: создавать, загружать или сохранять проекты КИТ, экспортировать созданный КИТ в формат SCORM, запускать проектируемый КИТ в режиме просмотра и отладки, вызывать справочную систему и т.д. Для создания нового КИТ необходимо нажать клавишу "Новый проект" и указать в появившемся диалоге имя файла проекта. Открытие для просмотра или модификации существующего проекта КИТ производится при нажатии на клавишу "Загрузить проект" с последующим указанием существующего файла проекта. Для сохранения изменений проекта необходимо произвести нажатие на клавише "Сохранить проект". Компоновка и экспорт созданного компьютерного тренажера в формат представления электронного образовательного контента SCORM производится при помощи клавиши "Экспорт проекта". Предварительный запуск компьютерного имитационного тренажера с целью его просмотра и отладки осуществляется при помощи клавиши "Просмотр проекта". Открытие главного окна справочной системы осуществляется при нажатии клавиши "Справочная система". Клавиши "О программе" и "Выход" предназначены, соответственно, для показа диалога автора программы и выхода из программы.

Справочная система САПР КИТ (рисунок 3.3) содержит всю необходимую при проектировании КИТ информацию – описание интерфейса программы, руководство по специализированному директивному языку, краткое руководство по созданию имитируемых моделей и процессов в программе 3D Studio MAX, руководство по использованию устройств формирования виртуальной реальности, примеры КИТ, лицензионное соглашение и т.д. Справочная система обладает развитыми средствами поиска необходимой информации, предоставляет возможность изменять размер текста для более удобного просмотра и распечатывать необходимую информацию. Справочная система является контекстно-зависимой, что позволяет переходить к нужному разделу справочной информации в зависимости от текущего положения курсора или выполняемой задачи.

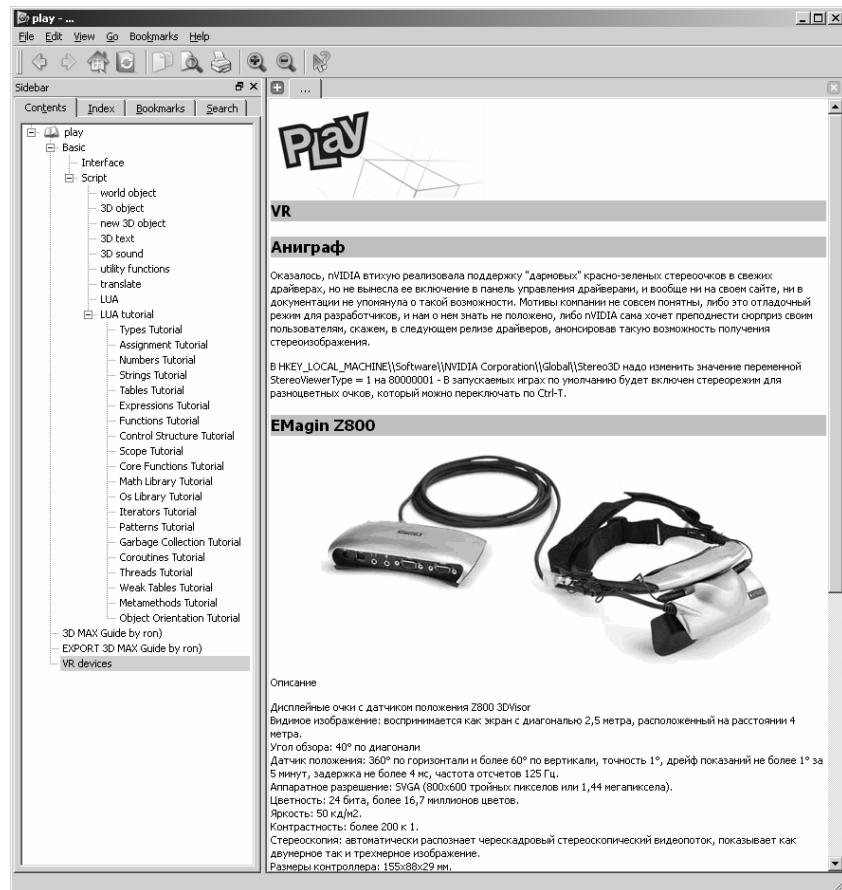


Рисунок 3.3. Главное окно справочной системы

Окно редактирования состава федерации предназначено для создания иерархической структуры федерации, создания, переноса или удаления федератов и объектов. Основные функции – создание, просмотр, редактирование и удаление элементов выполняются при помощи контекстного меню окна редактирования. Содержание контекстного меню зависит от элемента, находящегося под курсором в момент нажатия правой клавиши (рисунок 3.4.).

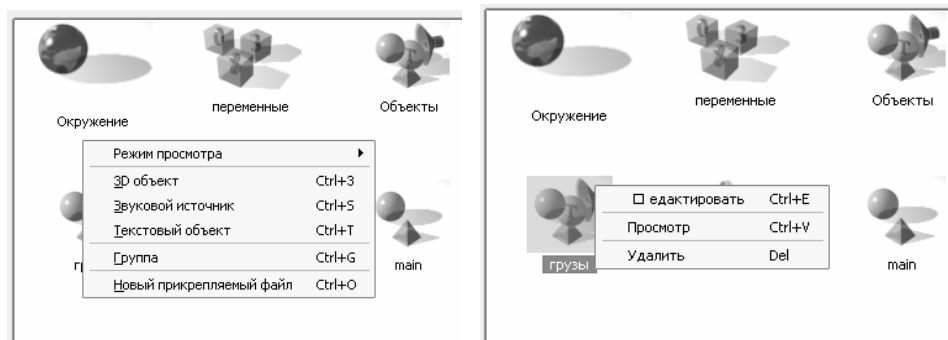


Рисунок 3.4. Контекстные меню окна редактирования состава федерации

В окне редактирования пользователю доступны следующие элементы (рисунок 3.5.), определяющие состав и иерархию федерации проектируемого КИТ – это окружение (1), группа (2), переменные (3), 3D объект (4), источник звука (5), 3D текст (6), прикрепленные файлы (7) и перевод (8). Элемент “окружение” является обязательным элементом в создаваемом тренажере, содержит сведения об авторах КИТ, его названии и другие параметры федерации, предоставляет доступ к свойствам и интеракциям федерации. Элемент “группа” представляет описание федерата, является контейнером для иерархического размещения любых объектов и предоставляет доступ к свойствам и интеракциям. Элемент “переменные” представляет описание интерфейса RTI и содержит список публикуемых и запрашиваемых атрибутов. Элемент “3D объект” представляет собой ссылку на данные геометрического описания объекта, предоставляет набор свойств, влияющие на отображение и поведение объекта. Элемент “источник звука” представляет собой ссылку на звуковые данные, предоставляет свойства, определяющие расположения звука в пространстве и другие параметры. Элемент “3D текст” представляет собой данные о значении текстового поля, шрифте, размере знаков, цвете, прозрачности и т.д. Элемент “прикрепленные файлы” представляет собой контейнер для размещения любых дополнительных файлов и включения их в проект КИТ. Элемент “модуль перевода” представляет собой инструмент для автоматизации перевода создаваемого КИТ на различные языки.

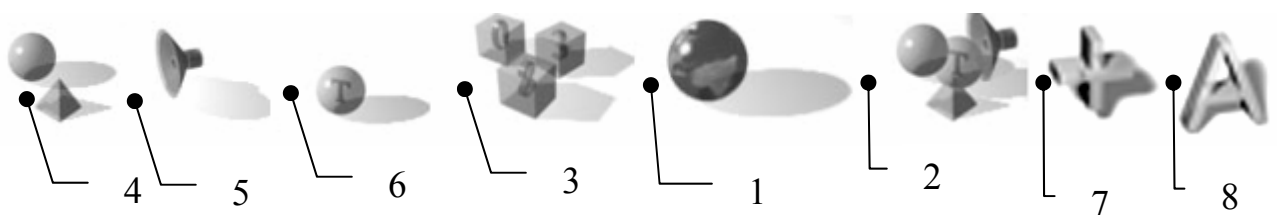


Рисунок 3.5. Элементы окна редактирования

Каждый элемент имеет атрибуты. Значения атрибутов (свойств) элемента отображаются в окне атрибутов. Для просмотра или модификации атрибутов элемента необходимо выбрать пункт ”редактировать” из контекстного меню объекта или выполнить двойное нажатие клавиши манипулятора на объекте.

Все атрибуты разбиты на группы. В целях удобства восприятия, пользователь может работать только с нужными в данный момент группами атрибутов. Интуитивно-понятный интерфейс и контекстно-зависимая справочная система способствуют быстрому определению атрибутов.

Атрибуты федерации (рисунок 3.6) включают в себя поле названия тренажера, поле авторского состава и поле комментария. Эти сведения используются при последующем экспорте тренажера. Свойство стартовая позиция персонажа, определяет координаты персонажа при старте тренажера. Свойства направление взгляда определяет направление взгляда персонажа при старте тренажера.

Свойства	Значения
[-] Свойства проекта	
Название	Сопротивление материалов - Копр.
Авторы	Сызранцев В.Н.; Гаммер М.Д.; Черезов К.М.
Комментарий	демонстрация возможностей конструктора 'blay'
Код работы	
[-] Рабочий каталог	
Рабочий каталог	D:/LABs/coord
[Указать]	...
[-] Стартовая позиция персонажа	
X	0
Y	0
Z	10
[-] Направление взгляда	
по горизонтали	0
по вертикали	160

Рисунок 3.6. Окно редактирования атрибутов федерации

Атрибуты 3D объекта (рисунок 3.7) включают в себя поле имени объекта, поле имени файла с данными 3D, поле ввода альтернативных координат центра объекта и флаг 2D проекции. Имя объекта позволяет в дальнейшем производить какие-либо манипуляции, например, поворот. Поле имени файла содержит ссылку на подключаемый файл с данными 3D. Альтернативный центр объекта используется для указания нового начального месторасположения объекта в пространстве. Флаг 2D-проекции служит для указания необходимости проецирования объекта на экранную плоскость, например, меню. При использовании эффекта микрорельефа необходимо включить соответствующий флаг и указать карту нормалей. Вкладка "физика"

предназначена для включения модели в процедуру автоматического расчета физики гравитации и столкновений. При активации флага “Proxy” объект не связывается с реальным 3D файлом и ссылается на данные из другого 3D объекта.

Свойства	Значения
[-] Свойства 3D объектов	
Название	main
Proxy	☐
Имя файла	oso/lab1.oso
[Указать]	...
[+] Координаты центра	
[+] Проекция на экран	
[+] Шайдеры	
[-] Физика	
Включить физику?	☐
Метод аппроксимации	Сетка
Радиус	0
Масса	0
Неподвижно	☒

Рисунок 3.7. Окно редактирования атрибутов 3D объекта

Окно свойств источника 3D звука (рисунок 3.8) включает поле названия объекта, поле имени файла со звуковыми данными, координаты излучателя в пространстве, флаг повтора и флаг "Headrelative". Имя объекта позволяет в дальнейшем производить какие-либо манипуляции, например останов звука. Поле имени файла содержит ссылку на подключаемый файл со звуковыми данными. Флаг "повторять" служит для указания режима прослушивания звука. Флаг "Headrelative" используется для представления проигрываемого звука вокруг головы слушателя (эффект близкого источника).

Свойства	Значения
[-] Свойства источника звука	
Название	Click
Имя файла	wav/Click1.wav
[Указать]	...
Цикл	☐
Head-relative режим	☒
[-] Координаты источника	
X	0
Y	0
Z	0

Рисунок 3.8. Окно редактирования атрибутов источника звука

Окно свойств 3D текста (рисунок 3.9) включает поле названия объекта, поле текстового значения, поле цвета текста, поле прозрачности текста, поле шрифта и поле размера символов. Имя объекта позволяет в дальнейшем производить какие-либо манипуляции, например, перенос. Поле текстового значения содержит непосредственно выводимый текст. Поля цвет, прозрачность, шрифт и размер отвечают за отображение текста. Флаг "проекция на экран" позволяет проецировать объект как "меню".

Свойства	Значения
[-] Свойства текстовых объектов	
Название	out
Видимый текст	Возьмите образец со стола
Цвет	[Указать]
Альфа (прозрачность 0..255)	255
Шрифт	Fonts/arial.ttf
	[Select]
Размер букв	60
Проекция на экран (MENU_)	☒

Рисунок 3.9. Окно редактирования атрибутов 3D текста

Окно свойств переменных тренажера (рисунок 3.10) включает в себя список созданных переменных. Каждая переменная характеризуется именем, значением, размерностью и режимом сетевой синхронизации. Для создания или удаления переменной используется контекстное меню. Флаг "сетевая" предназначен для отметки выбранной переменной как сетевой, что означает автоматическую синхронизацию ее значения со всеми работающими тренажерами посредством сетевого взаимодействия (RTI).

	Название	Значения	Едн измерения	Сетевая
1	l	1.3		☐
2	Stoika_angle	0		☐
3	Chelk	false	bool	☐
4	Strelka2_angle	0	grad	☐
5	g	9.8		☐

Рисунок 3.10. Окно редактирования переменных тренажера

Окно прикрепленных файлов (рисунок 3.11) включает в себя список файлов, дополнительно необходимых для работы тренажера. Например, дополнительные текстуры, шрифты, подпрограммы и т.д. Для добавления в список или удаления из него файла используется контекстное меню.

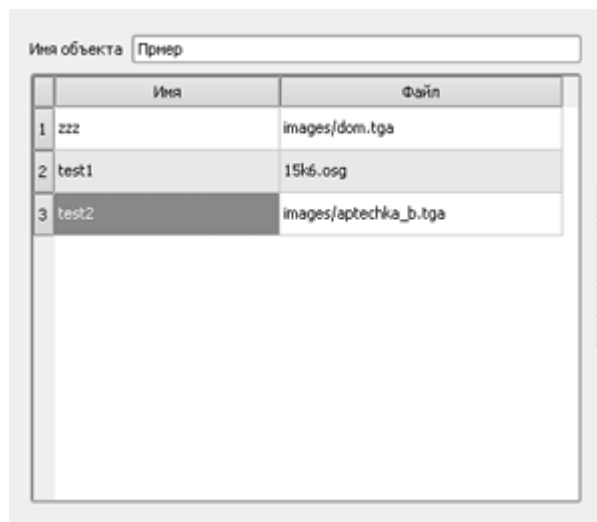


Рисунок 3.11. Окно редактирования прикрепленных файлов

Окно свойств модуля перевода (рисунок 3.12) включает в себя список выражений и их перевод на другие языки. Для добавления в список или удаления из него файла используется контекстное меню. Автоматическое построение таблицы перевода возможно только после предварительного просмотра проекта КИТ. Данное действие выполняется при помощи команды контекстного меню - Обновить.

	0 (рус)	1 (англ)	2 (нем)
1	a	b	c
2	d	e	f
3	Пример 1	m	?
4	Пример 2	?	?

Рисунок 3.12. Окно модуля перевода

Элементы являющиеся федератами, кроме атрибутов, имеют интеракции. Интеракции отображаются на окнах создания и редактирования интеракций. Окно создания интеракций предназначено для выбора обрабатываемых интеракций, т.е. определения внешних и внутренних событий, представляющих интерес для данного федерата.

Интеракции федерации (рисунок 3.13.) включают в себя срабатывание таймера (Таймер), инициализацию (Инициализация) и событие сетевого взаимодействия с RTI (Сеть). Событие таймера является внутренним событием, генерируемым на каждую смену кадра (типично 60-120 раз в секунду). В обработчике этого события (см. далее) обычно производится сцены изменение сцены в зависимости от прошедшего времени (анимация) - поворот и перемещение объектов, изменение значений приборов и т.д. Событие инициализации является самым первым событием при запуске тренажера. Здесь уточняются начальные значения свойств объектов. Событие "Сеть" является внутренним и генерируется асинхронно (1-5000 раз в секунду). Генерация события происходит только в том случае, если происходит работа механизма распределенной имитации – IEEE 1516 (RTI). В обработчике интеракции происходит расчет имитационной модели и автоматическая синхронизация значений переменных (атрибутов) с другими работающими тренажерами.

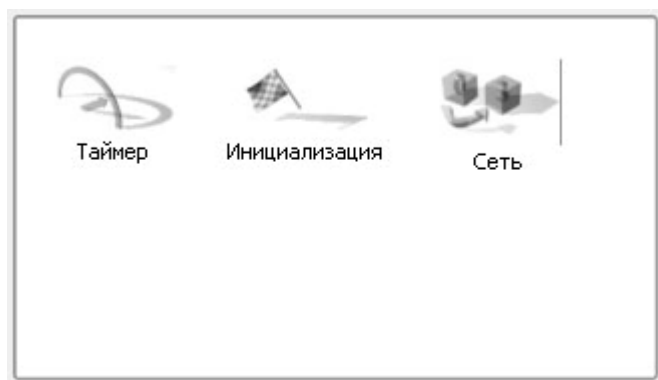


Рисунок 3.13. Окно интеракций федерации

Интеракции федерата (рисунок 3.14.) включают в себя в себя события нажатия на объект, отпуская объекта, перемещения объекта, передвижения по объекту и событие нахождения объекта в поле видимости. Событие

"нажатие" генерируется при нажатии пользователем на данный объект. Событие "перемещение" генерируется при попытке перемещения пользователем данного объекта. Событие "отпускание" генерируется при прекращении процесса нажатия или перемещения. Событие "шаг" генерируется в том случае, если пользователь стоит на этом объекте или двигается по нему, используется для слежения за перемещением персонажа в нужных зонах, например, проверки близкого расположения к чему-либо. Событие "видимость" генерируется в том случае, когда объект находится в поле видимости пользователя - используется для проверки, виден данный объект или нет. Событие "Действие" происходит при нажатии клавиши активировать/выбрать/использовать (средняя кнопка мыши, клавиши F2 или E) на объекте. Событие инициализации является самым первым событием при запуске тренажера. Здесь уточняются начальные значения свойств объектов федерата.

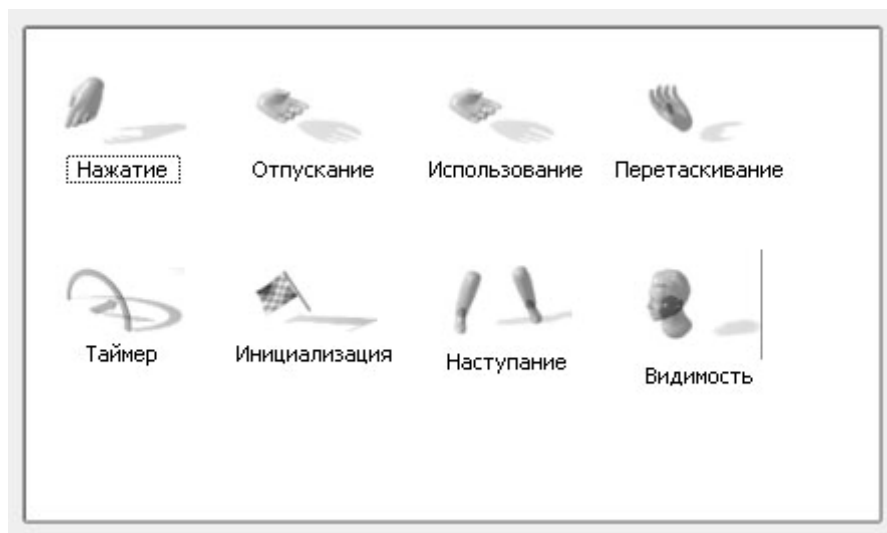
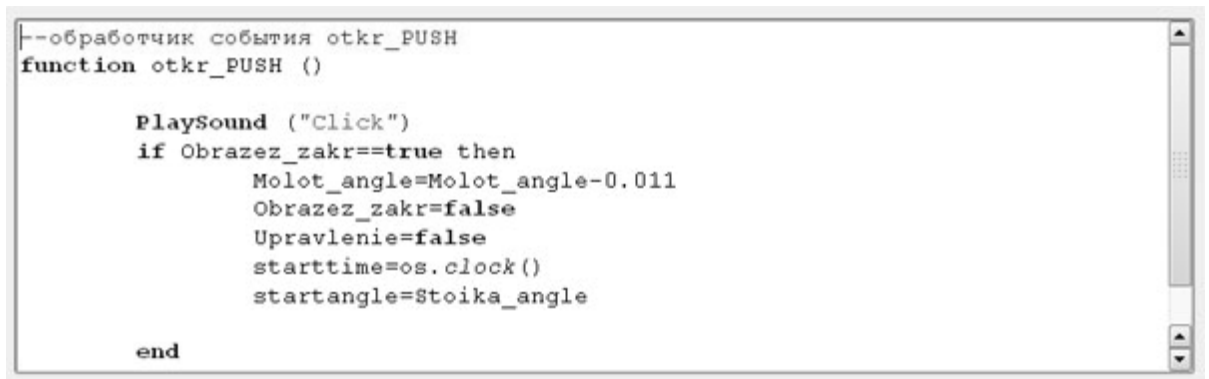


Рисунок 3.14. Окно интеракций федерата

При первом вызове любого обработчика интеракций САПР КИТ предлагает автоматическую вставку шаблона обработчиков события. В результате происходит заполнение окна обработчика интеракций заголовком функции, обрабатывающей данное событие, передаваемыми параметрами и необходимыми комментариями.

Окно обработки интеракций предназначено для написания кода на специализированном управляющем языке, выполняемого при генерации соответствующей интеракции (рисунок 3.15). Дополнительная функциональность окна обработки интеракций доступна через контекстное меню.



```
--обработчик события otkr_PUSH
function otkr_PUSH ()

    PlaySound ("Click")
    if Obrazez_zakr==true then
        Molot_angle=Molot_angle-0.011
        Obrazez_zakr=false
        Upravlenie=false
        starttime=os.clock()
        startangle=Stoika_angle

    end
```

Рисунок 3.15. Окно обработки интеракций

Как и при модификации атрибутов элементов, пользователь САПР может использовать контекстно-зависимую справочную систему. Кроме этого, в контекстном меню присутствует вызов диалогового окна вставки функций (рисунок 3.16). Диалоговое окно включает в себя список функций, область вывода названия функции, область вывода назначения функции, область вывода синтаксиса функции и область вывода примера использования. При выборе функции из списка и двойном нажатии клавишей манипулятора, выбранная функция автоматически добавляется в окно редактора кода.

При проектировании КИТ достаточно часто возникает необходимость использовать иные способы представления информации. Для этого в составе визуальной среды разработки САПР КИТ присутствуют альтернативные режимы проектирования. Наибольший интерес представляет режим просмотра и модификации федерации с точки зрения 3D объектов (рисунок 3.17). В этом режиме пользователь САПР КИТ может передвигаться по трехмерному пространству сцены, читать информацию, относительно названий, размеров, координат, ориентации, цвета объектов и т.д. Также данный режим позволяет просматривать и модифицировать иерархию 3D сцены, что необходимо при

создании сложных анимационных последовательностей. Переключение между режимами осуществляется через контекстное меню.

Название	Назначение	Параметры	Пример
Функции для работы с 3D объектами			
SetPosition	Функция предназначена переноса объекта в пространстве	Name [строка], x [число], y [число], z [число], где Name - название объекта, x, y, z - новые координаты.	SetPosition("Koleso", 10, 0, 5)
SetCenterPosition	this function is pivot point position of object	Name [строка], x [число], y [число], z [число], где Name - название объекта, x, y, z - новые координаты.	SetCenterPosition("Koleso", 10, 0, 5)
ChangeTexture	this function is change texture of object	[name] - name of object [filename] - new image file	ChangeTexture("stalan", "images/zad.png")
SetShader	this function is connect shader microprogram of object	[name] - name of object [texturefilename] - file image	SetShader("stalan", "BUMP", "images/metal.png") SetShader("stalan", "SKY", "images/sky.png")
SetRotate	Функция предназначена для простого вращения.	Name [строка], angle [число], x [число], y [число], z [число], где Name - название объекта, angle - угол поворота в радианах, x, y, z - флаги поворота по соответствующим осям.	SetRotate("Kran", 3.14, 0, 1, 0)
SetRotate2	Функция предназначена для сложного вращения.	Name [строка], angle1 [число], x1 [число], y1 [число], z1 [число], angle2 [число], x2 [число], y2 [число], z2 [число], angle3 [число], x3 [число], y3 [число], z3 [число], где Name - название объекта, angle* - углы поворота в радианах, x, y, z - флаги поворота по соответствующим осям.	SetRotate2("Kran", 3.14, 0, 1, 0, 3.14, 1, 0, 0, 0, 0, 0)
SetVisible	Функция предназначена для задания видимости объекта.	Name [строка], value [логич], где Name - название объекта, value - true/false (видим/нет).	SetVisible("Kran", false)
SetScale	Функция предназначена для задания масштаба размеров объекта.	Name [строка], dx [число], dy [число], dz [число], где Name - название объекта, dx, dy, dz - масштаб по соответствующим осям.	SetScale("Kran", 1, 1, 0.5)
Функции для работы с источниками звука			
PlaySound	Функция предназначена для начала воспроизведения звука.	Name [строка], где Name - название объекта.	PlaySound("Voice1")
PauseSound	Функция предназначена для остановки воспроизведения звука.	Name [строка], где Name - название объекта.	PauseSound("Voice1")
LoopSound	Функция предназначена для задания режима повторения звука (зацикливания).	Name [строка], flag [логич], где Name - название объекта, flag - повторять звук или нет (true/false).	LoopSound("Voice1", true)
Функции для работы с 3D текстом			
SetTextPosition	аналогично функциям для работы с 3D объектами	аналогично функциям для работы с 3D объектами	аналогично функциям для работы с 3D объектами
SetTextVisible	аналогично функциям для работы с 3D объектами	аналогично функциям для работы с 3D объектами	аналогично функциям для работы с 3D объектами
SetTextScale	аналогично функциям для работы с 3D объектами	аналогично функциям для работы с 3D объектами	аналогично функциям для работы с 3D объектами

Рисунок 3.16. Диалоговое окно функций

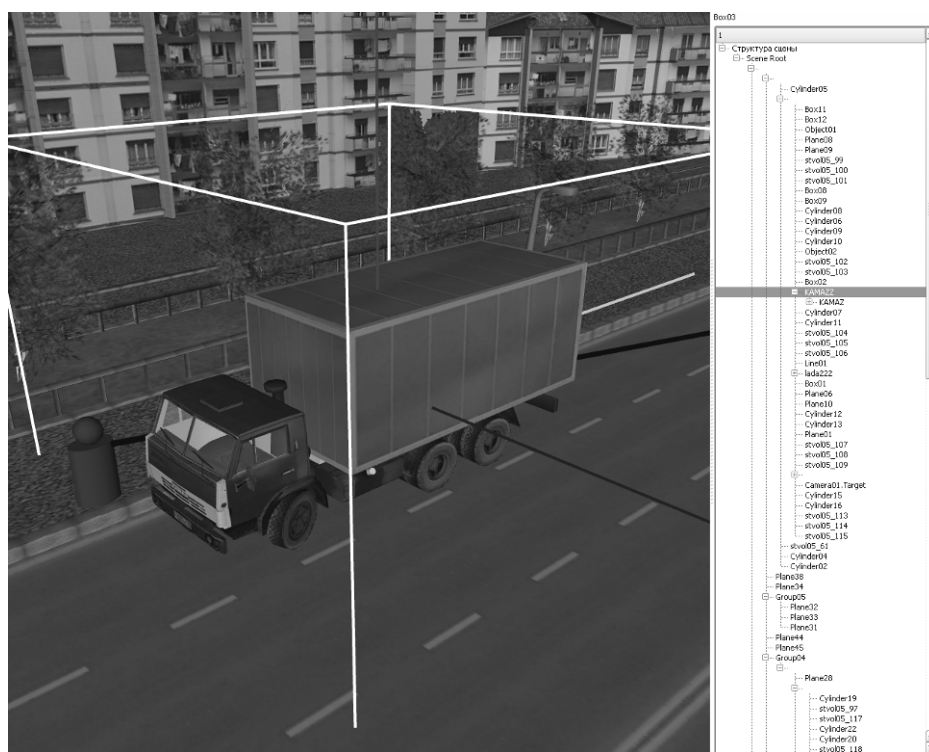


Рисунок 3.17. Федерация с точки зрения 3D объектов

Таким образом, сочетание различных режимов проектирования, развитая справочная система, возможность индивидуализации интерфейса и выделения интересующей информации обеспечивает простоту и скорость проектирования КИТ.

3.2. Средства просмотра и отладки

Для перехода в режим просмотра и отладки проекта необходимо выполнить нажатие на клавишу ”просмотр проекта” главного меню среды разработки. В появившемся окне (рисунок 3.18) можно наблюдать процесс подготовки КИТ к запуску. Во время загрузки отображается найденное оборудование системы формирования виртуальной реальности, сообщения о удачной инициализации видео, аудио систем и системы ввода-вывода. После загрузки всех данных и отсутствии синтаксических ошибок в коде обработчиков интеракций происходит переключение в полноэкранный режим и отображение экрана КИТ (рисунок 3.19).

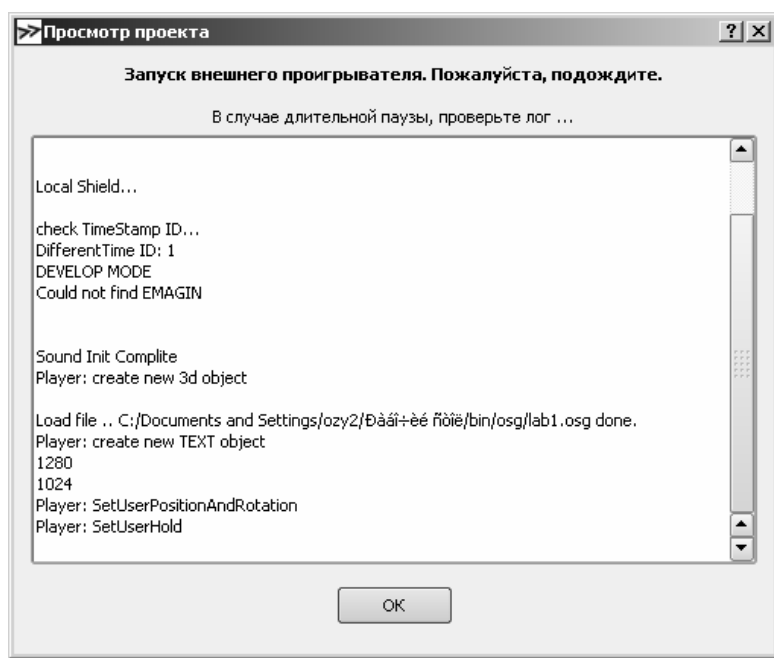


Рисунок 3.18. Окно просмотра и отладки

При использовании стандартных устройств ввода-вывода управление действиями пользователя в компьютерном имитационном тренажере происходит путем использования манипулятора “мышь” и клавиатуры (таблица 3.1).

Таким образом, пользователь может интуитивно выполнять практически все возникающие в процессе имитации действия. Следует отметить, что манипулятор “мышь” имеет две степени свободы, что значительно затрудняет “естественное” управление объектами, имеющими 3 и более степени свободы.

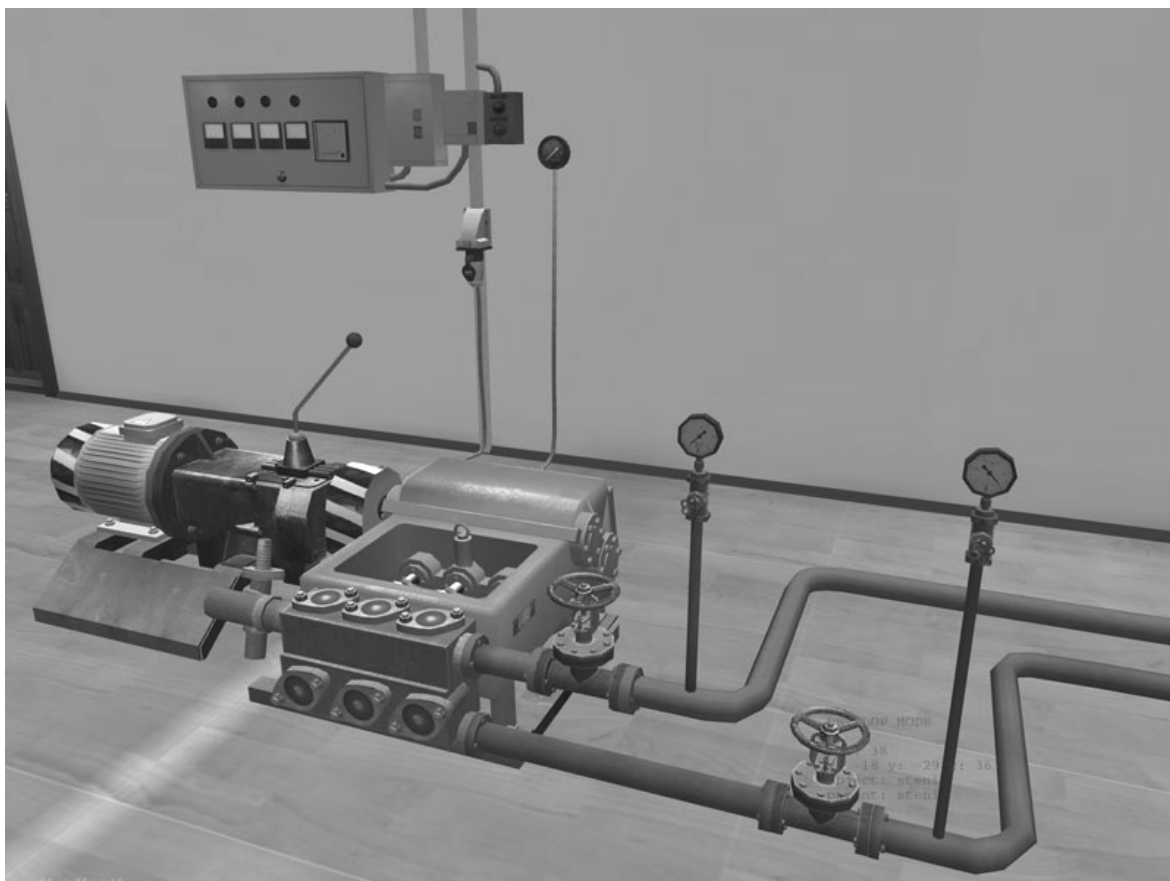


Рисунок 3.19. Экран компьютерного имитационного тренажера в режиме просмотра

Таблица 3. 1. Функции стандартных устройств ввода

Выполняемое действие	Клавиша
Перемещение вперед	W
Перемещение назад	S
Перемещение влево	A
Перемещение вправо	D
Повороты головы	Перемещение манипулятора
Нажатие на объект, перемещение объекта	Левая клавиша манипулятора
Взять объект, положить объект, выполнить действие с объектом	Средняя клавиша манипулятора
Переключение между режимами управления/просмотра (В режиме просмотра перемещение манипулятора управляет направлением взгляда пользователя, в режиме управления – курсором)	Правая клавиша манипулятора
аналог средней клавиши манипулятора “мышь”	F2, E
выход из программы	F10

При использовании устройств формирования виртуальной реальности управление действиями пользователя в КИТ происходит максимально естественно, т.е. повороты головы выполняются с помощью поворотов головы - отсутствует необходимость переключения между режимами просмотра и управления и т.д.

Другая функция модуля просмотра и отладки заключается в возможности показа отладочной информации и определения места возникновения синтаксической ошибки (а также ее типа). Отладочная информация может быть получена 3 способами – на экране КИТ, в стандартном потоке вывода процесса или в файле. Каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки. Отображение отладочной информации прямо на экране КИТ позволяет мгновенно отлавливать происходящие изменения, но не позволяет фиксировать данные для дальнейшего анализа. Запись информации в файл используется для очень большого количества данных. Промежуточным вариантом является запись в стандартный поток вывода процесса, перехватываемый окном просмотра и отладки при выходе из компьютерного имитационного тренажера или возникновении в нем критической ошибки.

3.3. Средства экспорта созданного КИТ

Финальной стадией проектирования КИТ является экспорт проекта для дальнейшего автономного использования компьютерного имитационного тренажера как электронного образовательного ресурса, представленного в формате SCORM. Процедура экспорта является достаточно простой с точки зрения пользователя САПР КИТ. Для этого необходимо выполнить нажатие на клавишу “Экспорт” главного меню визуальной среды проектирования. В появившемся диалоговом окне (рисунок 3.20) необходимо указать месторасположение выходного файла, при нажатии на клавишу “экспорт” модуль экспорта автоматически подготовит необходимые данные и выполнит процедуру компрессии данных в файл ZIP. После этого созданный КИТ можно

использовать в любой системе предоставления электронного образовательного контента.

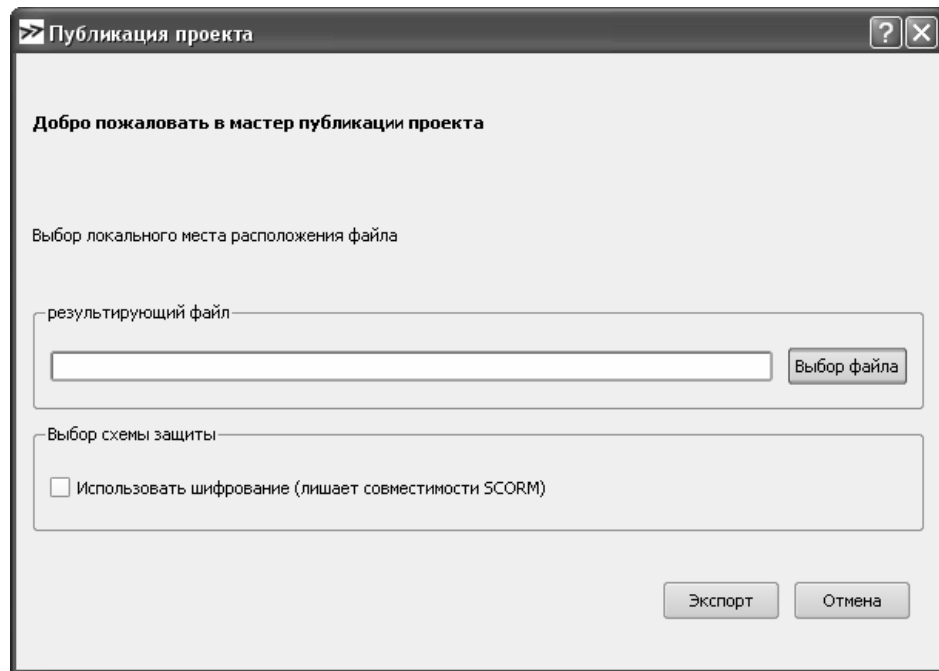


Рисунок 3.20. Диалоговое окно экспорта проекта в формат SCORM

Таким образом САПР КИТ обеспечивает все стадии проектирования компьютерных имитационных тренажеров – импорт входных данных, создание иерархической структуры федерации, определение атрибутов, определение соответствующих имитационных моделей, предварительный просмотр, отладка КИТ и экспорт КИТ в автономный электронный образовательный ресурс.

4. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КИТ С ПОМОЩЬЮ РАЗРАБОТАННОЙ САПР

4.1. Основные принципы работы и потенциальные возможности системы при проектировании КИТ

В практике проектирования компьютерных имитационных тренажеров, на основании опыта использования рассматриваемой системы Научно-исследовательским институтом электронных образовательных ресурсов Тюменского государственного нефтегазового института (НИИ ЭОР ТюмГНГУ) наиболее распространенными являются задачи имитации работы оборудования и происходящих при этом процессов (тренажеры) или проведение виртуального эксперимента. Последовательность решения данного класса задач при помощи САПР КИТ будет показана на примере создания тренажера для проведения испытаний компрессора 4ВУ1-5/9.

Задачей испытания компрессорной установки является проверка параметров, режимов работы, технического состояния, определение путей повышения подачи, экономичности и безопасности работы компрессора и вспомогательного оборудования. Согласно требованиям ГОСТ [14,40] в процессе проведения испытания компрессора 4ВУ1-5/9, необходимо определить следующие параметры: температура и давление после каждой ступени сжатия и каждого промежуточного холодильников; температура и давление в воздухохранике (ресивере); действительная производительность компрессора по условиям всасывания; температура масла в картере; расход масла на смазку цилиндров компрессора; частота вращения вала компрессора; мощность на валу компрессора и т.д. Так как работа компрессора зависит от множества факторов, входными данными могут служить: барометрическое давление всасываемого атмосферного воздуха; температура всасываемого атмосферного воздуха; относительная влажность всасываемого атмосферного воздуха; напряжение, подаваемое на двигатель; коэффициенты, имитирующие возможные

неисправности и т.д. Кроме того, необходимо учитывать требования относительно безопасности [13].

После определения необходимого имитируемого оборудования, входных и выходных данных, необходимо установить какие из необходимых объектов уже имеются в информационной базе САПР КИТ, а какие необходимо создавать. В рассматриваемом случае, геометрическое описание подходящего помещения, электродвигатель, ресивер, манометры и краны были обнаружены. Компрессор и щит управления были созданы в программе 3D Studio MAX (рисунок 4.1) и экспортированы в формат OSG. Все необходимые образцы звуков (истечение воздуха, нажатие на кнопки и т.д.) также были найдены в информационной базе. Созданное геометрическое описание было помещено в централизованную информационную базу для возможности повторного использования.

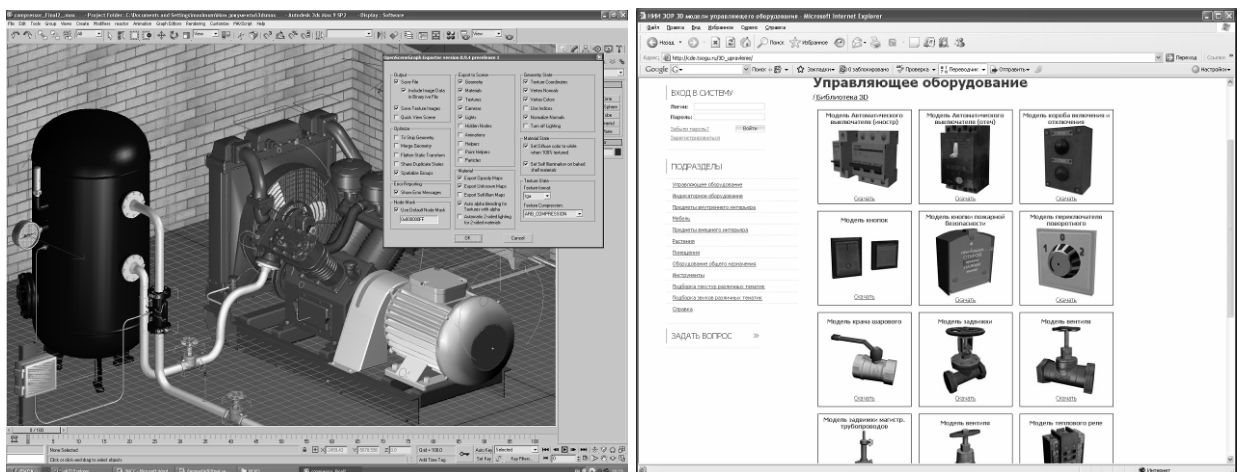


Рисунок 4.1. Моделирование геометрии компрессора в программе 3D Studio MAX и используемая информационная база.

После определения необходимого имитируемого оборудования [77,87,85], входных и выходных данных, проектировщик должен построить модель федерации HLA, т.е. определить федерации, федераты, объекты, входящие в состав федератов, атрибуты объектов и интеракции. Указанные действия были рассмотрены в главе №3. В данном случае, федерацией является виртуальный тренажер 4ВУ1-5/9, в состав которого входят 3 федерата: производственный участок; контрольно измерительный участок; обучаемый на виртуальном

тренажере. Федераты включают объекты, которые взаимодействуют между собой в федерации с помощью механизма распределенной имитации RTI. Объектами производственного участка являются: компрессор; воздухосборник (ресивер); расходомер; вентиль для поступления газа в ресивер; вентиль для спуска газа из ресивера.

Атрибутами компрессора являются: рабочая температура масла в картере (Temp); обороты вала (N); относительный объем мертвого пространства (V_{cp}); процент охлаждения воздуха в теплообменнике (n_{cold}); показатель процесса расширения в мертвом пространстве (z); механический КПД компрессора (n_{meh}); передаточное число вентилятора (z_{vent}); КПД передачи (n_{drive}); мощность вентилятора ($Power_{fan}$); коэффициент перепуска 1-ой и 2-ой ступени ($a1, a2$); состояние предохранительных клапанов ступеней ($lock1, lock2$); диаметры поршня 1-ой и 2-ой ступени ($D1, D2$); длина хода поршня 1-ой и 2-ой ступени ($S1, S2$); давление на входе в компрессор ($P11$); давление на выходе из 1-ой ступени ($P12$); температура на входе в 1-ую ступень ($T11$); учёт потерь, необходимых для создания всасывания ($n1_{in}$); давление на входе с 1-ой ступени ($P21$); давление на выходе из 2-ой ступени ($P22$); минимальное давление открытия перепускного клапана ($Clapan_{perepusk}$). Аналогично определяются атрибуты других объектов.

После создания атрибутов, проектировщик КИТ определяет необходимые обновляемые и отображаемые атрибуты и интеракции. Например, федерат - компрессор обновляет данные на RTI, которые затем отображаются на федерате контрольно-измерительного участка, это - температура на первой и второй ступени; давление на первой и второй ступени; обороты электродвигателя, температура масла в картере и т.д. В качестве примера интеракций могут служить – нажатие пользователем КИТ на клавиши щита управления компрессором, управление кранами и т.д. На рисунке 4.2. показано, каким образом происходит взаимодействие и какие данные отображены на RTI. Вид САПР КИТ на этапе проектирования структуры федерации на рисунке 4.3.

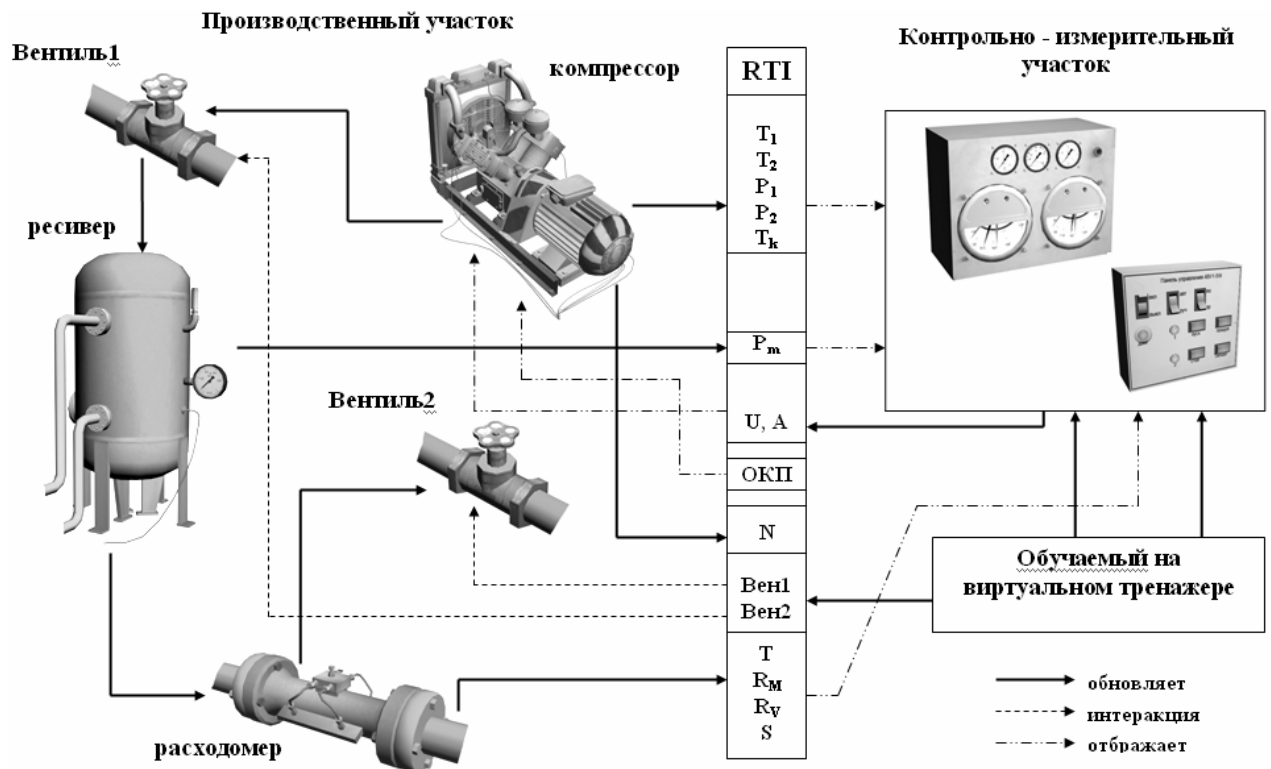


Рисунок 4.2. Федерация КИТ 4ВУ1-5/9

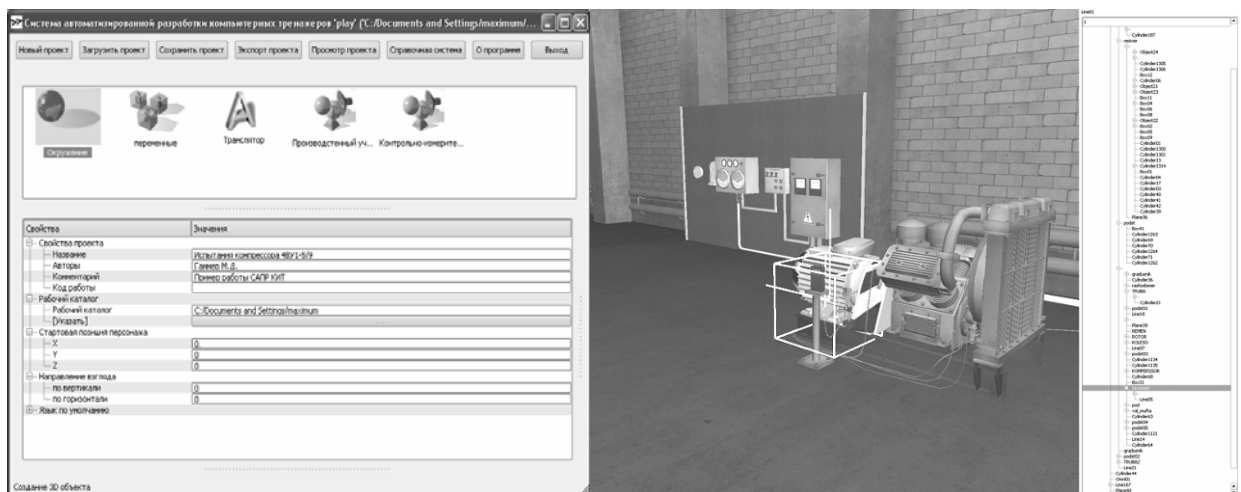


Рисунок 4.3. Среда визуального проектирования на этапе определения структуры федерации

Следующим, наиболее сложным этапом проектирования КИТ, является создание математической модели федератов и федерации в целом. Существует 2 варианта создания математической модели – сразу на управляющем специализированном языке САПР КИТ (подходит для относительно простых моделей) или в математическом пакете с последующим переводом. Поскольку

проектируемый тренажер предполагает использование достаточно сложной математической модели, ее создание выполнено в программе MathCad. Созданная имитационная модель, использующая методики, описанные в [25,57]. Перенос созданной математической модели на специализированный язык не является трудной задачей, т.к. математический аппарат языка, используемого в информационном обеспечении имеет достаточно полный набор математических функций и программ. В рассматриваемом случае, математическая модель компьютерного имитационного тренажера была создана в программе MathCAD, а затем перенесена на специализированный язык.

После запуска созданного тренажера проверяется правильность имитации (отладочные данные отображаются на экране, рисунок 4.7.). При устранении всех обнаруженных при помощи модуля просмотра и отладки ошибок созданный КИТ экспортируется в формат SCORM и передается “заказчику” для дальнейшего использования.

Данный виртуальный тренажер позволяет в полном объеме проводить контрольные испытания компрессоров. В процессе работы с программой студент имеет возможность изучать схему стенда, процедуру управления компрессором, режимы регулирования, проверку системы предохранительных клапанов и т.д. Особенностью созданного виртуального тренажера является возможность проводить испытания при различных состояниях атмосферного воздуха (влажность, температура, давление), что позволяет оценивать влияние состояния атмосферного воздуха на производительность, потребляемую мощность и т.д. Кроме того, обучаемый имеет возможность проводить контрольные испытания компрессора в экстремальных и аварийных режимах работы. Указанные возможности тренажера позволяют использовать его в лабораторном практикуме по дисциплинам “Гидромашины и компрессоры”, “Нефтегазопромысловое оборудование”, “Скважинная добыча”, дополняя традиционные способы проведения лабораторных работ. Использование программы в качестве дополнения позволит повысить качество обучения студентов. Для более подробной проверки возможности использования САПР

КИТ в решении других задач, дополнительно был создан ряд КИТ, имитирующих сборку оборудования, монтаж, настройку и т.д (рисунок 4.4 - 4.6).

Для проверки возможности использования созданного КИТ в системах предоставления электронного образовательного контента была выбрана система Moodle [71], поддерживающая стандарт SCORM и используемая в учебном процессе Тюменского государственного нефтегазового университета, а также другими Российскими и зарубежными ВУЗами.. На рисунке 4.9. показан запуск КИТ из системы Moodle и результат запуска. Успешный запуск SCORM файла КИТ из системы Moodle свидетельствует о корректной работе модуля просмотра в автономном режиме.

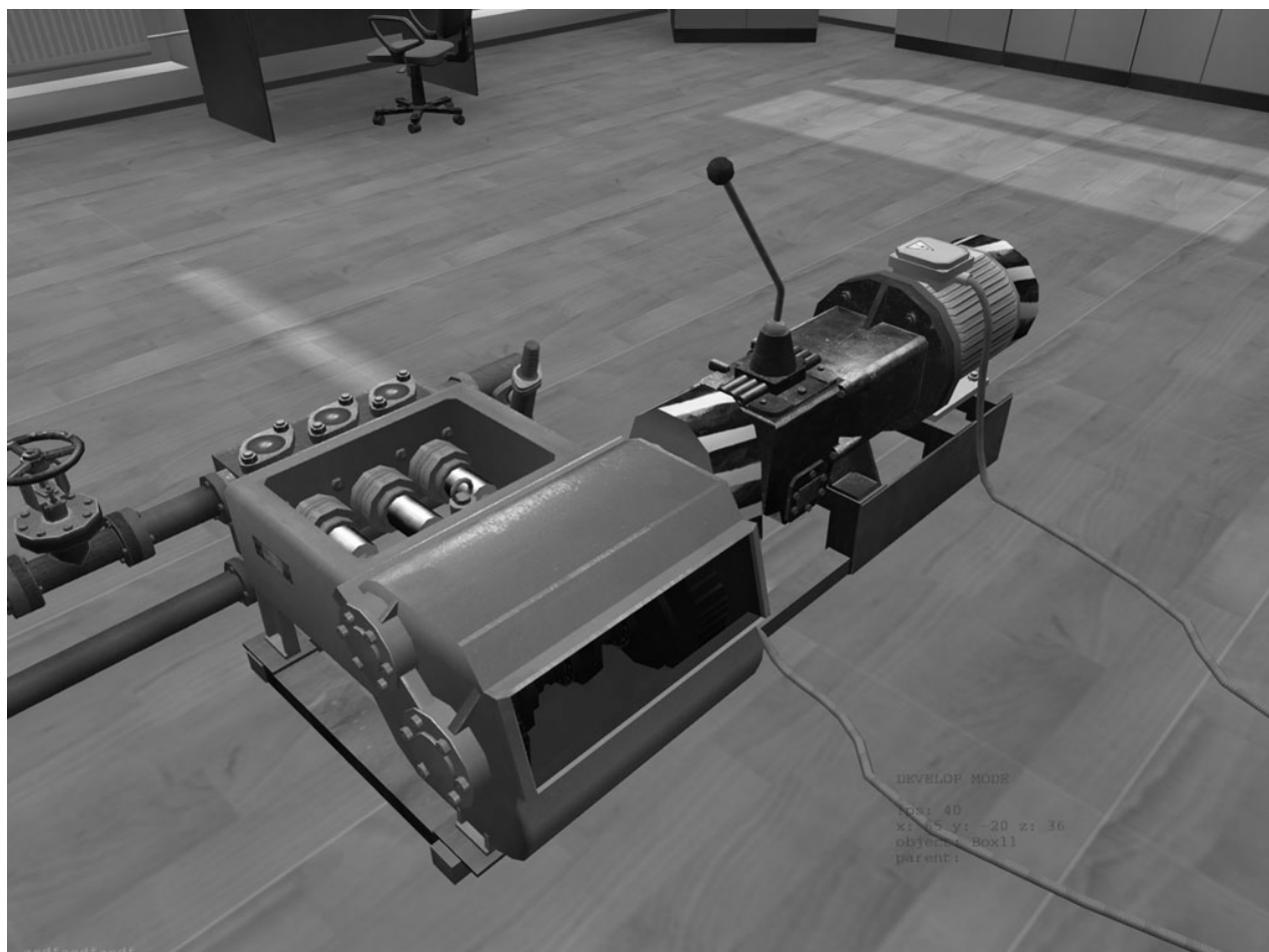


Рисунок 4.4. Рабочий экран КИТ “Испытания поршневого насоса НБ3-120/40”



Рисунок 4.5. Рабочий экран КИТ “Динамическая балансировка роторов центробежных насосов”



Рисунок 4.6. Совместная работа обучаемых при работе с КИТ

Возможность работы созданных с помощью САПР компьютерных имитационных тренажеров в составе систем формирования виртуальной реальности были использованы следующие аппаратные устройства (рисунок 4.8.):

- Шлем виртуальной реальности Z800 производства eMagin, шаттр-шлем “Панорама”.
- Система захвата движения NaturalPoint OptiTrack.
- Датчик положения головы, встроенный в Z800.
- Датчик положения кисти, передающий координаты и ориентацию кисти в пространстве.
- Перчатки 5DT Data Glove для определения положения пальцев.
- Пассивная стереоскопическая проекция с использованием 2 DLP-проекторов с поляризационными фильтрами.

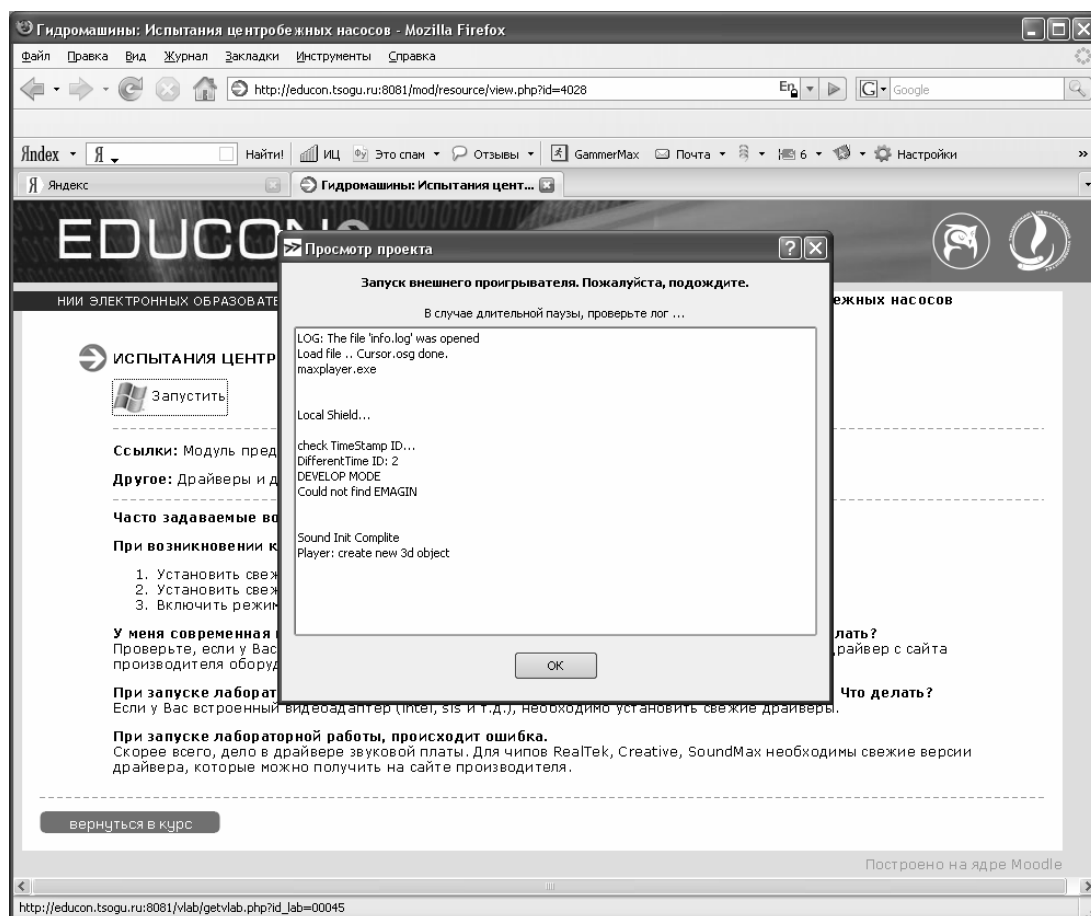


Рисунок 4.9. Запуск КИТ из системы Moodle

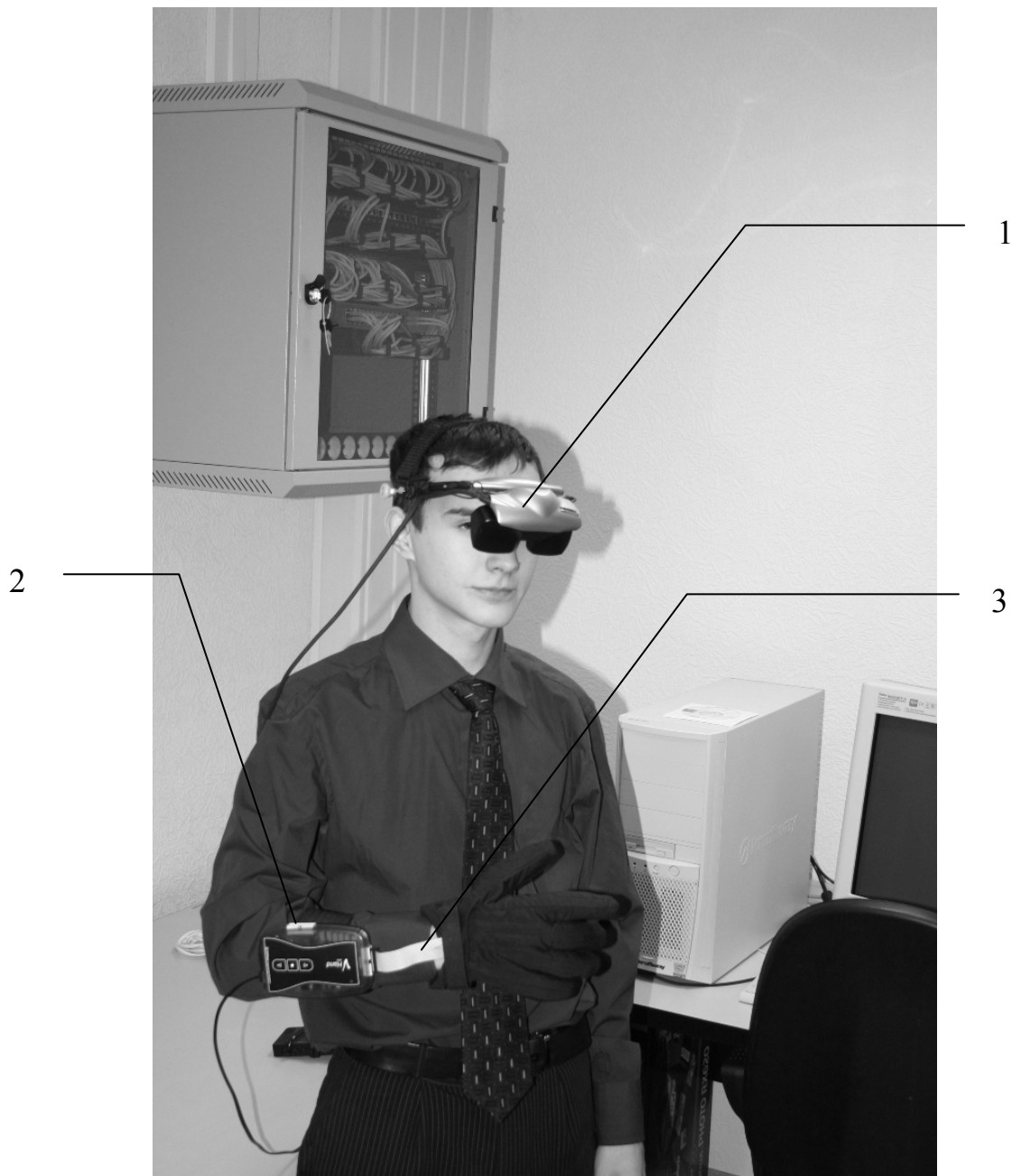


Рисунок 4.10. Использование устройств формирования виртуальной реальности (1- Z800; 2 - 5DT Data Glove; 3-Датчик положения кисти).

В результате установлено, что использование рассматриваемого оборудования существенно улучшает эффективность КИТ, но увеличивает требования к скорости центрального процессора и графической системе персонального компьютера.

4.2. Факторы, определяющие эффективность КИТ

Большинство исследований связывает эффективность электронных образовательных ресурсов (ЭОР) с тем, сколько запоминает обучаемый (это можно легко измерить). Хотя отмечаются и другие факторы, такие как формирование и совершенствование профессиональных навыков и умений, развитие творческих способностей, профессиональной интуиции и т.д., единое мнение об оценке этих факторов отсутствует. В вопросе эффективности восприятия и запоминания информации, наблюдается большая схожесть взглядов. Так, например, по мнению Haskett consulting inc. (HCI): "Люди запоминают 20 % того, что они видят, 40 % того, что они видят и слышат и 70 % того, что они видят, слышат и делают". Как видно из приведенных данных, компьютерные тренажеры имеют достаточно высокую эффективность среди ЭОР в плане запоминания информации, а также, имеют некоторые дополнительные возможности.

Существует большое количество рекомендаций, касающихся увеличения эффективности электронных образовательных ресурсов. Однако большая их часть не может быть применена к имитационным компьютерным тренажерам, так как не учитывает специфику тренажеров. На основе собственного опыта проектирования и использования виртуальных лабораторных работ и тренажеров [8,9,34,35,36,79,33], были найдены и сформулированы основные факторы, влияющие на эффективность имитационных тренажеров:

- высокий уровень соответствия (подобия) синтезируемого изображения оригиналу;
- высокий уровень соответствия синтезируемого звукового окружения;
- адекватная математическая модель оборудования и процессов;
- возможность синтеза изображения, просчета математической модели и взаимодействия с пользователем, как в "реальном времени", так и с изменением масштаба времени;
- возможность многопользовательского доступа;

- соответствие имитируемой модели оборудования и выполняемых операций требованиям ГОСТ, и другим нормативным документам.

Высокий уровень соответствия (подобия) синтезируемого изображения оригиналу. Данный фактор является определяющим при оценке эффективности тренажера. Синтезируемое изображение какого-либо объекта или детали должно быть узнаваемо. Несоблюдение этого требования может привести к потере времени пользователя, в попытках понять, что он видит. При оценке степени соответствия синтезируемого изображения оригиналу целесообразно использовать, как в кинематографии и телевидении, три уровня подобия: физическое, психофизическое (физиологическое) и психологическое.

В применении к машинной графике физическое подобие означает, что синтезированное изображение по основным физическим характеристикам повторяет оригинал. Физическое подобие устанавливается на уровне трех групп характеристик: геометрических (пространственных), яркостных (энергетических) и временных. При физически точном подобиі определенные характеристики синтезированного изображения должны полностью соответствовать характеристикам оригинала либо быть пропорциональными им. Стоит отметить, что условия физического подобия не могут быть реализованы в полной мере, если синтезируется двухмерное изображение (в котором теряется информация, определяемая бинокулярным зрением) без применения специальных средств, образующих стереоизображение.

При психофизическом (физиологическом) подобиі соответствие устанавливается на уровне зрительных ощущений. В силу ограниченных возможностей зрительного аппарата наблюдатель при некотором уровне искажений не может ощутить разницы между синтезированным изображением и оригиналом, так как зрительные ощущения идентичны, хотя яркость, форма и цвет неодинаковы.

Психологическое подобие предполагает, что по общему восприятию синтезированное изображение и оригинал являются схожими. Вследствие этого синтезированное изображение обеспечивает формирование у наблюдателя вполне определенного суждения о реальном объекте или сюжете, хотя

синтезированное изображение и оригинал значительно различаются по физическим характеристикам.

Оптимальный результат может быть получен при совместном использовании психофизического и психологического подобия синтезируемого изображения. Использование психофизического подобия разумно применять к ключевым объектам тренажера, в то время как второстепенные объекты могут иметь психологическое подобие.

Высокий уровень соответствия синтезируемого звукового окружения. Данный фактор улучшает эффективность имитационного тренажера лишь в некоторых случаях. Работа реального оборудования редко бывает бесшумной. Очень часто звук несет в себе немало информации о работе оборудования или происходящих процессах. Изменение звуковой картины часто свидетельствует об аварии. При решении о необходимости имитации звука следует принять во внимание тот факт, что существующие на сегодняшний день технологии позволяют создавать достаточно реалистичные звуковые картины. Использование технологии пространственного звучания, эффект Доплера, прохождение препятствий, отражение звука и т.д. может повысить эффективность имитационного тренажера в целом, за счет более полного представления пользователя о происходящих действиях. В руководстве по оценке качества реализации позиционированного звука Creative Technology определены 6 тестов, позволяющих оценить итоговую эффективность синтеза звука.

Адекватная математическая модель увеличивает эффективность тренажера за счет увеличения реалистичности поведения модели. Дело в том, что правдоподобное поведение модели увеличивает так называемый эффект личного участия (ощущается меньшая разница между реальной и виртуальной обстановкой). Эффект личного участия в свою очередь влияет на запоминание информации. Развита математическая модель позволит в случае необходимости учитывать влияние большего числа параметров, что представляет больший исследовательский интерес. При работе с реальным оборудованием нередко возникают ситуации, изменяющие условия его работы.

Примерами могут служить изменение состояния атмосферного воздуха (температура, давление, влажность), износ оборудования, аварии и т.д. По этой причине, важно иметь возможность имитации подобных ситуаций, т.е. необходима система коррекции работы тренажера. Возможность изучения влияния различных факторов на работу оборудования, также увеличивает эффективность. Коррекция должна выполняться не только на стадии запуска, но и на протяжении всего процесса работы тренажера. Возможно использование заранее подготовленных сценариев. Сценарии представляют собой отмеченные на временной шкале вероятности появления каких-либо событий, изменений или аварий. Применение сценариев позволит повысить эффективность эксплуатации тренажера за счет имитации большего количества ситуаций.

Возможность работы в реальном времени увеличивает эффективность имитационного тренажера. Работая с реальным оборудованием, зачастую приходится принимать решения и производить необходимые действия, не имея запаса времени. По этой причине имитационный тренажер не должен переходить в режим “ожидания” действий пользователя, а продолжать имитировать процесс. Если синтезируемое изображение “запаздывает” или “ускоряется”, возникает состояние дискомфорта, кроме того, может сложиться неправильное представление о работе какого-либо устройства или системы в целом. В свою очередь работа в режиме “реального времени” накладывает очень жесткие требования к процессу взаимодействия пользователя с имитационным тренажером. Возможна ситуация, когда пользователь, зная, какие действия нужно произвести, может не успеть этого сделать. Это возможно при непродуманной системе управления тренажером. С другой стороны система управления не должна позволять большего количества действий в единицу времени, чем это возможно в реальности.

Возможность коррекции масштаба времени может быть необходима для ускорения или замедления происходящих процессов. Это может потребоваться при длительном сроке наступления какого-либо события. Примером может служить испытания материалов на усталость. Время усталостных испытаний может превышать целые дни, что, не позволяет проводить такие и подобные

испытания в рамках учебного процесса. Как показывает практика, при использовании масштаба времени такие испытания могут быть проведены за 20-30 минут.

Возможность многопользовательского доступа. Практика создания имитационных тренажеров показывает, что для работы с несложным оборудованием, например, компрессором или насосом, вполне достаточно одного пользователя. При создании более сложного виртуального тренажера, например, буровой установки, необходимо предусмотреть доступ к тренажеру не одного, а нескольких пользователей. Например, в случае с буровой установкой это могут быть бурильщик, помощники бурильщика, механик и т.д.

Соответствие имитируемой модели оборудования и выполняемых операций требованиям ГОСТ и другим нормативным документам. Смысл данной рекомендации состоит в том, что если в каких либо нормативных документах определен порядок необходимых операций, имитационный тренажер должен обеспечить возможность выполнения этих действий и операций пользователем. Кроме того, планировка зданий, монтаж соответствующего оборудования, необходимые инструменты также должны соответствовать правилам. Выполнение указанной рекомендации разрешает вопрос о корректности имитируемых действий и ситуаций.

Для приблизительной количественной оценки указанных факторов было проведено сравнение результатов использования эталонного КИТ (имеющий максимальное качество всех факторов) при проведении лабораторных работ – таблица 4. 1.

Таблица 4.1. Оценка влияния различных факторов на эффективность КИТ.

Фактор		Процент запоминания информации, %
уровень соответствия синтезируемого изображения	физическое	90
	психофизическое	75
	психологическое	60

Фактор		Процент запоминания информации, %
уровень соответствия синтезируемого звукового окружения	стерео	70
	пространственный звук	80
	пространственный звук + акустические эффекты	90
Адекватная математическая модель	жесткая последовательность действий	30
	жесткая последовательность, возможность изменения параметров	45
	отсутствие заданной последовательности, свободная работа студента	90
Многопользовательский доступ	одиночная работа	80
	коллективная работа	90

4.3. Результаты внедрения и перспективы развития системы

Разработанная САПР КИТ успешно эксплуатируется в проектной практике Научно-исследовательского института электронных образовательных ресурсов Тюменского государственного нефтегазового университета с 2006 года, что подтверждено актами внедрения. Созданные с помощью САПР КИТ компьютерные имитационные тренажеры внедрены в учебный процесс ТюмГНГУ по 8 учебным дисциплинам (приложение 2,3). САПР КИТ экспонировался на Всероссийской выставке «Современная образовательная среда - 2006» и удостоен серебряной медали.

В настоящее время продолжается развитие системы и выпуск новых версий программы. Новые версии имеют большую функциональность и более

удобный интерфейс взаимодействия с пользователем. Среди возможных направлений дальнейшего развития системы отметим следующие:

- Возможность использования в описании математических моделей элементов нейронных сетей, нечеткой логики и т.д., поскольку достаточно часто, с помощью этих средств можно, с большей скоростью, имитировать процесс или явление.
- Более полно использовать средства формирования виртуальной реальности при проектировании КИТ.
- Предоставление возможности параметрического задания 3D объектов.
- Возможность графического представления и проектирования имитационных моделей.
- Дальнейшая интеграция с программным обеспечением сторонних производителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом настоящей диссертационной работы, посвященной разработке системы автоматизированного проектирования компьютерных имитационных тренажеров, являются следующие результаты.

1. Выполнен анализ тенденций и современного состояния автоматизации проектирования компьютерных имитационных тренажеров, сформулированы основные требования, которым должна удовлетворять современная САПР КИТ. Определены требования к проектируемым имитационным тренажерам, показана специфика компьютерных имитационных тренажеров, как класса программного обеспечения на основе совмещения требований и ограничений, указанных в изученных стандартах и спецификациях.
2. Разработан подход создания информационного обеспечения, основанный на интеграции технологий распределенного имитационного моделирования и технологии предоставления электронного образовательного контента с применением механизма повторного использования элементов КИТ.
3. Дана классификация элементов модели HLA, позволяющая в автоматизированном режиме формулировать ограничения на процесс декомпозиции объекта моделирования, и классификация видов взаимодействий, обеспечивающая корректность процесса декомпозиции объекта моделирования за счет автоматизированного наложения ограничений.
4. Предложена математическая модель и классификация типов КИТ, позволяющая сформулировать ограничение на процесс декомпозиции, выбрать направление декомпозиции, то есть реализовать первый этап создания рекомендаций пользователям САПР КИТ.
5. Разработан компонент лингвистического обеспечения – языковой процессор, существенно упрощающий процедуру проектирования КИТ, набор функций которого оптимизирован по критериям скорости выполнения.
6. Создано лингвистическое, информационное, техническое и программное обеспечения, на основе которого разработана реально эксплуатируемая САПР КИТ.

7. На основе практического применения разработанной САПР при проектировании КИТ, определены факторы эффективности КИТ, такие как высокий уровень соответствия (подобия) синтезируемого изображения оригиналу и т.д., показана количественная оценка указанных факторов.
8. Приведены данные о внедрении системы в процесс проектирования КИТ в НИИ ЭОР ТюмГНГУ и перспективах ее дальнейшего развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алешин В.П., Афанасьев В.О. Байгозин Д.А., и др. Система визуализации индуцированного виртуального окружения для задач исследования космоса: состояние проекта / В.П. Алешин, В.О. Афанасьев, Д.А. Байгозин и др. // XIV Международная конференция по компьютерной графике и зрению «Графикон-2004» - М., 2004. - С.12-15.
2. Афанасьев В.О., Мартыненко М.В., Почукаев В.Н. и др. Системы навигации для объектов сложной пространственной структуры на базе виртуальных моделей трехмерной среды / В.О. Афанасьев, М.В. Мартыненко, В.Н. Почукаев и др. // II Международная НТК «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика» - Рязань, 1998.
3. Башков К.А., Казак А.Б. Генераторы изображения для авиатренажеров // Зарубежная радиоэлектроника. - 1984, №8. - С. 60 - 68.
4. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++ / Г. Буч; Пер. с англ. - 2-е изд. - М.: Изд-во «Бином», СПб.: «Невский диалект», 2000.- 560 с.
5. Вермишев Ю.Х. Основы автоматизации проектирования / Ю.Х. Вермишев. - М.: Радио и связь, 1988. – 279 с.
6. Вигер И.Н. Реальные деньги виртуальной реальности. - Компьютерра [Электронный ресурс] // Электрон. журн. - свободный. - 24 февр. 2004 г. - Режим доступа: <http://oldwww.computerra.ru/hitech/perspect/32083/>.
7. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р. и др. Приемы объектно-ориентированного программирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон и др. Пер. с англ. - СПб.: Питер, 2004.- 366 с.
8. Гаммер М.Д. Виртуальный стенд для испытаний компрессора 4ВУ1-5/9 / М.Д. Гаммер // Проектирование и эксплуатация нефтегазового оборудования: проблемы и решения: Материалы Всероссийской науч.-техн. Конференции 4-5 ноября 2004 г.- Уфа, 2004. - С. 166-168.
9. Гильманов Ю.А. Использование среды LabVIEW для разработки лабораторного практикума по дисциплинам нефтегазового направления /

- Ю.А. Гильманов, М.Д. Гаммер, В.И. Колесов // Сборник трудов межд. науч.-практ. конференции "Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments конфер., Москва, 18-19 нояб. 2005 г. - М., 2005.- С.27-28.
10. Гольдфарб В. И., Трубачев Е.С., Бажин А.Г.и др. Интеграция САПР в научных и инженерных задачах института механики ИжГТУ / В. И. Гольдфарб, Е.С. Трубачев, А.Г. Бажин, и др. // Вестник Ижевского государственного технического университета. – Ижевск, 2001. - № 2. - С. 15-18.
 11. Гольдфарб В.И. Аспекты проблемы автоматизации проектирования передач и редукторов / В.И. Гольдфарб // Передачи и трансмиссии. – 1991. - №1. – С. 25-30.
 12. Горбатов В.А. Фундаментальные основы дискретной математики. - М.: Наука, Физматлит, 1999.
 13. ГОСТ 2.2.016-81. Система стандартов безопасности труда. Оборудование компрессорное. Общие требования безопасности.
 14. ГОСТ 20073-81. Компрессоры воздушные поршневые стационарные общего назначения. Правила приемки и методы испытаний.
 15. ГОСТ 22487-77. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения.
 16. ГОСТ 23501.119-83. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы.
 17. ГОСТ 26387-84. Система человек-машина. Термины и определения.
 18. ГОСТ 26387-84. Система человек-машина. Термины и определения // Государственный комитет СССР по стандартам. - М.: Изд-во стандартов, 1984.
 19. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы // Комитет стандартизации и метрологии СССР по стандартам. - М.: Изд-во стандартов, 1991.

20. Гуревич С. Б. и др. Голографическое телевидение / С. Б. Гуревич // Техника кино и телевидения. - 1970. - №7. - С.59-66.
21. Джексон Питер. Введение в экспертные системы: уч. пос. // Питер Джексон: пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. - 624 с.
22. Динамическая компиляция против статической компиляции - сравнение производительности [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.hardline.ru/1/12/3421/>
23. Динамические распределенные модели на основе технологии High Level Architecture (HLA) [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: http://dcs.isa.ru/www/vladimirv/diar/portal/diar_isa_home_1.html
24. Почти совершенное виртуальное решение [Электронный ресурс] // Директор ИС. - Электрон. дан. - 2006. - №07. - Режим доступа: http://www.osp.ru/cio/2006/07/2545023/_p3.html
25. Жердев А. А., Леонов В. П., Жишов В. В. Изучение процессов выпуска и наполнения газом емкости постоянного объема / Жердев А.А., В.П. Леонов, В. В. Жишов. - М.: Изд-во МТТУ им. Баумана. - 2001.
26. Жук Д. М. Технические средства и операционные системы САПР / Д. М. Жук. - М.: Высшая школа, 1986.
27. Иванов В. П., Батраков А. С. Трехмерная компьютерная графика / В.П. Иванов, А. С. Батраков. - М.: Радио и связь, 1995. - 225 с.
28. Информационно-интерактивный портал "Российские электронные библиотеки" [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.elbib.ru/>
29. Казеннов Г.Г., Соколов А.Г. Основы построения САПР и АСТПП / Г. Г. Казеннов, А.Г. Соколов. - М.: Высшая школа, 1989. - 200 с.
30. Катус Г.П., Катус П.Г., Яковлев А.И. Трехмерные системы представления объемной информации / Г. П. Катус, П.Г.Катус, А. И. Яковлев. - М.: СИП РИА, 1998. - 112 с.
31. Катус П.Г., Яковлев А.И. Интерактивная компьютерная графика / П.Г. Катус, А.И. Яковлев. - М.: СИП РИА, 1999. – 180 с.

32. Ковалев А. М., Талныкие Э. А. Машинный синтез визуальной обстановки / А. М. Ковалев, Э. А. Талныкие // Автометрия. - 1984. - №4. - С.78-83.
33. Колесов В. И., Гаммер М. Д. “Создание кроссплатформенных сетевых виртуальных тренажеров / В.И. Колесов, М.Д. Гаммер // Региональная научно-практическая конференция “Информационные технологии в образовании”: материалы науч.-техн.конф. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2004г.
34. Колесов В. И. Виртуальный лабораторный практикум по дисциплине «Гидромашины и компрессоры» / В. И. Колесов, М. Д. Гаммер, А.В. Немков // Новые информационные технологии в нефтегазовой промышленности и энергетике: материалы междунаро. научн.-техн. конф., 7-9 октября 2003 г. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. - С.91-93.
35. Колесов В.И. Имитационное моделирование испытаний насосных установок / В. И. Колесов, М. Д. Гаммер, А. В. Немков // Проблемы развития ТЭК Западной Сибири на современном этапе: труды Междун. науч.-техн. конф., посвященной 40-ю Тюменского государственного нефтегазового университета, 25-27 сент. 2003 г. - Тюмень: ТюмГНГУ 2003. - С.98-100.
36. Колесов В.И. Имитационное моделирование испытаний образцов на выносливость / В.И. Колесов, М.Д. Гаммер, А.В. Немков // Проблемы развития ТЭК Западной Сибири на современном этапе: труды междун. науч.-техн. конф., посвященной 40-ю Тюменского государственного нефтегазового университета, 25-27 сент. 2003 г. - Тюмень, 2003.- С.118-121.
37. Колесов В.И. Моделирование испытаний образцов на выносливость при изгибе с вращением / В.И. Колесов, В.Н. Сызранцев, М.Д. Гаммер // Новые информационные технологии в нефтегазовой промышленности и энергетике: Материалы междунаро. науч.-техн. конф., 7-9 окт. 2003 г. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. - С.116-117.
38. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи \ В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов - М.: Горячая линия - Телеком, 2022. - 94 с.

39. Комплекс виртуального макетирования многоцелевого самолета-амфибии Бе-200 [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.jcsi.ru/vr/products/projects/be200/be200.htm>
40. Компрессоры воздушные поршневые стационарные общего назначения. Методы испытания. ГОСТ 9011—59.
41. Корячко В.П., Курейчик В.М., Норенков И.П. Теоретические основы САПР / В.П. Корячко, В.М. Курейчик, И.П. Норенков. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
42. Кроссплатформенная графическая библиотека [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Trolltech>
43. Кроссплатформенная программная библиотека для работы с аудио аппаратурой компьютера OpenAL [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://en.wikipedia.org/wiki/OpenAL>
44. Кудрявцев. Е.М. Имитационное моделирование производственных процессов: учеб. пособие / Е.М. Кудрявцев. - М.: МИСИ, 1985. - 88 с.
45. Луценко Е.В., Критерии реальности и принцип эквивалентности виртуальной и “истинной” реальности. [Электронный ресурс]: научный электронный журнал / Е.В. Луценко. - Электрон. дан. – КубГАУ, 2004. - № 06(8)
46. Малина О.В., Уржумов Н.А. Подход к оптимизации процесса структурного синтеза в системах автоматизированного конструирования / О.В. Малина, Н.А. Уржумов // Конференция «Информационные технологии в инновационных проектах» 24 нояб. 2004 г. - ИжГТУ, 2004.
47. Малина О. В. Программа синтеза классификатора спироидных редукторов / О. В. Малина, Н.А. Уржумов // «САПР, алгоритмы, математические методы, расчеты » : матер. Конференции. - 2 мая 2004 г. - Институт механики.: ИжГТУ.
48. Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов / Д. Марр - М.: Радио и связь, 1987.

49. Метадан учебного объекта (Learning Object Metadata) [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: IEEE P1484.12.1 Learning Object Metadata (LOM) -- Data Model
50. Моделирование сложных систем и виртуальная реальность // Вопросы кибернетики: сб.к науч. ст. [редкол.: Ю.М. Баяковский и А.Н.Томилин]. - М: Изд-во РАН, 1995. - №181. - 212с.
51. Норенков И.П., Маничев В.Б. Основы теории и проектирования САПР / И.П. Норенков, В.Б. Маничев. - М.:Высшая школа, 1990. - 335 с.
52. Системы автоматизированного проектирования. Кн. 1: учеб. пос. для втузов / И.П. Норенков. - М.: Высшая школа, 1986.
53. Общая характеристика систем виртуального окружения [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: www.sim-mfti.ru/content/972/node20.html
54. Описание инструментария разработчика VegaPrime [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.jcsi.ru/vr/products/mpi/vegaprime/vegaprime.htm>
55. Отчёт Insight Media о состоянии индустрии систем виртуальной реальности [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: www.insightmedia.info/pirspring2002more.htm
56. Ву Мейсон, Нейдер Джеки, Девис Том, Шрайнер Дейв. Официальное руководство программиста OpenGL/ Мейсон Ву, Джеки Нейдер, Том Девис, Дейв Шрайнер: : Пер. с англ. – СПб.: ООО “ДиаСофтЮП”, 2002. - 592 с.
57. Павловский А.Н., Измерение расхода и количества жидкостей, газа и пара / А.Н. Павловский. - М.: Изд-во комитета стандартов, 1967.
58. Петров А.В. Проблемы и принципы создание САПР / А.В. Петров. - М.: Высшая школа, 1990.
59. Портал разработчиков имитационных систем в образовательной сфере [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: www.modsim.org
60. Применение компьютерных имитационных тренажеров и систем виртуальной реальности в учебном процессе [Электронный ресурс]. -

Электрон. дан. - Режим доступа:
<http://www.really.ru/kb.php?mode=article&k=41>

61. Программное обеспечение компании MultiGen-Paradigm, Inc. [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа:
<http://www.jcsi.ru/vr/products/index.htm>
62. Профессиональные системы виртуальной реальности на базе РС [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа:
www.nvworld.ru/docs/reality.html
63. РД 50-34.698-90. Методические указания. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы.
64. Рост Р. Дж. OpenGL. Трехмерная графика и язык программирования шейдеров. Для профессионалов / Р. Дж. Рост. - СПб.: Питер, 2005. - 428 с.: ил.
65. Сайт IASIG (Interactive Audio Special Interest Group) [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: <http://www.iasig.org/>
66. Сайт компании Ascension-tech [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: www.ascension-tech.com
67. Сайт компании eMagin [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: www.emagin.com
68. Сайт компании Pitch Technologies [[Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: <http://www.pitch.se>
69. Сайт компании Sensics [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: www.sensics.com
70. Сайт компании VE GROUP [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.ve-group.ru>
71. Система поддержки учебного процесса Educon [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://educon.tsogu.ru:8081>
72. Система разработки виртуальных окружений VR Juggler [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа:
<http://www.vrjuggler.org/documentation.php#vrjuggler>

73. Система разработки виртуальных окружений Аванго [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.sim-mfti.ru/content/?fl=326&doc=990>
74. Системы виртуальной реальности. Образовательный портал московского государственного института электроники и математики [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://dlc.miem.edu.ru/newsite.nsf/docs/CSD309>
75. Системы имитации осязания [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://en.wikipedia.org/wiki/Haptic>
76. Современные звуковые технологии в играх [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.ixbt.com:80/multimedia/sound-technology-in-games-2003>
77. Сосновский А.Г., Столярова Н.И. Измерение температур / А.Г. Сосновский, Н.И. Столярова. – М.: Изд-во комитета стандартов, 1970.
78. Страуструп Б. Язык программирования C++. Спец.изд./ Б. Страуструп; пер. с англ. - М.: Изд-во Бином, СПб.: Невский диалект, 2000. – 1099 с.
79. Сызранцев В.Н., Гаммер М.Д. Виртуальный стенд для испытаний компрессора 4ВУ1-5/9 / В.Н. Сызранцев, М.Д. Гаммер // Региональная научно-практическая конференция “Информационные технологии в образовании”. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2004.
80. Сызранцев В.Н., Гаммер М.Д. Компьютерные тренажеры для обучения студентов нефтегазового направления / М.Д. Гаммер, К.М. Черезов // Бурение и нефть, 2006. - №10. - С.34 – 36.
81. Сызранцев В.Н., Гаммер М.Д. Разработка и внедрение компьютерных тренажеров на кафедре МОНиГП в ТюмГНГУ / В.Н. Сызранцев, М.Д. Гаммер // Сборник уч.-мет. мат./ сост. М.М. Афанасенкова, Н.А. Аксенова. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2005 - С.134-138.
82. Томилин А.Н., Афанасьев В.О. Виртуальная реальность / А.Н. Томилин, В.О. Афанасьев // Наука и жизнь. - 1999. - №2. - с.112, с.58-60.
83. I Международная конференция по системам виртуального окружения на кластерах персональных компьютеров. VE on PC 2001: сб. научн. трудов,

Протвино, 22-25 сентября 2001 г. / Институт Физико-Технической Информатики. - 2001.

84. Федорчук В.Г. Информационное и прикладное программное обеспечение САПР / В.Г. Федорчук. - М.: Высшая школа, 1986. - 147 с.
85. Френкель М.И. Поршневые компрессоры / М.И. Френкель. - М.: Машиностроение, 1969.
86. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики / Ф. Хилл. - СПб.: Питер, 2002. - 1088с.
87. Цейтлин В.Г. Техника измерения расхода и количества жидкостей, га-зов и паров / В.Г. Цейтлин. - М: Изд-во стандартов, 1981.
88. Черезов К.М. Компьютерное моделирование расчета кинематики станка-качалки / К.М. Черезов, М.Д. Гаммер // Нефть и газ Западной Сибири: матер. межд. науч.-техн.конф. 25-27 окт. 2005 г. - Т.1. – Тюмень: Феликс, 2005. - С.113.
89. Шикин Е.В., Боресков А.В. Компьютерная графика. Полигональные модели / Е.В. Шикин, А.В. Боресков. - М.: Диалог-МИФИ, 2001. – 464 с.
90. Эйнджел Эдвард. Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL, 2 изд.: Пер. с англ / Эдвард Эйнджел. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. - 592с.: ил.
91. Язык программирования Lua [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Lua>
92. 3D Technology and Markets: A Study of All Aspects of Electronic 3D Systems, Applications and Markets [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: http://really.ru/3d_markets.htm
93. Advanced Distributed Learning. Sharable Content Object Reference Model (SCORM) 2004 / Перевод с англ. Е.В. Кузьминой. - М.: ФГУ ГНИИ ИТТ "Информика", 2005. - 29 с.
94. Artwick B.A. Applied concepts in microcomputer Graphics / B.A. Artwick // Prentice Hall, Inc. Eglewood Cliffs. - New Jersey, 1984. - 374 p.

95. "Extendible Tracking by Line Auto-Calibration" / Jiang Bolan, Neumann Ulrich
// Proceedings of International Symposium on Augmented Reality, pp.97-103,
New York, NY, October 2001.
96. Burdea G., Coiffet P. Virtual Reality Technology. - New York: John
Wiley&Sons, Inc, 1994.
97. IEEE Recommended Practice for High Level Architecture (HLA) Federation
Development and Execution Process (FEDEP)
98. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture
(HLA) - Framework and Rules 1516.1-2000
99. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture
(HLA) - Federate Interface Specification 1516.2-2000
100. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture
(HLA) - Object Model Template (OMT) Specification 1516.3-2003
101. IMS Global Learning Consortium, Inc [Electronic resource]. – Electronic data. -
Режим доступа: <http://www.imsproject.org/>
102. IS-900 Inertial-Ultrasonic Motion Tracking System [Electronic resource]. –
Electronic data. - Режим доступа: <http://www.intersense.com/>
103. ISO 10075 - Ergonomic principles related to mental workload.
104. ISO 13407 - Human centred design processes for interactive systems .
105. ISO 9241-10 (1996) Ergonomic requirements for office work with visual display
terminals (VDT)s.
106. International Training and Education Conference (ITEC) [Electronic resource]. –
Electronic data. - Режим доступа: www.itec.co.uk
107. J. W. Lee, S. You, and U. Neumann, "Tracking with Omni-Directional Vision
for Outdoor AR Systems," IEEE ACM International Symposium on Mixed and
Augmented Reality (ISMAR 2002), pp. 47-56, Darmstadt, Germany, October
2002.
108. Multi-Ring Fiducial Systems for Scalable Fiducial-Tracking Augmented
Reality, "PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 10, No. 6.,
pp. 599-612, December 2001.

109. S. You and U. Neumann. "Fusion of Vision and GyroTracking for Robust Augmented Reality Registration"IEEE Virtual Reality 2001, pp.71-78, Yokahama Japan, March 2001.
110. Special Interest Group on GRAPHics and Interactive Techniques [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: <http://www.siggraph.org/s2007/>
111. T. Kanade, P.J. Narayanan, and P. Rander, "Virtualized Reality: Being Mobile in a Visual Scene," International Conference on Artificial Reality and Tele-Existence / Conference on Virtual Reality Software and Technology, November, 1995, pp. 133-142.
112. The Society for Modeling and Simulation International[Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: <http://www.scs.org/Publications.cfm>
113. Ulrich Neumann and Anthony Majoros. "Cognitive, Performance, and Systems Issues for Augmented Reality Applications in Manufacturing and Maintenance."Proceedings of IEEE VRAIS'98, pp. 4-11, 1998.

Акт внедрения

Настоящим актом подтверждается внедрение системы автоматизированного проектирования компьютерных имитационных тренажеров, инициатором создания и разработчиком которой является начальник отдела информационных технологий Гаммер М.Д., в практику проектирования компьютерных имитационных тренажеров в Научно-исследовательском институте электронных образовательных ресурсов ГОУ ВПО “Тюменский государственный нефтегазовый университет”. Система эксплуатируется в НИИ с 2006 г. В 2006 г. она была представлена на конкурс научно-технических разработок на всероссийской выставке “Современная образовательная среда 2006” (г. Москва) и удостоена серебряной медали по направлению “Электронные образовательные ресурсы”. Благодаря применению системы достигнуто повышение производительности и качества проектирования компьютерных имитационных тренажеров, отмечается значительное удобство работы пользователя с системой.

Директор НИИ ЭОР ТюмГНГУ

Колесов Г.В.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ



ВЫСТАВКА-ЯРМАРКА
СОВРЕМЕННАЯ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ
СРЕДА

2006

*Творческий конкурс
научно-технических разработок*

ДИПЛОМ

*«Программный комплекс для
проектирования имитационных
тренажеров»*

*Тюменский государственный
нефтегазовый университет*

Лауреат конкурса

в номинации:

«Электронные образовательные ресурсы
на локальных носителях и сетевые,
в том числе информационные ресурсы
на региональных и федеральных порталах»

Председатель
Конкурсной комиссии

Е.Я. Бутко

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

об официальной регистрации программы для ЭВМ

№ 2007614293

Программа для автоматизированного проектирования
компьютерных имитационных тренажеров «PLAY»

Правообладатель(ли): *Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
Тюменский государственный нефтегазовый университет (RU)*

Автор(ы): *Гаммер Максим Дмитриевич (RU)*

Заявка № 2007613365

Дата поступления 14 августа 2007 г.

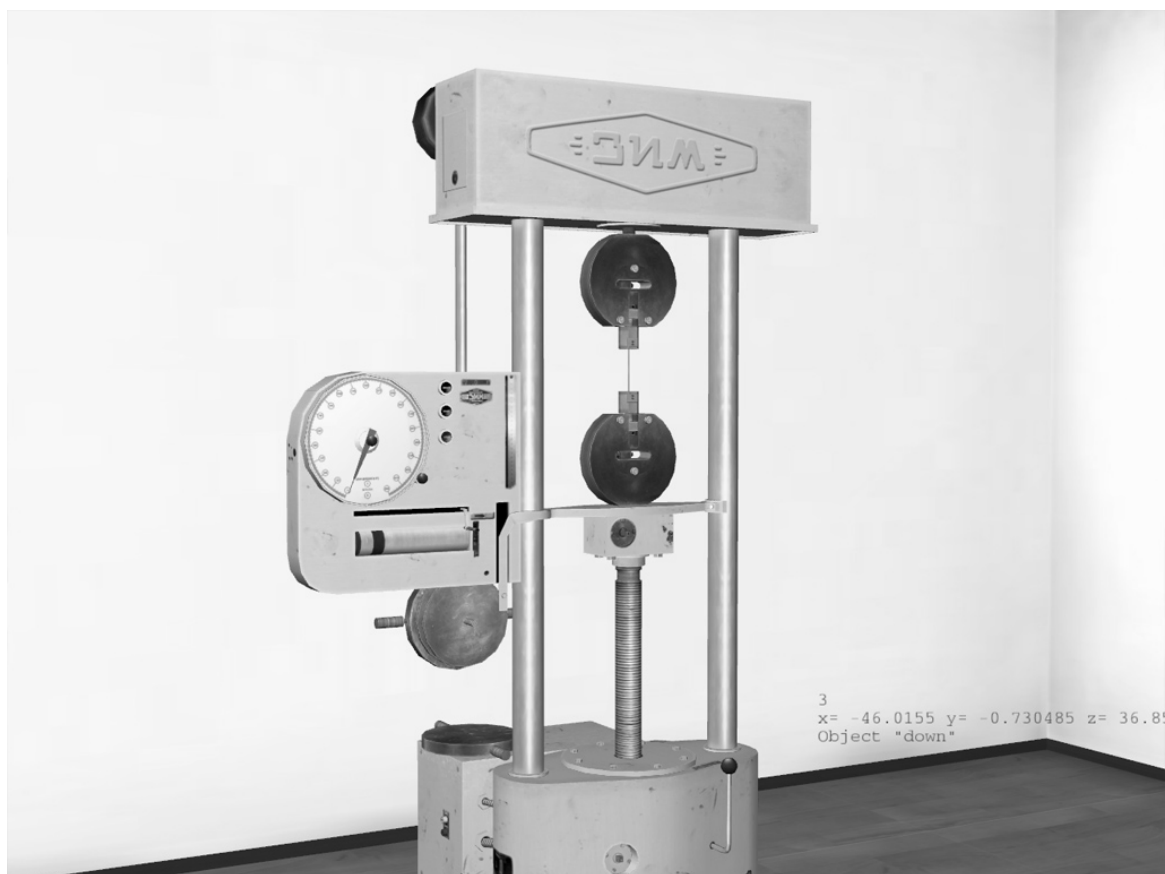
Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ

9 октября 2007 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам



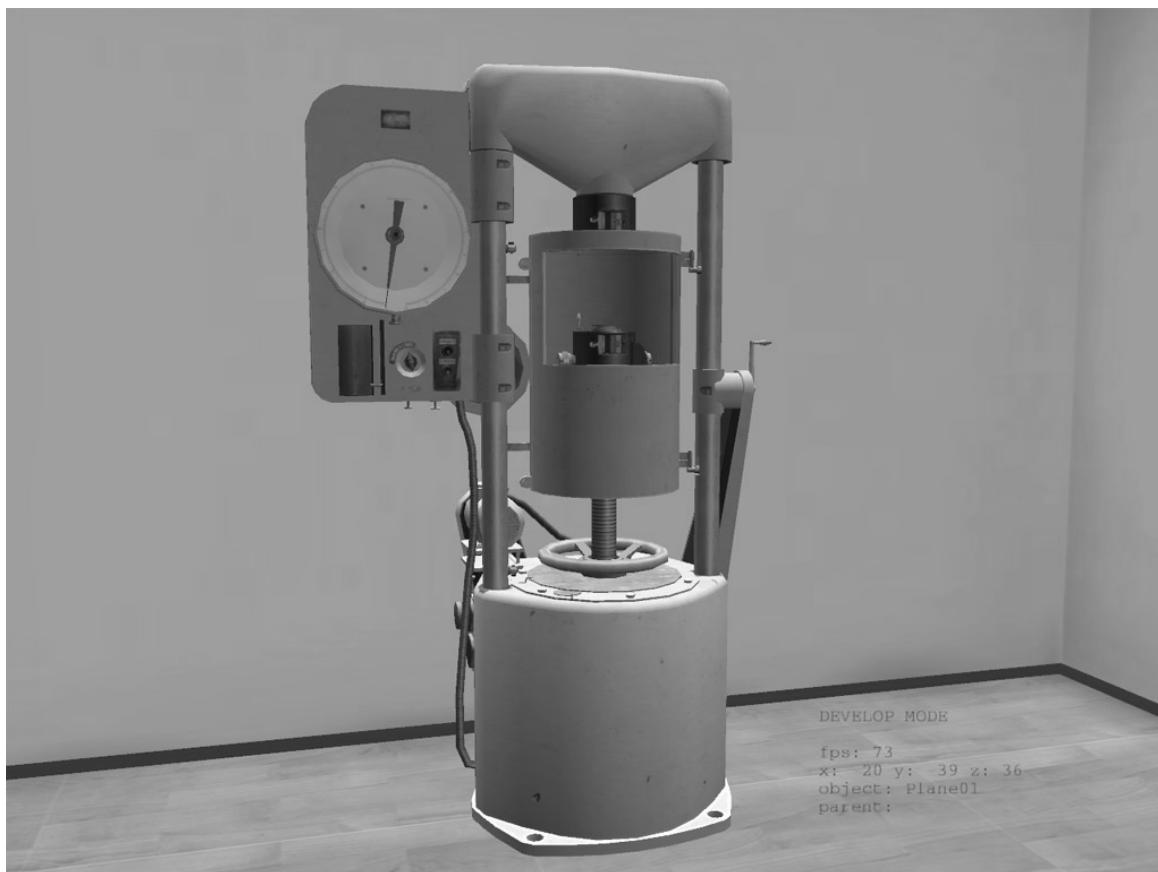
Б.П. Симонов



КИТ “Определение критической силы сжатого стержня”



КИТ “Испытание материалов на сжатие”



КИТ “Испытание образцов из различных материалов на кручение”



КИТ “Изучение резонансных явлений при упругих колебаниях”