

**Гаммер Максим Дмитриевич  
Сызранцев Владимир Николаевич**

**Имитаторы на базе программно-  
аппаратной платформы в техническом  
образовании**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

**Гаммер Максим Дмитриевич  
Сызранцев Владимир Николаевич**

**Имитаторы на базе программно-аппаратной  
платформы в техническом образовании**

Тюмень 2010

УДК 004.946 : 004.942

Гаммер М.Д. Сызранцев В.Н. Имитаторы на базе программно-аппаратной платформы в техническом образовании. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. - 271 с.

В книге приводится комплексное исследование имитаторов на базе программно-аппаратной платформы (computer-base) в области технического образования. Подробно рассмотрена классификация различных типы имитаторов, их характеристики и специфика. Приводятся практические примеры имитаторов, используемые в образовательных учреждениях и на предприятиях.

Особое внимание уделяется вопросу систематизации пользовательских требований и критериев оценки имитаторов, такие как уровень подобия синтезируемого изображения оригиналу, адекватность и универсальность математической модели и т.д.

Рассмотрены вопросы определения и обоснования принципиального состав имитаторов и методы реализации составных элементов. Представлены технологии, используемые при создании имитаторов, такие как синтез графического и звукового представления, системы виртуальной реальности, распределенные вычисления, распределенные тренажерные системы и т.д.

Отдельно обсуждается вопрос определения и обоснования понятия эффективности и ключевые показатели эффективности имитаторов в образовательном процессе.

Книга представляет интерес для разработчиков имитаторов, а также для потенциальных пользователей: профессорско-преподавательского состава учебных заведений, руководителей и инструкторов учебных центров предприятий, студентов и других заинтересованных лиц.

Табл. 26, ил. 156, библиогр.: 120 назв.

Рецензенты:

О.Н. Кузяков Доктор технических наук, профессор, директор Института кибернетики, информатики и связи Тюменского государственного нефтегазового университета

ISBN X-XXXXXX-XXX-X

© Гаммер Максим Дмитриевич, автор, 2010

## Оглавление

<b>Введение.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Классификация имитаторов на базе программно-аппаратной платформы, характеристики и специфика различных типов.....</b>	<b>12</b>
1.1. Имитаторы для задач тренинга и повышения квалификации (компьютерные тренажеры).....	22
1.1.1. Тренажеры DRILLSIM 5000 и AMT-221.....	23
1.1.2. Тренажеры FORWARD.....	25
1.2. Имитаторы для проведения лабораторных работ.....	27
1.2.1. Исследование КПД цилиндрического и червячного редуктора.....	27
1.2.2. Испытания образцов на выносливость при изгибе с вращением.....	31
1.3. Имитаторы для проведения практикума.....	34
1.3.1. Изучение методики проведения балансировки ротора центробежного насоса.....	34
1.4. Имитаторы для задач курсового проектирования.....	38
1.4.1. Компрессорная установка 4ВУ1-5/9.....	38
1.5. Имитаторы для проведения сертификации и аттестации.....	44
1.5.1. Компрессорный цех по перекачке газа.....	44
1.6. Имитаторы для проведения лекций и семинаров.....	48
<b>2. Определение и обоснование понятия эффективности. Ключевые показатели эффективности имитаторов в производстве и образовательном процессе.....</b>	<b>49</b>
2.1. Снижение стоимости образовательных услуг.....	52
2.2. Снижение потенциальных потерь .....	60
2.2.1. Снижение опасности при обучении.....	61
2.2.2. Повышение эффективности охраны труда.....	62
2.2.3. Повышение промышленной безопасности.....	65
2.2.4. Повышение экологической безопасности.....	76
2.3. Ускорение обучения.....	78
2.3.1. Возможность ускорения «длительных» процессов.....	78
2.3.2. «Потоковое» обучение — снижение временных затрат.....	81
2.3.3. Возможность обучения специалистов еще до постройки нового технологического объекта.....	82
2.4. Повышение качества обучения.....	84
2.5. Доходы от экспорта образовательных услуг.....	87
2.6. Проведение исследований с помощью имитаторов.....	88
2.7. Увеличение эффективности управления персоналом предприятия.....	90
2.7.1. Увеличение эффективности процедуры сертификации и аттестации специалистов.....	91
2.7.2. Увеличение эффективности обучения персонала с использованием технологий дистанционного обучения.....	92
2.7.3. Увеличение эффективности обучения специалистов за счет увеличения внутренней мотивации.....	93
2.7.4. Подготовка «смежных» категорий (профессий) специалистов.....	93
2.7.5. Повышение имиджа предприятия и его руководства.....	93

2.7.6. Решение проблемы «текучести кадров» и сокращение времени на обучение.....	94
2.8. Преимущества для учебных заведений.....	95
2.9. Вывод.....	97
<b>3. Систематизация пользовательских требований и критериев оценки имитаторов.....</b>	<b>98</b>
3.1. Базовые эргономические требования и рекомендации.....	100
3.2. Уровень соответствия (подобия) синтезируемого изображения оригиналу.....	105
3.3. Уровень соответствия синтезируемого звукового окружения оригиналу.....	108
3.4. Уровень соответствия механизмов взаимодействия между пользователем и имитатором оригиналу.....	109
3.5. Адекватность, универсальность и экономичность математической модели.....	116
3.5.1. Требования к адекватности .....	117
3.5.2. Требования к экономичности модели.....	119
3.6. Возможность работы в реальном времени, а также в ином масштабе времени .....	124
3.7. Многопользовательский доступ.....	125
3.8. Соответствие и выполняемых операций требованиям, утвержденному регламенту, ГОСТ и другим нормативным документам.....	127
3.9. Возможность использования имитаторов в системах управления обучением, сертификация ADL.....	129
3.10. Распределенные имитационные системы .....	132
3.11. Поддерживаемые программно-аппаратные платформы.....	136
3.12. Сертификация имитаторов.....	138
3.12.1. Отраслевая сертификация.....	138
3.12.2. Обязательная сертификация продукции и услуг.....	138
3.13. Схемы лицензирования и защита авторских прав.....	141
3.13.1. Сопровождение имитатора лицензией.....	141
3.13.2. Совместимость лицензий.....	141
3.13.3. Защита ПО свидетельствами «официальной регистрации программы для ЭВМ».....	142
3.14. Встроенные средства автоматического и полуавтоматического диагностирования и калибровки.....	144
<b>4. Определение и обоснование принципиального состава имитаторов и методы реализации составных элементов.....</b>	<b>145</b>
4.1. Построение математической модели.....	150
4.1.1. Содержательное описание объекта или процесса.....	150
4.1.2. Построение формализованной схемы.....	151
4.1.3. Построение математической модели.....	153
4.1.4. Исследование, тестирование и корректировка математической модели .....	166
4.1.5. Программная реализация.....	169
4.1.6. Определение экономичности модели (вычислительные ресурсы).....	171
4.1.7. Профилирование программы.....	172
4.2. Формирование изображения (синтез изображения) .....	174
4.2.1. Оптимизация.....	178
4.2.2. Post-обработка изображения.....	188
4.2.3. Использование кластерных вычислений для синтеза изображения.....	189

4.3. Формирование звукового окружения (синтез звука).....	193
4.3.1. Затухание звука.....	194
4.3.1. Звуковые эффекты окружающей среды.....	199
4.4. Реализация механизмов взаимодействия между пользователем и имитатором.....	203
4.5. Создание системы формирования виртуальной и смешанной реальности. .	208
4.5.1. Объемная визуализация.....	210
4.5.2. Стереоскопическая визуализация.....	211
4.5.3. Техническая реализация стереоскопического метода.....	216
4.5.4. Объемное звуковое сопровождение.....	228
4.5.5. Система позиционирования.....	228
4.5.6. Система имитации воздействия среды (осознания).....	233
4.5.7. Смешанная реальность (Mix Reality).....	235
4.5.8. Ограничения проводной передачи данных.....	237
4.5.9. Организация взаимодействия имитатора с устройствами VR.....	240
4.6. Построение систем распределенной имитации.....	241
4.6.1. Синхронизация времени.....	251
4.6.2. Программные библиотеки для реализации RTI .....	251
4.6.3. Замеры скорости взаимодействия федератов через RTI.....	252
4.6.4. Взаимодействие с реальными системами.....	256
4.7. Реализация возможности использования имитаторов в системах управления обучением.....	259
<b>5. Использование имитаторов в процессе управления рисками (менеджмент риска).....</b>	<b>267</b>
5.1. Способности и ограничения имитаторов для снижения вероятности человеческого фактора.....	289
5.1.1. Тренировка «знаний, умений и навыков» обнаружения.....	294
5.1.2. Тренировка «знаний, умений и навыков» диагностики.....	295
5.1.3. Тренировка «знаний, умений и навыков» принятия решений.....	296
5.1.4. Тренировка «знаний, умений и навыков» выполняемых действий.....	298
5.2. Определение требований к имитаторам для формирования необходимых знаний, умений и навыков.....	298
5.3. Определение стоимости разработки и эксплуатации имитатора (по установленным требованиям).....	313
<b>6. Использование имитаторов в СПО/ВПО.....</b>	<b>319</b>
<b>Вместо заключения.....</b>	<b>321</b>
<b>Литература .....</b>	<b>322</b>
<b>Об авторах.....</b>	<b>329</b>

## Введение

Современное производство характеризуется все увеличивающимися темпами внедрения передовых научных, технических, организационных и экономических разработок. Постоянное увеличение доли высокотехнологичного оборудования в различных секторах производства, вместе с увеличением сложности оборудования и производственных процессов в целом, закономерно ставит задачи повышения качества подготовки высококвалифицированных специалистов. Качество подготовки специалистов в значительной степени определяет экономическую эффективность производства (напрямую зависит от эффективности действий персонала), а также затрагивает вопросы охраны труда, промышленной и экологической безопасности.

Согласно годовым отчетам о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), а также данным независимого федерального агентства по расследованию несчастных случаев в химической промышленности (U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, CSB), большое количество аварий и несчастных случаев в различных секторах производства вызвано не только старением основных фондов предприятий, но и человеческим фактором. Аналогичные выводы можно получить из материалов профессиональных баз данных по авариям и инцидентам (MHIDAS, MARS, FACTS и др.). Наиболее характерными причинами, согласно отчетам комиссий Ростехнадзора, являются:

- низкая технологическая дисциплина;
- неосторожные или несанкционированные действия при выполнении работ;
- слабые знания персонала относительно требований безопасности ведения работ,
- недостаточная подготовленность (психологическая и квалификационная) персонала;
- недостаточная эффективность обучения и инструктажа персонала по вопросам безопасности;
- Несогласованные и ошибочные действия персонала в условиях чрезвычайной ситуации;
- Неправильные действия обслуживающего персонала по ведению технологического процесса.;
- Ошибки персонала при проведении необходимых измерений.
- Несвоевременное обнаружение предаварийной ситуации при наличии характерных признаков .
- Несвоевременное принятие мер по устранению аварии.
- Нарушение технологии и регламента выполнения работ.
- Не предусмотрены мероприятия для ликвидации возможных аварий.
- Ненадлежащее проведение инструктажа и т. д.

Помимо аварий, неверные действия обслуживающего персонала часто приводят к внеплановым остановам технологического процесса, что также является источником значительных экономических потерь предприятий.

Аналогичные выводы получены в исследовании [98; 26, -С. 267], где статистика по 450 авариям в отрасли нефтепереработки и нефтехимии за 1986 по 1991 гг., показала, что 22 % случаев приходится на ошибки операторов, а материальные потери оцениваются в 15,995 млрд. долл. В этом же исследовании указывается, что это вторая по уровню убытков причина аварий после механических повреждений (35%).

Указанные причины аварий и несчастных случаев позволяет сделать вывод о том, что частота появления аварий и нарушений регламента напрямую зависит от качества подготовки высококвалифицированного персонала предприятий и, косвенно, от качества подготовки студентов технических специальностей в учебных заведениях. В свою очередь, их подготовка достаточно тесно связана с проведением обучения на реальных объектах и оборудовании при решении следующих задач:

1. Получение теоретических знаний на основе проведения обучающего физического эксперимента (процесса получения и обработки экспериментальных данных) (лабораторные работы).
2. Обучение применению полученных знаний при решении комплексных задач, связанных со сферой деятельности будущих специалистов (курсовое проектирование).
3. Оценка навыков и профессиональных умений специалистов с целью их последующей сертификации или аттестации (сертификация или аттестация).
4. Практическое изучение устройства, принципа работы, наладки, регулировки оборудования, характерного для осваиваемой профессии (практикум).
5. Формирование и совершенствование у обучаемых профессиональных навыков и умений, необходимых им для управления материальным объектом (тренинг, повышение квалификации).

Проведение обучения на реальных объектах и оборудовании, в свою очередь, часто сопряжено с существенными трудностями технического плана и значительными материальными затратами:

1. Высокой стоимостью учебного оборудования и его эксплуатации.
2. Морально-устаревшим оборудованием, малым спектром имеющегося оборудования по сравнению с условиями производства.
3. Большой удаленностью обучаемого от места расположения учебного оборудования.
4. Высокой опасностью выполняемых работ.
5. Высокой сложностью изменения конфигурации оборудования и параметров среды.
6. Большой длительностью проведения работ.

7. Невозможностью визуального наблюдения внутренней структуры изучаемого оборудования, микро- и макрообъектов и процессов, быстрых или медленных технологических и природных процессов или явлений.
8. Невозможностью визуального наблюдения абстрактных понятий или концепций (например, визуализация накопления усталостных повреждений) и т. д.
9. Сложностью показа и оценки возможных последствий альтернативных условий и направлений деятельности.
10. Необходимостью «быстрого» обучения, сокращением времени на обучение.

Указанные трудности проведения обучения на реальных объектах предопределили появление новых средств обучения — тренажеров, а наблюдаемый рост вычислительной мощности персональных компьютеров и их доступность позволили использовать компьютер в качестве средства имитации - таким образом появились первые компьютерные тренажеры (1960 гг.).

Поиск и внедрение новых методов и средств обучения привел к тому, что начиная с 1980 года появились и другие, во многом отличные от компьютерных тренажеров, новые обучающие инструменты, также использующие вычислительные мощности компьютеров - получившие названия «компьютерные средства обучения», «виртуальные лабораторные работы», «имитаторы», автоматизированный лабораторный практикум удаленного доступа (АЛП УД), информационная обучающая система (ИОС), автоматизированная обучающая система (АОС), «тренажерные системы», системы формирования виртуальной реальности и т.д. Такой разноречивой терминологией (наблюдаемый и в настоящее время в виде «терминологических войн») вызван отсутствием каких-либо классификаций, регламентированных нормативными документами терминов и т.д. Несмотря на это, указанные «компьютерные средства обучения» действительно решили значительную часть заявленных проблем «физического обучения» и, кроме того, предоставили ряд дополнительных возможностей.

По мере роста вычислительных мощностей интерес к таким средствам обучения только увеличивается. Материалы международных конференций в области современных средств обучения, таких как International Training and Education Conference (ITEC), The Society for Modeling and Simulation International (SCS), Special Interest Group on Graphics' and Interactive Techniques (SigGraph), International Conference on Artificial Reality and Tele-existence свидетельствуют о том, «компьютерные средства обучения» находят все большее применение в авиации, судовождении, энергетике, вооруженных силах, медицине, космонавтике и тех областях, где проведение физического обучения сопряжено с указанными трудностями, особенно при обучении персонала, занятого на опасных и ответственных участках производства [2;91], и тех областях, где их применение строго регламентируется

законодательством (тренажеры). По оценкам авторитетной аналитической и консалтинговой организации ARC Advisory Group [125; 26, -С. 40] в целом по миру объем рынка компьютерных тренажеров характеризуется следующими данными (таблица 1). Анализ данных показывает, что годовой рост составляет 8,10%.

Таблица 1. Объем рынка компьютерных тренажеров

год	2005	2006	2007	2008	2009	2010
млн. \$	221,5	222,4	229,4	250,9	284,4	327,2

Компьютерные тренажеры и тренажерные системы используют большинство ведущих компаний мира - Boeing, Ford, General Motors, British petroleum, Exxon, Shell, Mobil и многие другие. Внедрение компьютерных тренажеров на производстве, имеющих сравнительно высокую стоимость, повышает качество подготовки персонала и коммерчески оправдано [51;5]. Например, Американский нефтяной институт (API), опираясь на опрос 200 управленцев на 11 предприятиях 7 нефтехимических компаний, оценивает среднюю прибыль от обучения одного оператора на КТ более, чем в 100 тыс.долл. в год [100; 26, -С. 257]. В работе [26, -С. 273] указывается, что для отечественного рынка, компьютерные тренажеры могут окупиться за счет снижения аварийности на 5,6 %.

Наблюдается увеличение интереса к имитаторам и со стороны высшего и среднего профессионального образования, например, создаваемые в настоящее время федеральные государственные образовательные стандарты 3 поколения для некоторых специальностей указывают на необходимость использования компьютерных тренажеров (10% от общего времени)

Несмотря на очевидную эффективность (повышения качества обучения; снижение затрат на обучение; снижение времени обучения; возможность подготовки большего количества обучаемых; снижение опасности при обучении, повышение эффективности охраны труда, промышленной и экологической безопасности и т.д.) современных «компьютерных средства обучения», их внедрение за частую осложнено рядом факторов:

1. направленностью существующих исследований, в основном, на строго определенные «отраслевые» компьютерные тренажеры, оставляя «за бортом» остальные виды имитаторов на базе программно-аппаратной платформы (computer-base);
2. отсутствием классификации имитаторов (по целям, составу, характеру деятельности обучаемого, предмету обучения и способу реализации);
3. отсутствием оценки экономической эффективности от применения имитаторов (факторы «успешного» внедрения в производстве и учебных заведениях, количественная оценка эффективности тренингов, учет статистики аварий и т. д.);
4. отсутствием систематизации пользовательских требований и критериев оценки computer-base имитаторов (адекватность мат. модели, качество

синтеза графики, звука, взаимодействия и т. д.), что затрудняет, например, проведение тендеров на разработку или поставку;

5. несогласованностью интерфейсов взаимодействия существующих computer-base имитаторов друг с другом, что затрудняет их интеграцию и дальнейшее совместное использование;
6. низким уровнем владения технологией практического использования computer-base имитаторов специалистами учебных заведений;
7. низким уровнем владения технологией проектирования computer-base имитаторов специалистов учебных заведений;
8. отсутствием универсальных систем автоматизированного проектирования для создания computer-base имитаторов.

Указанные проблемы актуальны для многочисленных секторов производства, а в большей степени для учебных заведений. Для решения указанных проблем необходимо комплексное практическое исследование (многоаспектных) принципов создания и использования computer-base имитаторов в учебном процессе. Для этого необходимо выполнить следующие задачи:

1. Классифицировать имитаторы (как структурные компоненты процесса обучения, как отдельный класс программного-аппаратного обеспечения и т. д.).

2. Определить и обосновать само понятие эффективности и ключевые показатели эффективности имитаторов в производстве и в образовательном процессе. (количественная оценка эффективности тренингов и т. д., учет статистики аварий и т. д.).

3. Выявить и обосновать требования к создаваемым имитаторам (адекватность мат. модели, качество синтеза графики, звука, взаимодействия и т. д.), т.е. систематизировать пользовательские требования и критерии оценки ЭОР.

4. Выявить и обосновать принципиальный состав имитаторов, определить методы реализации их элементов.

Материал данной работы разбит по главам, в соответствии с поставленными задачами. **Первая глава** посвящена анализу существующих типов Computer-base имитаторов, их классификации, определению характеристик и специфики различных типов. **Вторая глава** посвящена определению ключевых показателей эффективности имитаторов и обоснованию понятия эффективности при использовании на производстве и в учебных заведениях. **В третьей главе** приводится обоснованная систематизация пользовательских требований и критериев оценки Computer-base имитаторов (адекватность мат. модели, качество синтеза графики, звука, взаимодействия и т. д.) **Четвертая глава** посвящена определению и обоснованию принципиального состава Computer-base имитаторов и методам реализации составных элементов.

# **1. Классификация имитаторов на базе программно-аппаратной платформы, характеристики и специфика различных типов**

Такие термины как «компьютерные средства обучения», «виртуальные лабораторные работы», «имитаторы», «АЛП УД», «ИОС», «АОС», «интерактивные обучающие системы», системы формирования виртуальной реальности и т. д., используемые работниками учебных заведений (а также и разработчиками указанных средств), в настоящее время трактуются совершенно по-разному, как правило, в очень «урезанном», неполном, смысле, или слишком широком, а часто приводятся вообще без определения. В значительной степени это связано с тем, что имитаторы развиваются в контексте разнонаправленных научных векторов — компьютерная графика, инженерная психология, эргономика, когнитивная наука, информатика и т. д.

Отсутствие точных и однозначных трактовок (толкований) терминов вызывает множество трудностей при создании и внедрении самих средств. В первую очередь, это связано с сложившимся взаимонепониманием между разработчиками, заказчиками и конечными пользователями имитаторов. Для решения указанной проблемы необходима достаточно простая, но в то же время точная и универсальная классификация.

Использование термина имитатор на базе программно-аппаратной платформы (или Computer-base имитатор) основывается на наиболее общепринятом в зарубежных источниках и достаточно абстрактном термине simulator — т.е. воспроизводящий, копирующий [129]. Приставка «на базе программно-аппаратной платформы» или Computer-base также является достаточно общепринятой и понимается как программно-аппаратная реализация. Далее по тексту, вместо термина «имитатор на базе программно-аппаратной платформы» используется термин «имитатор».

Предлагаемая классификация основывается на рассмотрении имитаторов с двух точек зрения:

- имитаторы — как структурные компоненты процесса обучения, т.е. как средства и методы обучения, имеющие множество отличительных признаков (1-3 итерация).
- имитаторы — как отдельный класс программного-аппаратного обеспечения, имеющий множество отличительных признаков (4-8 итерация).

Для удобства практического использования, процесс классификации разбит на 9 последовательных классификаций, на каждой из которых происходит уточнение понятия «имитатор». Тем самым обеспечивается ступенчатый переход от абстрактного понятия к достаточно определенной и обоснованной классификации.

## **1 классификация - как структурного элемента процесса обучения.**

В современном понимании процесс обучения рассматривается как процесс взаимодействия между учителем и учениками с целью приобщения учащихся к определенным знаниям, навыкам, умениям и ценностям. Структурными компонентами процесса обучения являются средства и методы обучения. Методы обучения включают цель обучения, способ усвоения и характер взаимодействия субъектов обучения, а средства обучения - это материальные объекты и предметы, используемые в учебном процессе в качестве носителей учебной информации, инструмента деятельности педагога и учащихся для достижения поставленных образовательных целей (т.е. реализация методов). В этом смысле средства и методы обучения являются взаимозависимыми, что дает возможность первичной классификации понятия имитаторов как определенных средств обучения, применяемых в определенных методах обучения. Нахождение областей этих определений позволит классифицировать термин более точно.

**2 классификация — как средства обучения.** Используемые в педагогике классификации средств обучения, относят имитаторы к категории технических средств обучения (ТСО) - системы, комплексы, устройства и аппаратура, применяемые для предъявления и обработки информации в процессе обучения с целью повышения его эффективности. Классификация средств обучения (как и многое в педагогике) различна - в зависимости от положенного в основу признака [80, -С. 402-441], тем не менее, по функциональному назначению ТСО обычно разделяют на три основных класса: информационные, контролирующие и обучающие.

Нахождение области методов обучения (т.е. цель обучения, способ усвоения и характер взаимодействия субъектов обучения), в которой применяются ТСО позволяют классифицировать их по методам обучения (таблица 1.1.).

Таблица 1.1. Классификация ТСО по методам обучения

Цель	Способ	Организационная форма обучения
Создание представления обзорного характера по какой-то теме или проблеме; систематизация и обобщение знаний по теме или разделу.	Восприятие и осмысление информации, сообщаемую педагогом. При лекционном изложении материала слушатели, как правило, не имеют возможности проявить инициативу.	Лекции, семинар.
Получение знаний на основе процесса получения и обработки экспериментальных данных - количественных характеристик реальных физических величин,	Обучающий физический эксперимент, ставящий целью отработку основных приемов и технологий планирования и проведения эксперимента, включая его основные этапы:	Лабораторные работы.

Цель	Способ	Организационная форма обучения
определяющих поведение исследуемого объекта, процесса или явления, подтверждающих или опровергающих сформулированные целевые функции проведения эксперимента.	формулировка цели и задач исследований, определение способов и методов достижения цели, используемое оборудование и технологии.	
Обучение применению полученных знаний при решении комплексных задач, связанных со сферой деятельности будущих специалистов.	Применяется на заключительном этапе изучения учебного предмета; результатом является написанная курсовая работа или курсовой проект (согласно учебным планам и программам).	Курсовое проектирование.
Оценка навыков и профессиональных умений специалистов с целью их последующей сертификации или аттестации	Ответы на вопросы (теория), правильность выполнения действий (практика).	Сертификация или аттестация.
Практическое изучение устройства, принципа работы, наладки, регулировки оборудования, характерного для осваиваемой профессии.	Выполнение заданий с использованием специализированного оборудования.	Практикум.
Формирование и совершенствование у обучаемых профессиональных навыков и умений, необходимых им для управления материальным объектом.	Многочисленное выполнение обучаемыми действий, свойственных управлению реальным объектом.	Тренинг, повышение квалификации.

Таким образом, имитаторы могут применяться практически на всех «стадиях» учебного процесса. Имитаторы для лабораторных работ и лекций формируют знания, имитаторы для практикума формируют умения, тренажеры уже эти умения совершенствуют и т.д. Имитаторы для сертификации и аттестации могут использоваться для диагностики и контроля процесса.

Стоит отметить, что данная классификация не учитывает задачи промышленного инженеринга (оптимизация на этапе конструирования и эксплуатации, нахождение узких мест), разбирательства по авариям и другие области применения имитаторов, напрямую не связанные с обучением, а связанные больше с профессиональной деятельностью. Также за рамками рассмотрения остались возможности реабилитации с помощью имитаторов и т.д.

**3 классификация — уровню и отрасли образования.** По уровню образования:

1. общее образование (дошкольное образование, начальное общее образование, основное общее образование, среднее общее образование, дополнительное образование детей)
2. профессиональное образование (начальное профессиональное образование, среднее профессиональное образование, высшее профессиональное образование, бакалавриат, подготовка специалистов, магистратура)
3. послевузовское профессиональное образование (аспирантура, докторантура, повышение квалификации, второе высшее образование)
4. профессиональная подготовка и переподготовка

Каждый уровень образования, в рамках данной классификации, отличается специфическими целями, требованиями к составу восприятия, внимания, мышления и т. д. Дополнительно возможно уточнение классификации по направлениям подготовки (специальностям).

**4 классификация — по методу реализации.** Рассмотрение имитаторов как технических средства обучения, применяемых в определенных методах обучения и реализованных в виде программно-аппаратного обеспечения, позволяет выделить основные виды (типы) имитаторов (таблица 1.2.).

Таблица 1.2. Виды (типы) имитаторов

Организационная форма обучения	Метод реализации	Вид(тип) имитатора
Лекции, семинары	программно-аппаратная реализация	имитатор для лекций и семинаров
Лабораторные работы (обучающий физический эксперимент)		имитатор для лабораторных работ
Курсовое проектирование		имитатор для курсового проектирования
Сертификация или аттестация		имитатор для сертификации/аттестации
Практикум		имитатор для практикума
Тренинг, повышение квалификации		имитатор для тренинга - тренажер

Таким образом были классифицированы области применения имитаторов на основе характеристик задач, решаемых в этой области.

Дальнейшая классификация выполняется с позиции практической программно-аппаратной реализации выделенных видов (типов) имитаторов. С этой точки зрения имитатор может быть рассмотрен уже как отдельный класс программного-аппаратного обеспечения, имеющий множество

отличительных признаков. Определение имитаторов как отдельного класса программного-аппаратного обеспечения в достаточной степени обосновано в диссертационной работе автора «Разработка системы автоматизированного проектирования компьютерных имитационных тренажеров». Это обоснование основывается, в первую очередь, на совмещении требований и ограничений, указанных в стандартах и спецификациях, имеющих прямое или косвенное отношение к имитаторам:

- распределенное имитационное моделирование (IEEE 1516) [104;103] [105;102], DIS, CAPE-OPEN, OPC;
- хранение и предоставление электронных образовательных ресурсов (IMS, ADL, LTSC, SCORM) [29;85;41;106];
- эргономические требования по работе с компьютерными системами отображения информации (ISO 9241, ISO 10075, ISO 13407) [113;111;112].
- ГОСТ 26387-84 "Система человек-машина. Термины и определения" [17], "Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы" [57;18] и др.

Определение имитаторов как отдельного класса программного-аппаратного обеспечения дает возможность перейти к их более детальной классификации по наиболее важным (для классификации) специфическим для данного обеспечения признакам:

1. по используемым средствам и методам взаимодействия обучаемого с имитатором;
2. по методу реализации механизма имитации;
3. по количеству агентов и их функциям;
4. по возможности объединения имитаторов в единую имитационную систему.
5. по возможности использования в LMS-системах (поддержка спецификации SCORM)

**5 классификация - по используемым средствам и методам взаимодействия обучаемого с имитатором.** Под взаимодействием в данном случае понимается процессы передачи на основные органы восприятия пользователя программно управляемых воздействий, а также процессы получения производимых пользователем действий для последующего обеспечения реалистичной реакции имитируемой среды. Для реализации этого взаимодействия в настоящее время применяются различные методы и аппаратные средства:

1. На основе стандартных средств ввода\вывода.
2. Полная или частичная копия рабочего места «в железе» (полномасштабные модели щитов управления и т. д.).
3. На основе систем формирования виртуальной реальности.

3.4. Подробное описание и отличительные особенности приведены в главе

## **6 классификация - по методу реализации механизма имитации.**

Под методами имитации понимается метод обеспечения генерации модели имитируемого процесса или оборудования. Генерация модели может быть реализована 2 способами:

1. программная реализация;
2. программно-аппаратная реализация.

Программная реализация обеспечивает генерацию модели имитируемого процесса или оборудования на основе только математической модели. Программно-аппаратная реализация обеспечивает генерацию модели имитируемого процесса или оборудования на основе математической модели и данных, получаемых с реальных датчиков.

**7 классификация - по количеству и функциям агентов.** Задачи обучения, решаемые с помощью имитатора, могут быть решены одним пользователем или могут требовать одновременной работы множества пользователей, как правило, выполняющих различные функции. В соответствии с этим возможна следующая классификация имитаторов:

1. одно-пользовательские;
2. многопользовательские;
3. многопользовательские с инструктором.

Имитаторы, рассчитанные на применение одним агентом, очевидно являются наиболее простыми в реализации (в рамках этой классификации). Такие имитаторы являются самыми многочисленными, т.к. большинство задач обучения, может быть успешно реализовано 1 человеком. Реализация одновременной работы множества агентов необходима в тех случаях, когда выполнение задачи подразумевает совместные действия агентов. Например, при обучении определенным действиям на буровой установке могут быть задействованы бурильщик, помощники бурильщика и т.д., реализующих различные функции. Также следует отметить тот факт, что агент в многопользовательских имитаторах — это не обязательно человек, в функции агента может исполнять и математическая модель, такие агенты называются виртуальными или искусственными.

Многопользовательские имитаторы с инструктором (как правило это тренажеры) отличаются от просто многопользовательских тем, что инструктор (количество инструкторов может быть различным), в отличие от других участников обучения, не участвует в выполнении задачи обучения, а выполняет совершенно другие функции, например:

- останов и повторный запуск тренажера;
- сохранение любой контрольной точки в качестве исходных начальных состояний для последующих тренировок;
- введение неисправностей, задаваемых инструктором во время тренировки или вводимых по заранее составленному сценарию;
- изменение граничных условий в ходе тренировки;
- протоколирование действий оператора и инструктора с возможностью вывода результатов на печать;

- контроль действий оператора инструктором с возможностью вмешательства в управление технологическим процессом;
- подача сигналов ложной тревоги, команд диспетчера, начальника и т.п.;
- изменение масштаба времени и т.д.

**8 классификация - по возможности объединения имитаторов в единую имитационную систему.** Возможность объединения различных имитаторов (в том числе разных производителей) в один комплекс дает возможность классификации, в соответствии с которой имитаторы могут быть:

1. с возможностью объединения;
2. без возможности объединения.

Создание множества отдельных, не связанных между собой тренажеров, закономерно породило необходимость перехода к большим распределенным имитационным системам, потенциал и эффективность которых неизмеримо выше. Объединив ряд уже имеющихся имитаторов, можно получить имитационную систему с принципиально новыми возможностями. В качестве примера можно привести следующее, например, имеется имитатор (тренажер) танка, самолета и командного пункта. Объединив эти имитаторы, можно получить систему имитации боя, которая может представлять интерес сама по себе, а также повторно использует возможности отдельных имитаторов. При этом не следует путать распределенные системы с многопользовательскими, например, имитатор может обеспечивать одновременную работу нескольких обучаемых, но не может быть связан с другими имитаторами.

Поскольку возможность объединения различных имитаторов в единую имитационную систему представляет значительный интерес, в данной работе приводится детальное рассмотрение используемых для этого технологий (глава 3.10., 4.6.)

**9 классификация - по возможности использования в LMS-системах (поддержка спецификации SCORM).** Данная классификация связана с вопросами практического внедрения имитаторов, такими как: облегчение поиска, рассмотрение и использование учебных объектов (в т.ч. имитаторов) учителями, инструкторами или автоматически процессами в ходе выполнения образовательных программ, а также облегчение совместного использования таких объектов путем создания каталогов и хранилищ. Наибольший интерес представляет инициативная группа прогрессивного распределенного обучения (Advanced Distributed Learning - ADL), основанная в 1997 г. министерством обороны США. Результатом выполнения этой программы стало создание ссылочной модели совместно используемых объектов образовательного контента - спецификация SCORM. 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, фактически, является де-

факто стандартом предоставления электронного образовательного контента. Поскольку возможность использования имитаторов в современных системах управления обучением (LMS) представляет значительный интерес, в данной работе приводится детальное рассмотрение указанной спецификации (глава 3.9., 4.7.)

Возможность использования имитаторов в современных системах управления обучением (LMS), т. е. поддержка спецификации SCORM, дает возможность классификации, в соответствии с которой имитаторы могут быть: с возможностью использования в LMS — системах; без возможности использования в LMS — системах. В результате классификацию можно представить графически (рисунок 1.1. - 1.4.).



Рисунок 1.1. Классификация имитаторов



Рисунок 1.2. Классификация имитаторов как структурного компонента процесса обучения

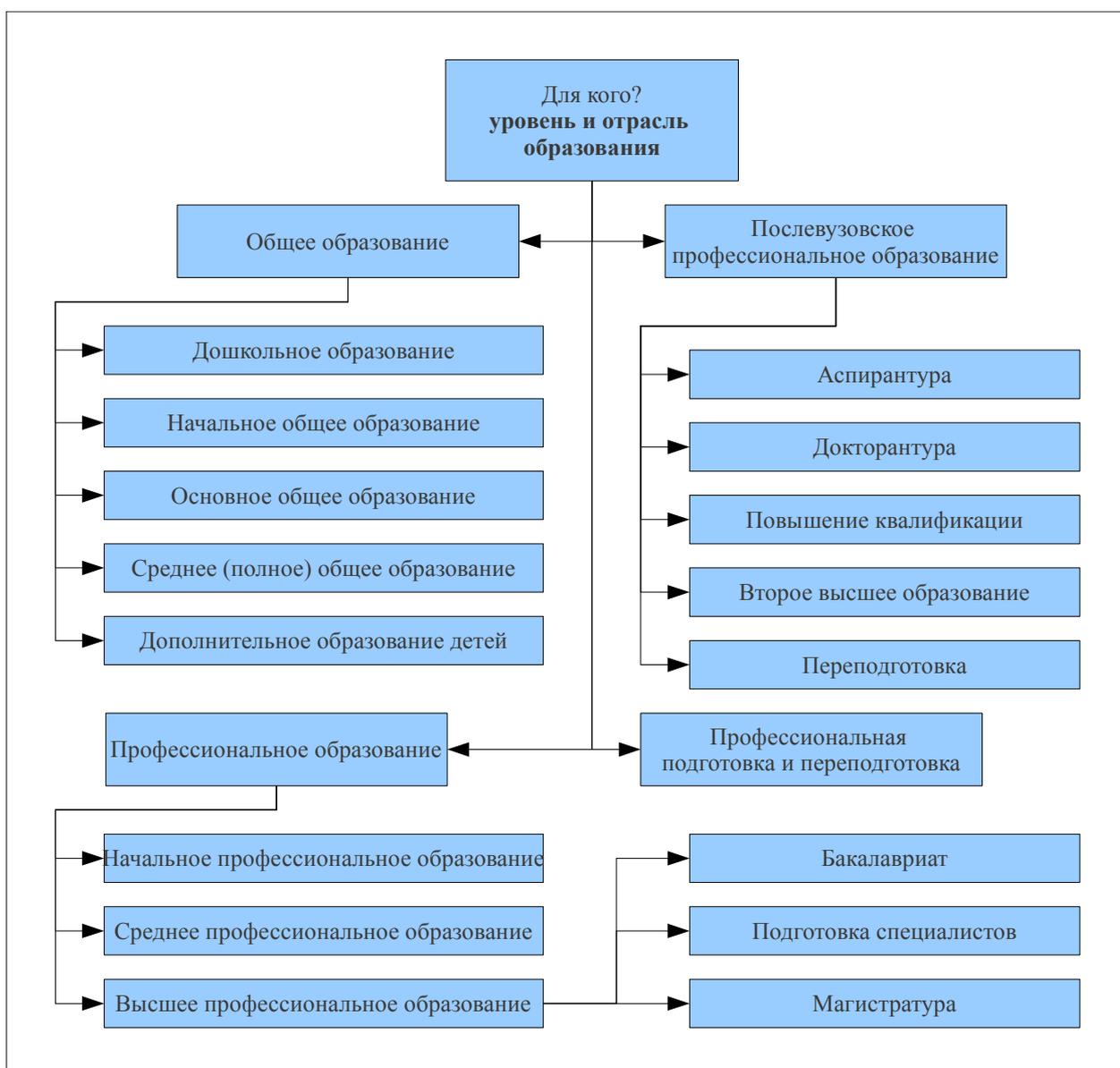


Рисунок 1.3. Классификация имитаторов по уровню и отрасли образования

Далее в главах 1.1 - 1.6. приводится анализ имитаторов, применяемых в различных уровнях образования и реализующих различные методы обучения, для демонстрации возможности использования выше определенной классификации на практике.

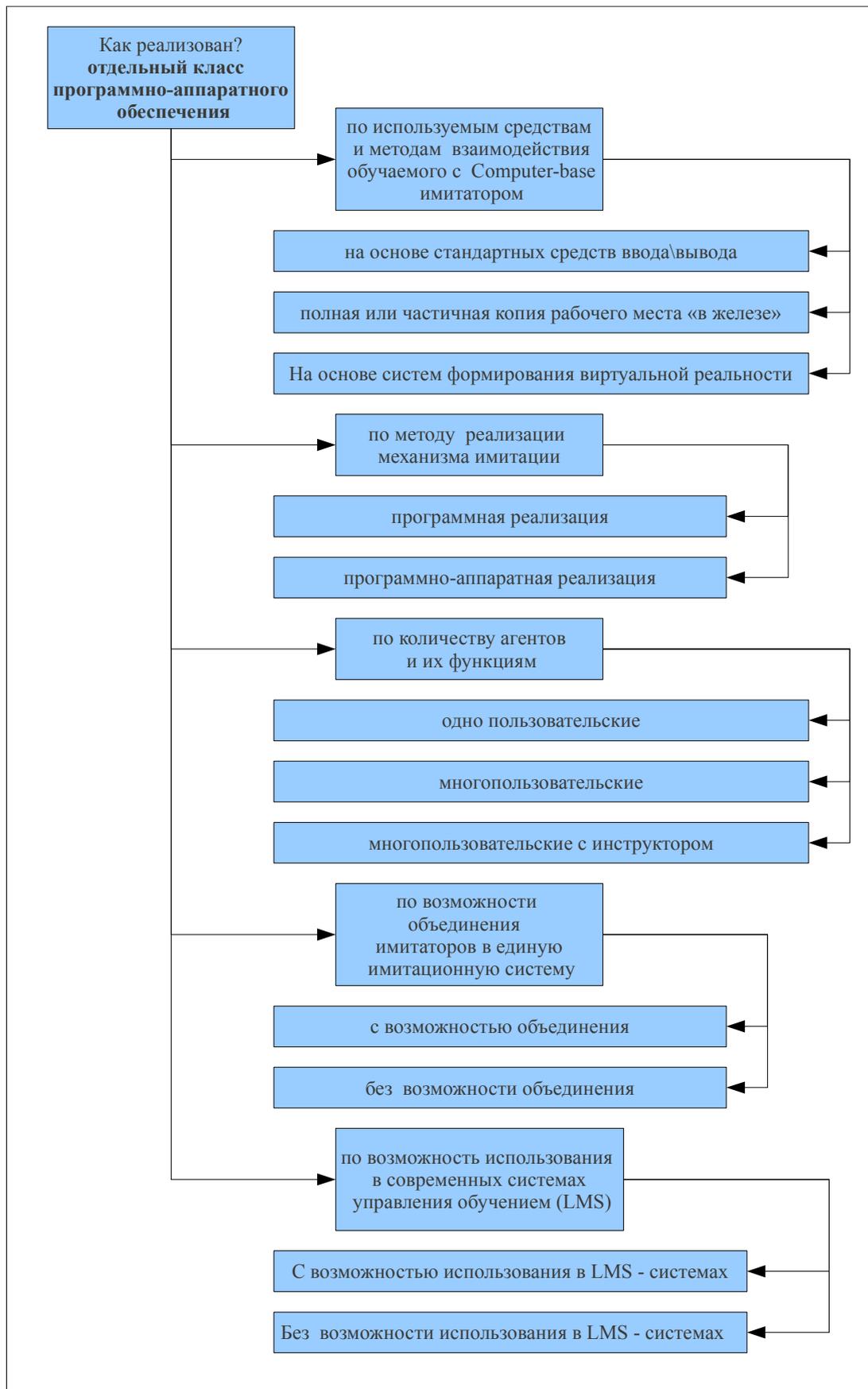


Рисунок 1.4. Классификация имитаторов как класса программно-аппаратного обеспечения

## 1.1. Имитаторы для задач тренинга и повышения квалификации (компьютерные тренажеры)

Тренажеры — единственный «регламентированный» вид имитаторов, в настоящий момент действуют следующие нормативные документы, касающиеся определения 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" [57;18]. 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, прочих не менее важных сервисных программ). При отсутствии хотя бы одной из указанных составляющих устройство уже не может называться тренажером.

Фактически, регламентируется применение тренажеров только на производстве. Частично использование тренажеров в таких отраслях как авиация, медицина, энергетика, нефтегазовая отрасль, военное дело и т.д. регламентировано в соответствующих отраслевых стандартах и других нормативных документах, 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 [93;76].

Первичными задачами, решаемыми при помощи тренажеров, являются:

- приобрести опыт эксплуатации и уверенность при выполнении операций управления технологической установкой, как при нормальных, так и аварийных условиях работы;
- опыт ликвидации различных отказов и сбоев.

Вторичными задачами являются:

- улучшить понимание теории и концепции технологической установки в целом;
- приобрести дополнительные знания о различных системах технологической установки, их функционировании и взаимодействии с другими системами и т.д.

Ключевой особенностью, отличающей данный тип имитаторов от других, является достаточно выраженная область методов обучения, т.е. цель

обучения, способ усвоения и характер взаимодействия субъектов обучения. Область методов обучения тренажеров близка к имитаторам для проведения практикума, за тем отличием, что для тренажеров более выражен процесс совершенствования у обучаемых профессиональных навыков и умений. Уточнение тренажера, как «инструмента формирования навыков, средства операционного, но не предметного обучения, тренажеры формируют навык посредством упражнений, по психологической структуре совпадающих с реальными действиями и обладающих специфическими целями, особым составом восприятия, внимания и мышления», используемое в работе [52] более точно обозначает разницу.

Отличие от других типов имитаторов по методу обучения достаточно очевидно и не нуждается в более подробном рассмотрении.

### 1.1.1. Тренажеры DRILLSIM 5000 и АМТ-221

DRILLSIM – 50, 500, 5000 (Drilling Systems, Inc) [132] – аппаратно-программный комплекс, имитирующий пульты и посты управления оборудованием, обвязку устья скважины и моделирующий состояние оборудования и скважины (Рисунок 1.1.1).



Рисунок 1.1.1. DRILLSIM 5000

Тренажер-имитатор бурения АМТ 221 (ЗАО АМТ, Санкт-Петербург) [77] предназначен для обучения буровых бригад и инженерного персонала нефтегазодобывающих предприятий, персонала противofонтанных частей и студентов буровых специальностей. Представляет собой аппаратно-программный комплекс (рисунок 1.1.2.), имитирующий пульты и посты

управления оборудованием, обвязку устья скважины и моделирующий состояние оборудования и скважины в процессах: углубки, спускоподъема, цементирования, ликвидации нефтегазопроявления в любых геолого-технологических условиях. Обеспечивает обучение оптимальному и безопасному выполнению технологических процессов:

1. Обучает распознаванию и предотвращению осложнений и аварий, ликвидации нефтегазопроявлений и выбросов.
2. Наличие макетов пультов и постов управления оборудованием современных буровых установок позволяет воспитать у обучаемых психо-моторные навыки работы.
3. Обеспечивает безопасные и повторяемые условия обучения. Повышает эффективность учебного процесса.



Рисунок 1.1.2. Вид аппаратно-программного комплекса АМТ 221

Классификация данных типов имитаторов:

<b>Признак</b>	<b>Классификация</b>
По средствам обучения.	Техническое средство обучения (ТСО).
По методам обучения.	Тренинг.
По используемым средствам и методам взаимодействия обучаемого с имитатором.	Полная или частичная копия рабочего места бурильщика.
По методу реализации механизма имитации.	Программно-аппаратная реализация.
По количеству агентов и их функциям.	Многопользовательские с инструктором.
По возможности объединения	Без возможности объединения.

имитаторов в единую имитационную систему.	
Возможность использования имитаторов в современных системах управления обучением (LMS).	Без возможности использования в LMS — системах.
По уровню и отрасли образования.	Профессиональная подготовка и переподготовка, высшее профессиональное образование, послевузовское профессиональное образование (повышение квалификации, переподготовка).

### 1.1.2. Тренажеры FORWARD.

Автотренажеры Forward (компания Мультисофт) предназначены для работы в российских автошколах. В конструкции используются все основные органы управления автомобилем и действующая приборная панель, а в качестве программного обеспечения установлена профессиональная версия учебного симулятора «3D Инструктор 2.0 Pro», специально адаптированная для работы в составе тренажера.



Рисунок 1.1.3. Тренажер FORWARD компании Мультисофт  
 Достоверная имитация рабочего места водителя и современное многофункциональное программное обеспечение предоставляют широкие

возможности по использованию тренажера в учебном процессе. Он позволяет:

- отработать использование органов управления автомобилем;
- выработать правильные физические навыки;
- изучить принципы управления машиной и правила поведения на дороге;
- потренироваться в выполнении учебных упражнений;
- выработать навыки поведения в экстремальной ситуации;
- провести детальный анализ ошибок после окончания сеанса вождения.

#### Классификация имитатора:

<b>Признак</b>	<b>Классификация</b>
По средствам обучения.	Техническое средство обучения (ТСО).
По методам обучения.	Тренинг.
По используемым средствам и методам взаимодействия обучаемого с имитатором.	Полная или частичная копия места водителя.
По методу реализации механизма имитации.	Программно-аппаратная реализация.
По количеству агентов и их функциям.	Одно пользовательские.
По возможности объединения имитаторов в единую имитационную систему.	Без возможности объединения.
Возможность использования имитаторов в современных системах управления обучением (LMS).	Без возможности использования в LMS — системах.
По уровню и отрасли образования.	Подготовка в автошколах.

## 1.2. Имитаторы для проведения лабораторных работ

Имитаторы для проведения лабораторных работ не «регламентированный» вид имитаторов, т.е. в настоящий момент не существует нормативных документов, касающихся их определения, областей применения и т.д.

Ключевой особенностью, отличающей данный тип имитаторов от других, является достаточно выраженная область методов обучения, т.е. цель обучения, способ усвоения и характер взаимодействия субъектов обучения [34;33;35;36;37;54]. Данный тип имитаторов реализует разновидность физического эксперимента - обучающий физический эксперимент, ставящий целью отработку основных приемов и технологий планирования и проведения эксперимента, включая его основные этапы: формулировка цели и задач исследований, определение способов и методов достижения цели, используемое оборудование и технологии. Это способ получения знаний, на основе процесса получения и обработки экспериментальных данных - количественных характеристик реальных физических величин, определяющих поведение исследуемого объекта, процесса или явления, подтверждающих или опровергающих сформулированные целевые функции проведения эксперимента.

Отличие от других типов имитаторов по методу обучения достаточно очевидно и не нуждается в более подробном рассмотрении.

### 1.2.1. Исследование КПД цилиндрического и червячного редуктора

Имитатор разработан в НИИ Электронных образовательных ресурсов ТюмГНГУ (<http://cde.tsogu.ru>) и внедрен в учебный процесс для проведения лабораторных работ, выполняемых в рамках учебной дисциплины “Детали машин”. Цель лабораторной работы – определение коэффициента полезного действия (кпд) редуктора двумя способами, «Экспериментальным» и «Расчетным». Для экспериментального способа имитируется стенд для испытания передач, возможности которого позволяют выполнять необходимое исследование кпд цилиндрического редуктора, а именно получать данные для построения графиков зависимости кпд:

- от скорости вращения  $n$ ;  $\eta = f(n)$ , при  $T = const$  ;
- от нагрузки  $T$ ;  $\eta = f(T)$ , при  $n = const$  ;
- от дополнительного параметра передачи, указываемого в задании на выполнение работы (сорта смазки, степени точности передачи, чисел зубьев колес, типа подшипников и т.п.). (Таблица 1.2.1, 1.2.2).

Затем выполняется исследование кпд «Расчетным» способом, т.е. определяется ориентировочное значение кпд редуктора по упрощенным формулам с использованием табличных значений кпд зубчатой

цилиндрической пары и пары подшипников, проводится анализ результатов, формируются выводы, подготавливается и защищается отчет.

Устройство и работа имитируемого стенда. Стенд смонтирован на плоском металлическом основании и состоит из узла электродвигателя с тахометром, испытуемого редуктора – он условно показывается в разрезе, нагрузочного устройства – ленточного тормоза. Узел электродвигателя смонтирован на литом кронштейне, закрепленном на основании стенда. Статор электродвигателя может свободно поворачиваться в шариковых подшипниках, установленных в литом кронштейне, относительно оси, общей с якорем электродвигателя. Вал якоря электродвигателя одним концом соединен через муфту с входным валом редуктора. На лицевой стороне литого кронштейна смонтировано измерительное устройство, состоящее из рычага, штока и датчика с пружиной. При включении электродвигателя реактивный момент статора (равный по абсолютному значению моменту на валу якоря) поворачивает статор. Рычаг, закрепленный на статоре, упирается в подпружиненный шток датчика, который и удерживает статор от поворота. Сигнал от этого датчика для измерения крутящего момента, передаваемого с двигателя на редуктор, после обработки отображается на левом стрелочном приборе (“Момент двиг.”) и числовым индикатором Тдв. Так на стенде измеряется крутящий момент, передаваемый с двигателя на редуктор.

Испытуемый редуктор состоит из двух цилиндрических передач. Его корпус условно сделан из полупрозрачного материала и показывается в разрезе.

Нагрузочное устройство представляет собой ленточный тормоз и служит для создания рабочей нагрузки на редуктор – тормозного момента на его выходном валу. Величина тормозного момента задаётся тумблером–регулятором нагрузки. При этом сильнее или слабее растягивается пружина, что видно и на мониторе.

В левой части стенда установлена панель с органами управления: Выключатель питания стенда; Тумблер-регулятор частоты вращения двигателя; Тумблер-регулятор нагрузки (крутящего момента тормоза).

Измерительные приборы: стрелочные приборы (“Момент двигателя”, “Мощность двигателя” и “Обороты тормоза”); приборы цифровой индикации (“ $n_{дв}$  – обороты двигателя”, “ $T_{дв}$  – момент двигателя”, “ $P_{дв}$  – мощность двигателя”, “ $n_{торм}$  – обороты тормоза”, “ $T_{торм}$  – момент тормоза”).

Таблица 1.2.1. Техническая характеристика виртуального стенда (для цилиндрического редуктора)

Характеристика испытываемых редукторов		
Тип редуктора	Двухступенчатый цилиндрический соосный	
Межосевое расстояние	$a_w = (90 \div 160)$ мм	
Числа зубьев зубчатых колес	первой ступени второй ступени	$z_1 = (30 \div 35), z_2 = (60 \div 65);$ $z_1 = (20 \div 35), z_2 = (40 \div 50).$

Ширина колеса	первой ступени	$b_{12} = (16 \div 60)$ мм;
	второй ступени	$b_{23} = (20 \div 80)$ мм.
<b>Характеристика электропривода</b>		
Частота вращения вала электродвигателя (входного вала редуктора)		$n_1 = (500, 1000, 1500, 2000, 2500 \text{ и } 3000)$ об/мин
Максимальный крутящий момент на валу двигателя		$T_1 = 15 \text{ Н*м}$
<b>Характеристика нагрузочного устройства</b>		
Тормозной момент на барабане ленточного тормоза (Его можно изменять только дискретно с шагом 1 Н*м)		$T_2 = (0 \div 40) \text{ Н*м}$

Таблица 1.2.2. Варианты заданий на проведение испытаний и исследования цилиндрического редуктора

Параметры редуктора	В а р и а н т							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Межосевое расстояние $a_w =$	100	<b>100</b>	125	125	140	140	160	160
Числа зубьев колёс:								
Шестерни 1-ой ступени $z_1 =$	30	<b>35</b>	30	35	30	33	30	31
Колеса 1-ой ступени $z_2 =$	60	<b>65</b>	60	63	63	60	61	60
Шестерни 2-ой ступени $z_1^* =$	25	<b>22</b>	22	20	25	20	21	24
Колеса 2-ой ступени $z_2^* =$	42	<b>50</b>	50	42	45	42	50	40
Ширина колеса:								
1-ой ступени $b_{12} =$	20	30	20	30	<b>20</b>	50	25	50
2-ой ступени $b_{23} =$	30	50	30	60	<b>30</b>	70	40	80
Степень точности редуктора	6	7	8	9	<b>6</b>	7	8	9
Тип подшипников	Ш	Ц	К	Ш	<b>Ц</b>	К	Ш	К
Кинематическая вязкость масла ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) $\nu =$	$10^{-5}$	$20 \cdot 10^{-6}$		<b><math>30 \cdot 10^{-6}</math></b>		$50 \cdot 10^{-6}$		$10^{-5}$
Специальный вопрос:  Исследовать влияние на КПД	степени точности редуктора	типа подшипников	вязкости масла	ширины колес первой ступени	<b>ширины колес второй ступени</b>	межосевого расстояния	ступени чисел зубьев колес первой ступени	ступени чисел зубьев колес второй ступени

(Тип подшипников: Ш – Шариковые, Ц – с Цилиндрическими роликами, К – с Коническими роликами)

Имитатор позволяет производить быструю конфигурацию исследуемого редуктора (указанных параметров).

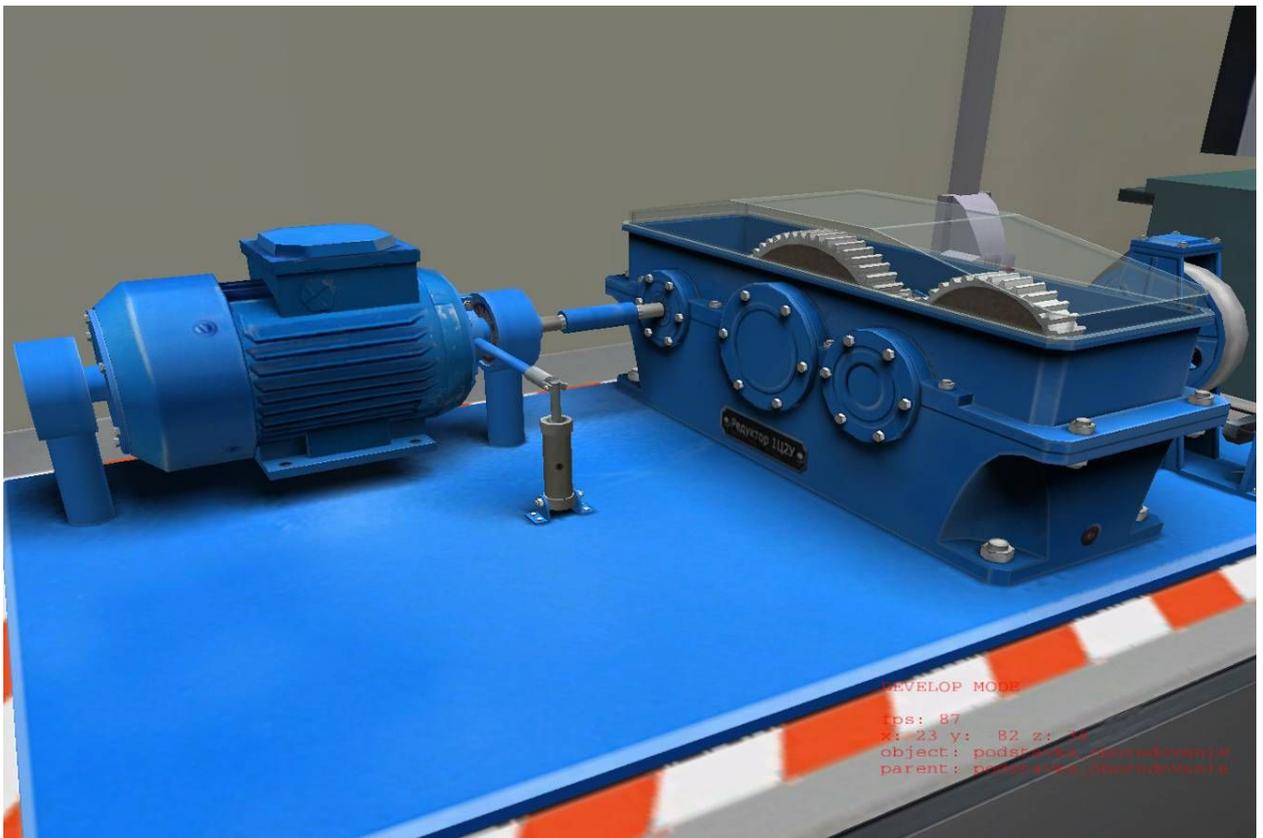


Рисунок 1.2.1. Виды рабочего экрана программы

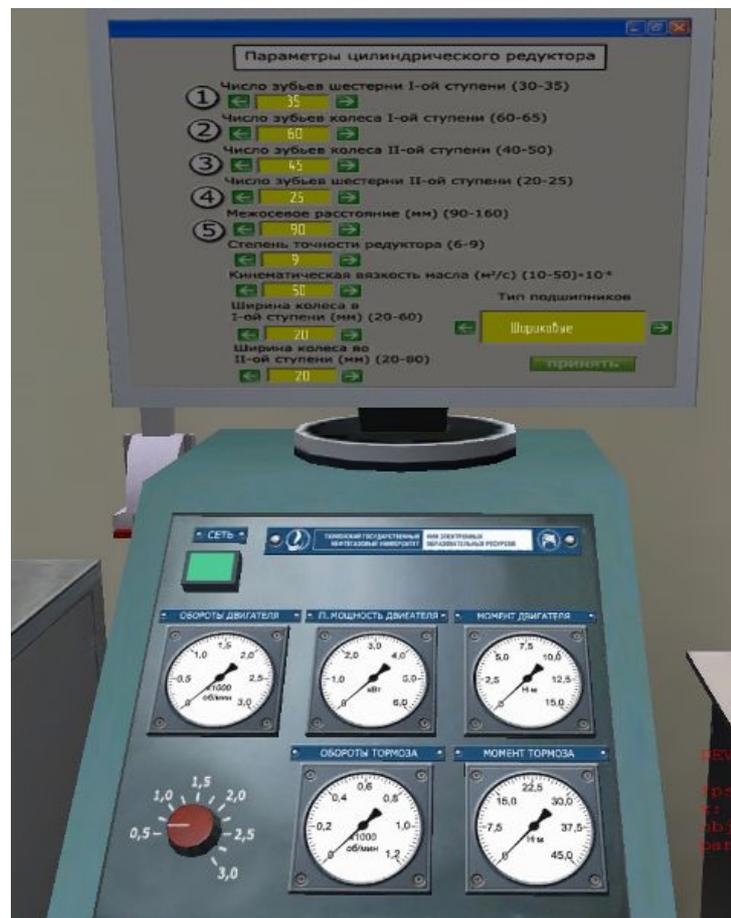


Рисунок 1.2.2. Виды рабочего экрана программы — ввод параметров исследуемого редуктора

### 1.2.2. Испытания образцов на выносливость при изгибе с вращением

В процессе изучения дисциплины "Эксплуатация и ремонт машин и оборудования" студенты специальности "Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов" должны изучить характеристики сопротивления усталостному разрушению металлов, оценить влияние на них конструктивных и технологических факторов, уметь проводить соответствующие усталостные испытания и обрабатывать получаемые при этом статистические данные.

Проведение усталостных испытаний - длительный и трудоемкий процесс, особенно это касается исследований по влиянию на предел выносливости анализируемых факторов. Достаточно отметить, что на построение кривой усталости при ряде величин вероятности неразрушения может уходить до трех лет испытаний образцов. Поэтому в Вузах практически лабораторный практикум по испытанию на выносливость образцов, даже при наличии необходимого оборудования, не проводится.

Ситуация принципиально может быть изменена в случае использования в процессе изучения как вышеотмеченной дисциплины, так и дисциплин общетехнических («сопротивление материалов», «детали машин») имитатора работы машин усталостных испытаний с соответствующим программным обеспечением по моделированию усталостного разрушения образцов. Такой имитатор в Тюменском государственном нефтегазовом университете создан в результате совместной работы специалистов кафедры "Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности" и НИИ ЭОР ТюмГНГУ.

Цель лабораторной работы - изучение методики испытаний на усталость образцов с тороидальной рабочей частью в условии изгиба с вращением, для чего решаются следующие задачи:

- провести усталостные испытания образцов с тороидальной рабочей частью в условиях изгиба с вращением;
- определить предел выносливости образцов и материала, заданного преподавателем;
- по заданию преподавателя проанализировать влияние на предел выносливости материала образцов, его твердости, шероховатости рабочей части;
- провести регрессионный анализ данных испытаний, определить статистические характеристики предела выносливости и построить доверительные границы кривой усталости.

Для решения указанных задач используется имитатор машины усталостных испытаний МУИ-6000, предназначенной для испытания вращающихся цилиндрических образцов при чистом изгибе с максимальным изгибающим моментом 500 кГ·см (49 Н·м). Рассматриваемый имитатор моделирует испытания в условиях изгиба при вращении цилиндрических образцов с тороидальной рабочей частью. После задания геометрии образца, шероховатости его рабочей части и прочностных характеристик материала,

образец устанавливается на МУИ-6000 (рисунок 1.2.3). Путем "подвешивания" соответствующих грузов задается величина амплитуды напряжений в рабочей части образца. После включения двигателя осуществляется испытание образца на выносливость до разрушения. Существует возможность изменять «масштаб времени», что позволяет производить длительные испытания за 1 академический час.

Математическое обеспечение предусматривает решение различных задач исследования усталости. При моделировании учитывается случайная природа усталостного разрушения образцов.

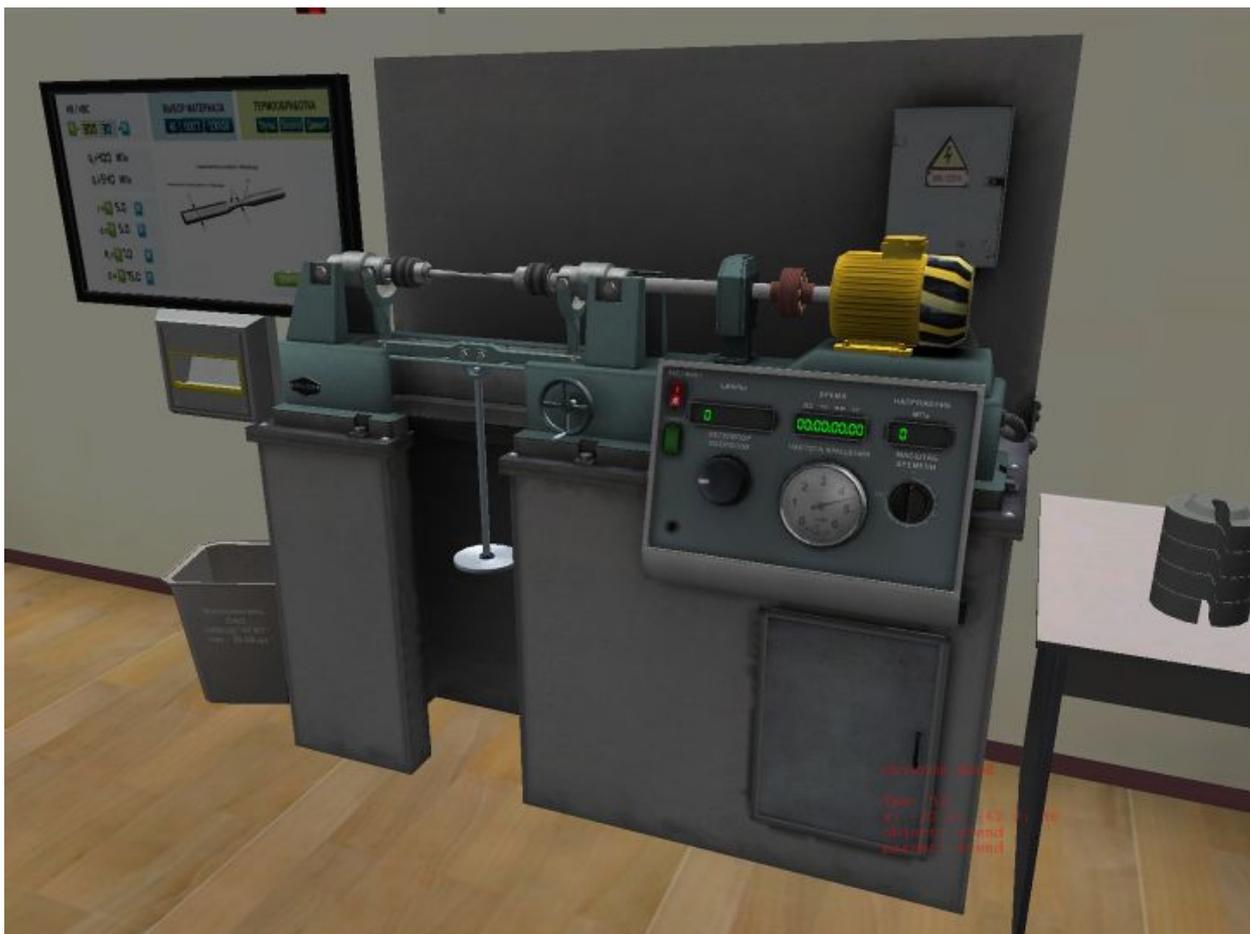


Рисунок 1.2.3. Вид рабочего экрана программы

Признак	Классификация
По средствам обучения	Техническое средство обучения (ТСО)
По методам обучения	Имитаторы для проведения лабораторных работ
По используемым средствам и методам взаимодействия обучаемого с имитатором	На основе стандартных средств ввода\вывода, на основе систем формирования виртуальной реальности

По методу реализации механизма имитации	Программная реализация
По количеству агентов и их функциям	Одно-пользовательские
По возможности объединения имитаторов в единую имитационную систему	Без возможности объединения
Возможность использования имитаторов в современных системах управления обучением (LMS)	С возможностью использования в LMS - системах
По уровню и отрасли образования	Высшее профессиональное образование

## **1.3. Имитаторы для проведения практикума**

Имитаторы для проведения практикума также не являются «регламентированным» видом имитаторов, т.е. в настоящий момент не существует нормативных документов, касающихся их определения, областей применения и т.д.

Ключевой особенностью, отличающей данный тип имитаторов от других, является достаточно выраженная область методов обучения, т.е. цель обучения, способ усвоения и характер взаимодействия субъектов обучения. Данный тип имитаторов используется при практическом изучении устройства, принципа работы, наладки, регулировки оборудования, характерного для осваиваемой профессии. Область методов обучения имитаторов для проведения практикума близка к тренажерам, за тем отличием, что более выражен процесс формирования, а не совершенствования у обучаемых профессиональных навыков и умений, т.е. более выражено предметное, а не операционное обучение. Не менее значимым отличием является и тот факт, что данные имитаторы используются не на производстве, и, как правило, не содержат такие важные для тренажеров части - конструктивную (точную копию рабочего места оператора) и дидактическую (рабочее место инструктора с программой оценки и контроля действий оператора и прочих не менее важных сервисных программ). Отличие от других типов имитаторов по методам обучения более выражено, и, очевидно, не нуждается в подробном рассмотрении.

### **1.3.1. Изучение методики проведения балансировки ротора центробежного насоса**

В системе трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов широко используются центробежные насосные агрегаты типа НМ. Одной из основных причин остановки магистральных насосных агрегатов является повышенная вибрация. На их долю приходится до 37% отказов. В большинстве случаев одним из факторов, вызывающих вибрацию центробежных насосных агрегатов является действие неуравновешенных масс движущихся деталей машины. Для предупреждения вибрации подобного типа применяют различные способы, одним из которых является динамическая балансировка.

Цель данного имитатора – изучение методики проведения балансировки ротора центробежного насоса. Решаемые задачи - провести балансировку ротора магистрального насоса НМ10000-210 и РНМ10000, вычислить и устранить дисбаланс ротора до значения допуска остаточной неуравновешенности для данного ротора. Для решения указанных задач имитируется балансировочный прибор модели ВВ020Р "Аметист", который представляет собой стационарный микропроцессорный балансировочный прибор. Прибор "Аметист" позволяет измерять вибрацию по двум каналам, производить расчет коэффициентов влияния, корректирующих грузов и

остаточной неуравновешенности, а в комплекте с датчиком угла производить отсчет угла поворота ротора. В комплектацию прибора также входят два взаимозаменяемых фотоэлектрических датчика синхронизирующего сигнала, обеспечивающие формирование опорного сигнала при измерении частоты вращения ротора, синхронном запуске измерения амплитуды/фазы, запуске отсчета угла поворота ротора. В прибор "Аметист" вмонтировано портативное печатающее устройство с матричной головкой, позволяющее выводить данные роторов и результаты балансировки на бумагу.



Рисунок 1.3.1. Фотография оборудования

Назначением прибора является динамическая балансировка различных типов роторов массой до 150 тонн на станках или в собственных опорах в диапазоне скоростей 60-1500 об/мин. Установочные данные роторов, коэффициенты влияния, данные последних пяти пусков, а также протокол балансировки могут быть записаны в долговременную память для последующего хранения, просмотра или распечатки.

Встроенная в прибор программа дает возможность рассчитывать корректирующие массы по данным пробных пусков и по известным коэффициентам влияния (уравновешивание за один пуск). В программе предусмотрены опции векторного сложения и разложения, применяемые для получения массы и угла установки суммарного груза, для расчета разложения корректирующей массы по дискретным углам установки. Программа рассчитывает корректирующие массы по методу коэффициентов влияния в

линейной постановке задачи. На сегодня это самый совершенный из опробованных методов. Он успешно применяется для уравнивания роторов, как в собственных опорах, так и на балансировочных станках.



Рисунок 1.3.2. Вид рабочего экрана программы.



Рисунок 1.3.3. Вид рабочего экрана программы.

Работа выполнена по рекомендации и на базе материалов, предоставленных Тюменским Ремонтно-механическим заводом ОАО «Сибнефтепровод» АК «Транснефть». Внедрена в учебный процесс ТюмГНГУ, а также внедрена в процесс подготовки специалистов ОАО «Сибнефтепровод».

<b>Признак</b>	<b>Классификация</b>
По средствам обучения	Техническое средство обучения (ТСО)
По методам обучения	Имитаторы для проведения практикума
По используемым средствам и методам взаимодействия обучаемого с имитатором	На основе стандартных средств ввода\вывода, на основе систем формирования виртуальной реальности
По методу реализации механизма имитации	Программная реализация
По количеству агентов и их функциям	Одно пользовательские
По возможности объединения имитаторов в единую имитационную систему	Без возможности объединения
Возможность использования имитаторов в современных системах управления обучением (LMS)	С возможностью использования в LMS - системах
По уровню и отрасли образования	Высшее профессиональное образование, Повышение квалификации

## **1.4. Имитаторы для задач курсового проектирования**

Имитаторы для задач курсового проектирования не являются «регламентированным» видом имитаторов, т.е. в настоящий момент не существует нормативных документов, касающихся их определения, областей применения и т.д.

Ключевой особенностью, отличающей данный тип имитаторов от других, является достаточно выраженная область методов обучения, т.е. цель обучения, способ усвоения и характер взаимодействия субъектов обучения. Данный тип имитаторов используется при обучении применению полученных знаний при решении комплексных задач, связанных со сферой деятельности будущих специалистов, как правило применяется на заключительном этапе изучения учебного предмета; результатом является написанная курсовая работа или курсовой проект. Отличие от других типов имитаторов по методов обучения более выражено, и, очевидно, не нуждается в подробном рассмотрении.

### **1.4.1. Компрессорная установка 4ВУ1-5/9**

В качестве примера рассмотрим созданную в НИИ ЭОР ТюмГНГУ распределенную тренажерную систему компрессорной установки 4ВУ1-5/9. Цель данной работы – практическая автоматизация системы управления поршневым воздушным компрессором 4ВУ-1-5\9 - обеспечение автоматического режима работы компрессора. Автоматизация технологического процесса - это совокупность методов и средств, предназначенная для реализации системы или систем, позволяющих осуществлять управление самим технологическим процессом без непосредственного участия человека, либо оставления за человеком права принятия наиболее ответственных решений. Основными целями автоматизации компрессорной установки, как технологического процесса являются повышение эффективности и безопасности производственного процесса. Для реализации этих целей необходимо решить следующие задачи: улучшение качества регулирования, повышение коэффициента готовности оборудования, улучшение эргономики труда операторов процесса, хранение информации о ходе технологического процесса и аварийных ситуациях и т. д.

Автоматизация системы управления поршневым воздушным компрессором 4ВУ-1-5\9 предполагает выполнение множества действий. При понижении давления в воздухохборнике до минимального производить пуск компрессора, т. е. включить магнитный пускателя для запуска электродвигатель компрессора, отключить электромагнитный вентиль продувки и электромагнитный вентиль, управляющий перепуском (разгрузкой) II ступени, включить счетчик моточасов, лампу, сигнализирующую о включении электродвигателя компрессора. Компрессор работает на наполнение воздухохборника.

Автоматическая остановка компрессора (при выборе режима регулирования «пуск-останов») с повышением давления воздуха в воздухохоборнике до максимальной необходимо замыкание контактов реле давления, замыкание цепь питания реле пуска, отключение магнитного пускателя, включения электромагнитного вентиля управляющего перепуском. Происходит автоматическая остановка компрессора с включением продувки и разгрузки. Вентили остаются включенными в течение времени бездействия компрессора и выключаются после очередного автоматического пуска компрессора.

При регулировании производительности в режиме «перепуск» необходимо обеспечить при достижении давления воздуха в воздухохоборнике до максимального замыкание контактов реле давления, включение питания катушек электромагнитных вентилей продувки и разгрузки. Начинается работа компрессора на перепуск. При понижении давления в воздухохоборнике до минимального необходимо включение компрессора для заполнения воздухохоборника.

Также необходимо реагировать на внештатные и аварийные ситуации, при повышении температуры воздуха после I ступени до значения уставки замыкаются контакты термометра манометрического, необходимо включить лампу, сигнализирующую о перегреве I ступени компрессора, включить звонок, отключить реле пуска, обеспечить остановку компрессора с включением продувки и разгрузки. Отработать ситуацию снятия аварийного сигнала и блокировки с местного щита управления и т.д.

Для возможности практической автоматизация системы управления поршневым воздушным компрессором (в т.ч. для задач курсового проектирования) был создан имитатор, представляющий собой распределенную систему имитации, включающую как программную реализацию (рисунок 1.4.1.), так и средства ввода вывода, контроллер и другие необходимые средства. Возможности рассматриваемого имитатора позволяют управлять технологическими параметрами, режимами работы установки, определять её техническое состояние, определять пути повышения подачи, экономичности и безопасности работы компрессора и вспомогательного оборудования. Студенту доступна информация с датчиков: температуры и давления после каждой ступени сжатия и каждого промежуточного холодильника, температуры и давления в воздухохоборнике (ресивере); действительная производительность компрессора по показаниям расходомера; 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 многих факторов, входными данными также являются: барометрическое давление всасываемого атмосферного воздуха; температура всасываемого атмосферного воздуха; относительная влажность всасываемого атмосферного воздуха; напряжение, подаваемое на двигатель; коэффициенты, характеризующие возможные неисправности и т.д.

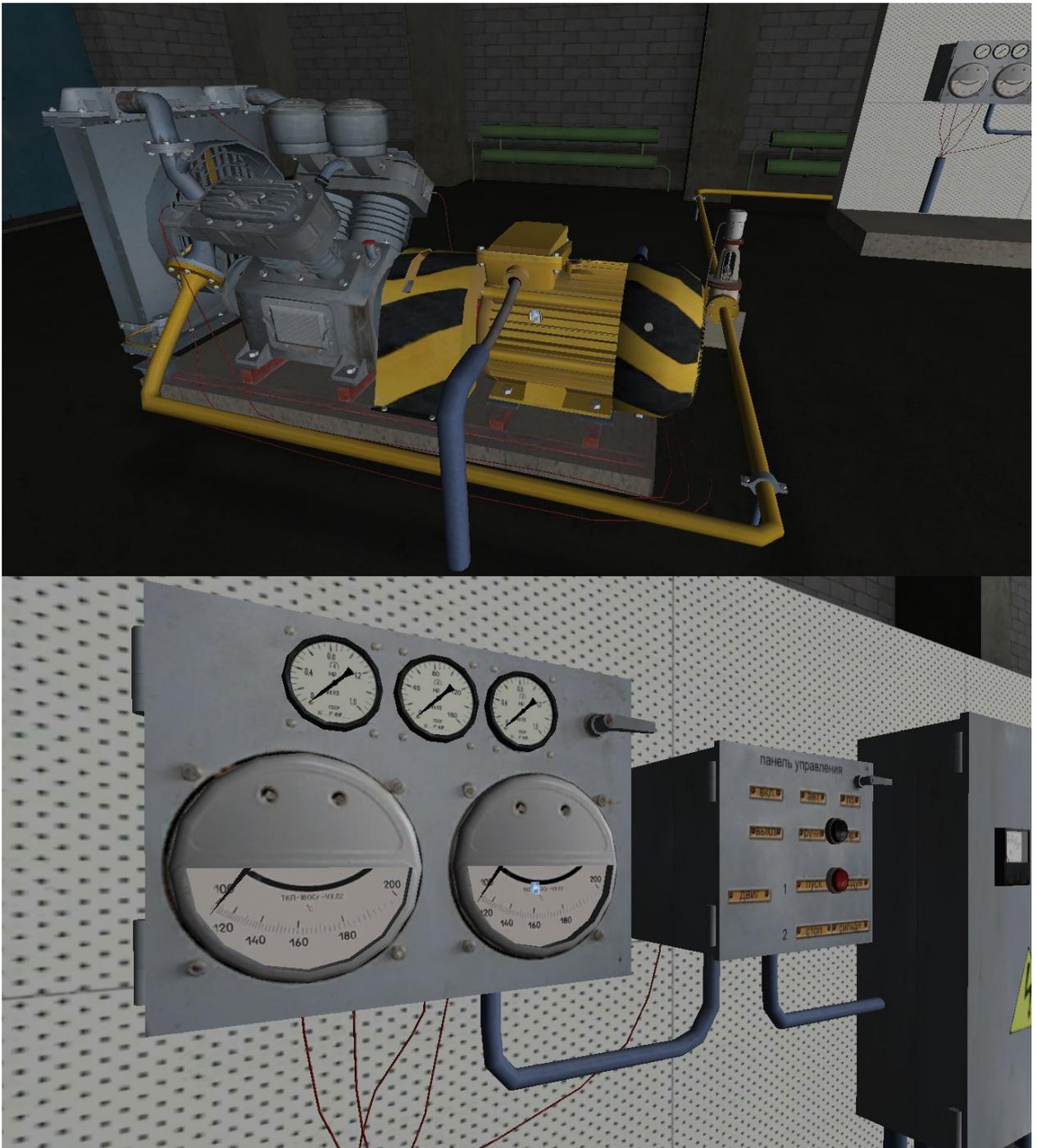


Рисунок 1.4.1. Вид компрессора, щита приборов, управления и сигнализации

После определения состава имитируемого оборудования, номенклатуры входных и выходных данных, студент производит программирование контроллера путем получения данных (по реальным проводам) с имитируемого оборудования и управлением доступными ему устройствами (по реальным проводам). Имитатор обеспечивает имитацию следующих датчиков: давление в воздухохранильнике, показания расходомера; температура на первой и второй ступени; давление на первой и второй ступени; обороты электродвигателя, температура масла в картере и т.д. Обеспечивается управление магнитным пускателем для запуска электродвигателя компрессора, электромагнитными вентилями продувки и перепуска, счетчик

моточасов, сигнальные лампы, реле давления, звонок. Возможно использование местного щита управления. В процессе работы с имитатором студент имеет возможность изучать схему станда, процедуру управления компрессором, режимы регулирования, проверку системы предохранительных клапанов и т.д.

Указанные возможности обеспечиваются использованием достаточно сложной математической модели, выполняемой в среде LabVIEW[15]. Математическая модель учитывает температуру масла в картере; обороты вала; относительный объем мертвого пространства цилиндров; процент охлаждения воздуха в теплообменнике; показатель процесса расширения в мертвом пространстве; механический КПД компрессора; передаточное число вентилятора; КПД передачи; мощность вентилятора; коэффициент перепуска 1-ой и 2-ой ступени; состояние предохранительных клапанов ступеней; диаметр поршня 1-ой и 2-ой ступени; длину хода поршня 1-ой и 2-ой ступени; давление на входе в компрессор; давление на выходе из 1-ой ступени; температуру на входе в 1-ую ступень; учёт потерь, обусловленных созданием всасывания; давление на входе с 1-ой ступени; давление на выходе из 2-ой ступени; минимальное давление открытия перепускного клапана и т. д.

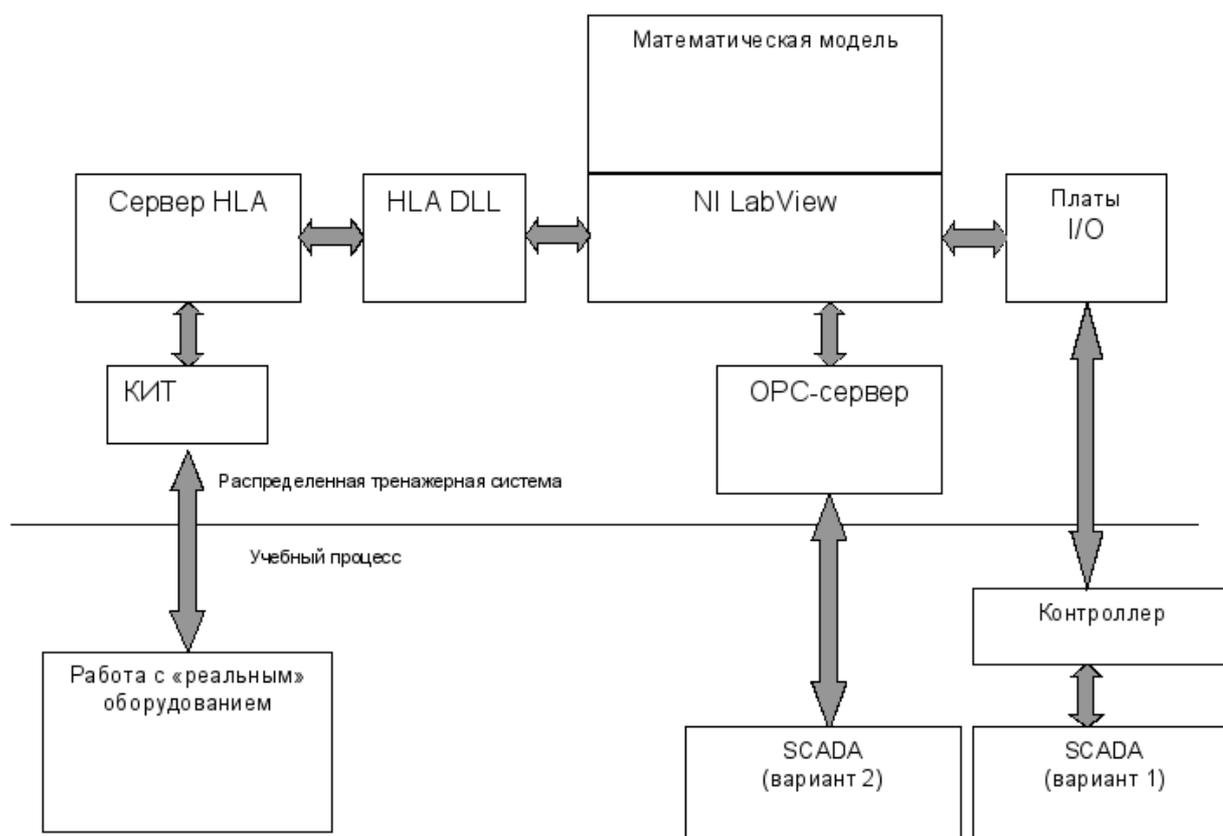


Рисунок 1.4.2. Схема взаимодействия

Особенностью созданного имитатора является возможность проводить работу при различных состояниях атмосферного воздуха (влажность, температура, давление), что позволяет оценивать его влияние на

производительность, потребляемую мощность и т.д. Кроме того, обучаемый имеет возможность проводить работу при экстремальных и аварийных режимах. Указанные возможности имитатора позволяют успешно использовать его в лабораторном практикуме и курсовых проектах по дисциплинам “Введение в SCADA-системы“, “Микропроцессорные системы автоматизации и управления“, “Передача данных в информационно-управляющих системах“, ”Автоматизированное управление в технических системах с применением SCADA-систем” и т.д., дополняя традиционные способы проведения таких работ. Общий вид имитационной системы для автоматизации компрессорной установки на базе контроллеров фирмы National Instruments приведен на рисунках 1.4.2. и 1.4.3. соответственно.

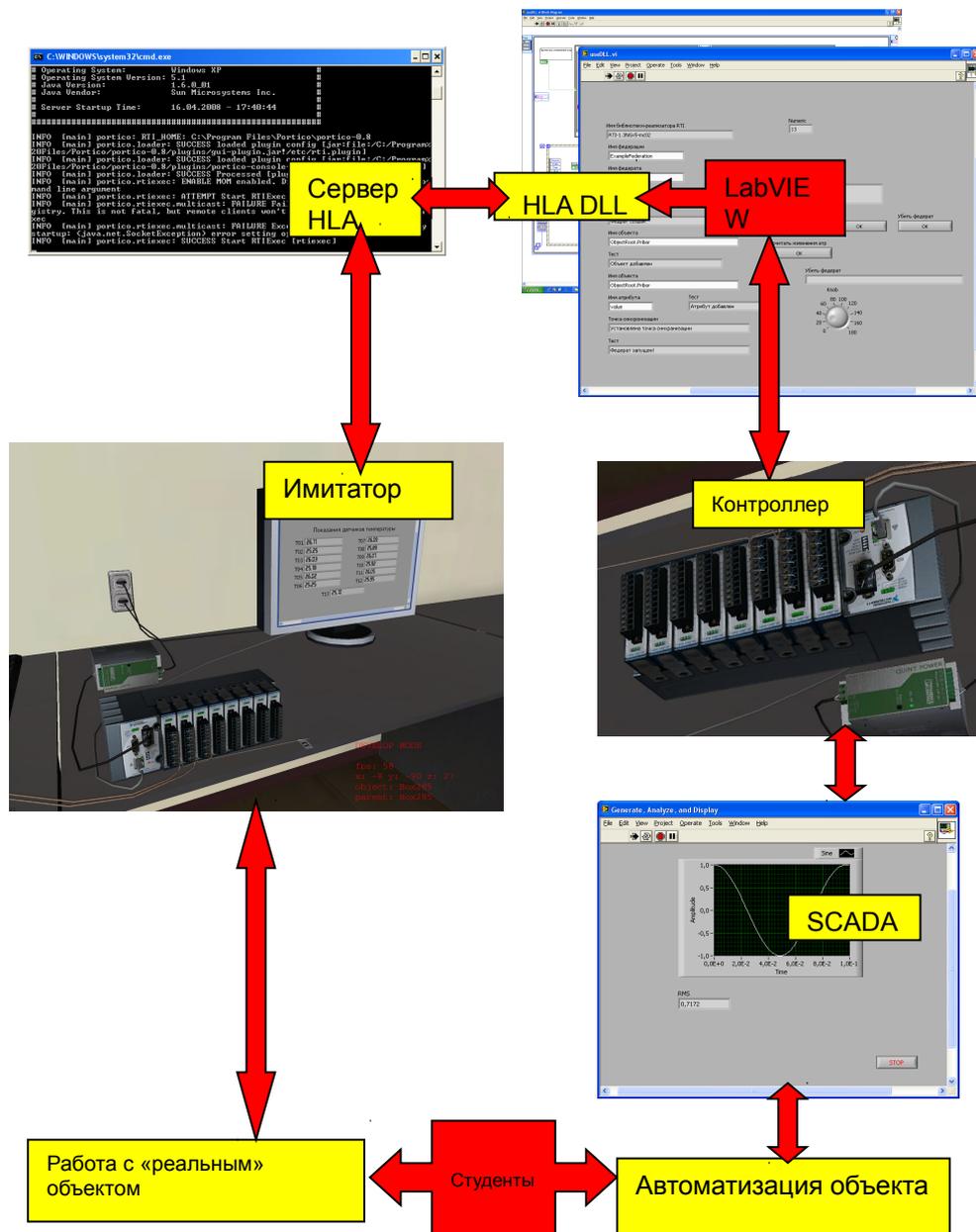


Рисунок 1.4.3.

Используемый при создании этого имитатора подход позволяет проектировать распределенные имитационные системы практически любой сложности, с возможностью одновременной работы большого количества

пользователей, выполняющих различные функции. Например, возможна совместная работа инструкторов (задающих производственные сценарии), операторов объектов (принимающих решения и осуществляющих управление), диспетчеров производства, механиков, инженеров по автоматизации и т.д., что открывает совершенно новые возможности как при переподготовке специалистов на производстве, так и при обучении студентов в вузе. Подробная информация по распределенным имитационным системам содержится в главе 4.6.

<b>Признак</b>	<b>Классификация</b>
По средствам обучения	Техническое средство обучения (ТСО)
По методам обучения	Имитаторы для задач курсового проектирования
По используемым средствам и методам взаимодействия обучаемого с имитатором	На основе стандартных средств ввода\вывода, на основе систем формирования виртуальной реальности
По методу реализации механизма имитации	Программно-аппаратная реализация
По количеству агентов и их функциям	Одно пользовательские
По возможности объединения имитаторов в единую имитационную систему	С возможностью объединения
Возможность использования имитаторов в современных системах управления обучением (LMS)	Без возможности использования в LMS - системах
По уровню и отрасли образования	Высшее профессиональное образование, Повышение квалификации

## **1.5. Имитаторы для проведения сертификации и аттестации**

Имитаторы для проведения практикума не являются «регламентированным» видом имитаторов, т.е. в настоящий момент не существует нормативных документов, касающихся их определения, областей применения и т. д. Исключением являются некоторые страны (США, Англия (Шотландия)), где существуют нормативные рекомендации по использованию имитаторов (тренажеров) в качестве инструмента оценки профессионального уровня персонала.

Ключевой особенностью, отличающей данный тип имитаторов от других, является достаточно выраженная область методов обучения, т.е. цель обучения, способ усвоения и характер взаимодействия субъектов обучения. Данный тип имитаторов используется как педагогический тест — инструмент, предназначенный для измерения обученности учащегося, и состоящий из системы тестовых заданий, стандартизированной процедуры проведения, обработки и анализа результатов. Тестирование выполняет три основные взаимосвязанные функции: диагностическую, обучающую и воспитательную.

Область методов обучения имитаторов для проведения сертификации и аттестации близка к тренажерам и практикумам, за тем отличием, что более выражен процесс не формирования или совершенствования у обучаемых профессиональных навыков и умений, а их оценка и диагностика. Отличие от других типов имитаторов по методу обучения более выражено, и, очевидно, не нуждается в подробном рассмотрении.

### **1.5.1. Компрессорный цех по перекачке газа**

Несмотря на то, что рассматриваемый имитатор, разработанный и используемый в ООО «Газпром трансгаз Югорск» является многофункциональным, и решает множество задач, в данной главе будет рассмотрена только задача проведения сертификации и аттестации.

Цель данного имитатора - обход оборудования по различным схемам, обнаружение неисправностей оборудования (рисунок 1.5.1.), доклад сменному инженеру о неисправностях (рисунок 1.5.2.), устранение неисправностей. Для решения указанных задач имитируется компрессорный цех по перекачке газа - компрессорные установки, очистное оборудование, охладительное оборудование, пожарный пункт, подогреватели и другое оборудование, в т.ч.: пожарный гидрант, пожарная насосная, подогреватели топливного и пускового газа, узел подготовки топливного и импульсного газа, емкости сбора конденсата, пылеуловители, емкости ГСМ, насосная ГСМ, краны гитары, отсеки нагнетателей ГПА, отсеки двигателей ГПА, АВО масла, блок АСПТ и т. д. (рисунок 1.5.3., 1.5.4.)



Рисунок 1.5.1. Подогреватель топливного газа №1

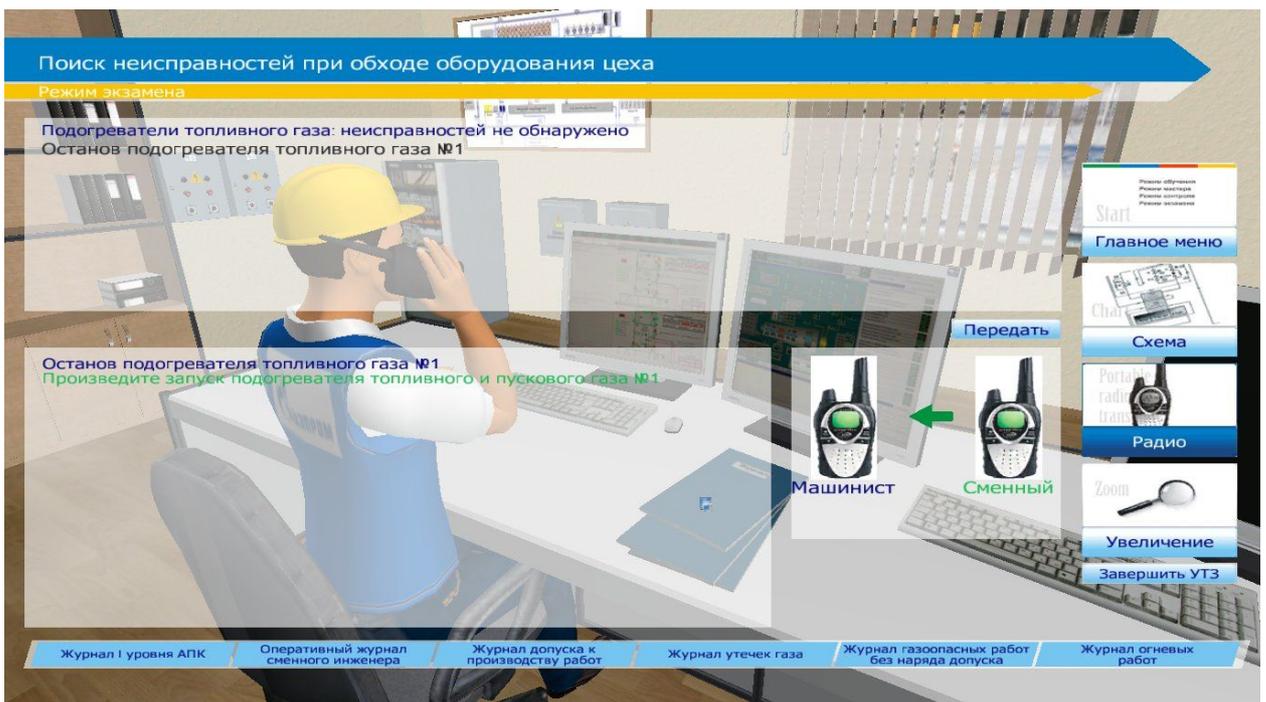


Рисунок 1.5.2. Доклад сменному инженеру о неисправности

Для всего спектра оборудования с помощью математической модели имитируются неисправности, Например, утечка воды по сальнику входной задвижки пожарного гидранта № 1. Далее оцениваются действия при обнаружении неисправности, анализируются совершаемые доклады по рации сменному инженеру, действия которого в свою очередь тоже могут анализироваться, например, в указанной ситуации, сменный инженер должен произвести запись в оперативном журнале: «Утечка воды по сальнику

входной задвижки пожарного Гидранта № 1, аналогичную запись в журнале 1 уровня АПК и вызвать по рации «Службу ЭВС», после чего сделать соответствующую запись в журнал допуска к производству работ и т. д.

Таким образом имеется возможность проведения сертификации и аттестации различных категорий персонала, как по отдельности, так и при их совместной работе.



Рисунок 1.5.3. Станция подготовки импульсного газа



Рисунок 1.5.4. Пожарные насосы

<b>Признак</b>	<b>Классификация</b>
По средствам обучения	Техническое средство обучения (ТСО)
По методам обучения	Многофункциональный имитатор, с возможностью проведения сертификации и аттестации
По используемым средствам и методам взаимодействия обучаемого с имитатором	На основе стандартных средств ввода\вывода, на основе систем формирования виртуальной реальности
По методу реализации механизма имитации	Программная реализация
По количеству агентов и их функциям	Одно-пользовательские
По возможности объединения имитаторов в единую имитационную систему	Без возможности объединения
Возможность использования имитаторов в современных системах управления обучением (LMS)	С возможностью использования в LMS - системах
По уровню и отрасли образования	Высшее профессиональное образование, Повышение квалификации, Профессиональная подготовка и переподготовка

## 1.6. Имитаторы для проведения лекций и семинаров

Лекция — устное систематическое и последовательное изложение материала по какой-либо проблеме, методу, теме вопроса и т.д. Семинар — форма учебных практических занятий, при которой учащиеся (студенты) обсуждают сообщения, доклады и рефераты, выполненные ими по результатам учебных исследований под руководством преподавателя. В советской школе семинары предназначались для углубленного изучения различных дисциплин.

Конечно, имитаторы являются только вспомогательным средством при проведении лекций или семинаров по техническим дисциплинам, там, где необходима наглядная демонстрация промышленных объектов, оборудования, принципа его работы, протекающие процессы и т.д. Такие имитаторы имеют достаточно много преимуществ перед традиционными технологиями, такими как презентация, видеофильм и т.д., главным образом в силу того, что тренажером можно управлять, т.е. лектор может производить демонстрацию «в реальном времени», т.е. управлять тем, что видят обучаемые. Если отдельно рассмотреть распределенные имитационные системы, то можно представить, например, следующую ситуацию...

Ведется «массовая» тренировка работы буровой установки, где участниками являются студенты различных кафедр. Присоединившись к этой системе, лектор может показать процесс в «реальном времени» или в необходимых временных промежутках, указать совершенные или совершаемые ошибки, работу оборудования, может сам совершать необходимые действия и т.д.

В целом использование имитаторов при проведении лекций и практик можно сравнить с возможностью «перемещать» лекционную аудиторию вместе со всеми слушателями на любые интересующие лектора производственные участки, комплексы, заводы, самолеты и т.д.

Практически все примеры имитаторов в данной главе можно использовать для демонстрации материала на лекциях. Например, уже рассмотренный имитатор компрессорного цеха по перекачке газа можно с успехом применять для этих задач.

## 2. Определение и обоснование понятия эффективности. Ключевые показатели эффективности имитаторов в производстве и образовательном процессе

Материалы международных конференций в области современных средств обучения, таких как ITEC, SCS, SigGraph, International Conference on Artificial Reality and Tele-existence свидетельствуют о том, «компьютерные средства обучения» находят все большее применение в авиации, судоходстве, энергетике, вооруженных силах, медицине, космонавтике и тех областях, где проведение физического обучения сопряжено с указанными трудностями, особенно, при обучении персонала, занятого на опасных и ответственных участках производства [2], и тех областях, где их применение строго регламентируется законодательством (тренажеры). При этом, на данный момент имеется очень малое количество серьезных исследований, касающихся определения и обоснования понятия эффективности, ключевых показателей эффективности имитаторов в производстве и образовательном процессе.

По данным инициативной группы прогрессивного распределенного обучения [130;94] (Advanced Distributed Learning — ADL), «компьютерные средства обучения», а именно, системы виртуальной реальности и имитационные модели, имеют наибольшую эффективность, наибольшую сложность и стоимость (рисунок 2.1.).

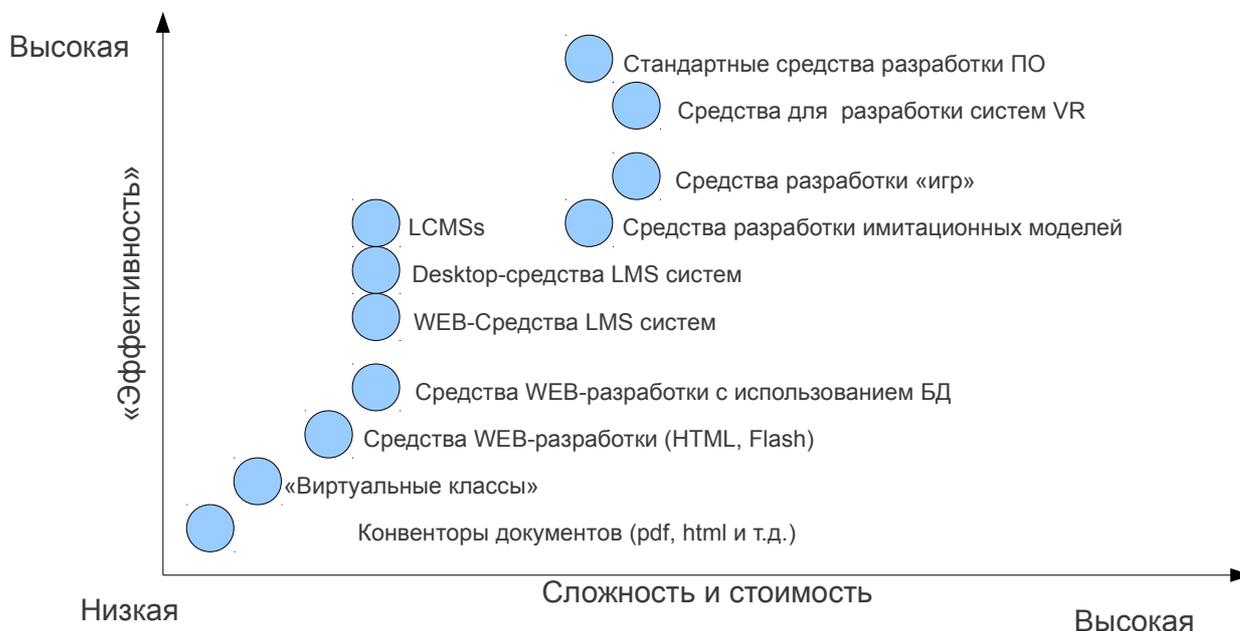


Рисунок 2.1. Соотношение эффективности имитаторов с другими ЭОР

Данные ADL и множества других источников предоставляют достаточно «условные» данные по эффективности различных групп образовательных ресурсов и не могут использоваться для количественной оценки эффективности имитаторов.

Наибольший интерес представляет работа Дозорцева В. М. [26], где анализируются известные попытки построить количественную оценку полезности тренажеров и приводятся обоснование выгоды внедрения тренажеров и их использования в постоянной практике предприятий химико-технологического типа. К сожалению, в указанной работе тренажеры и факторы *«рассматриваются только применительно к производству, в то время как за кадром остается такая обширная область применения, как обучение студентов»*.

Переходя к оценке эффективности имитаторов, можно отметить следующее:

1. Применение имитаторов (за исключением тренажеров) не регламентировано, т.е. в различных учебных заведениях имитаторы используются «по своему» или вообще не используются.
2. В отличие от промышленности, в учебных заведениях наблюдается значительно большая противоречивость взглядов профессорско-преподавательского состава относительно необходимости использования и эффективности имитаторов.
3. В результате, достаточно обоснованный анализ эффективности всех описанных в данной работе видов имитаторов не производился вообще.

В свою очередь, отсутствие доказательства эффективности имитаторов закономерно порождает ситуацию, существенно замедляющую распространение имитаторов, как в инженерно-техническом образовании, так и на производстве, в силу ряда причин:

- Достаточно часто имитаторы сравниваются с компьютерными играми, необязательными элементами «серьезного» обучения.
- Руководители учебных заведений и учебных подразделений предприятий часто не имеют опыта использования имитаторов и относятся к внедрению имитаторов с большой осторожностью.
- Относительно небольшое распространение имитаторов в России, и связанное с этим малое количество отчетов и публикаций, доказывающих и подтверждающих их эффективность, также не способствуют росту популярности имитаторов.
- Имитаторы могут снизить риск аварий и происшествий, как на предприятиях, так и в учебных заведениях. Несмотря на то, что стоимость имитаторов обычно значительно ниже возможных потерь, у руководителей нет уверенности в том, что аварии вообще могут произойти и в том, что имитаторы помогут избежать их появления.
- Достаточно трудно представить достаточно точную зависимость между квалификацией персонала и эффективностью производства в целом, т.е.

необходимость дополнительной подготовки персонала не всегда очевидна.

Несмотря на такую ситуацию, многочисленные данные указывают на рост рынка имитаторов, например рост мирового рынка тренажеров составляет примерно 8-9% в год. Это говорит о росте популярности и востребованности имитаторов. Тем не менее, в России этот процесс выражен намного слабее, что может быть связано с вышеуказанными причинами.

В любом случае для ускорения распространения имитаторов в инженерно-техническом образовании и на производстве необходимо обоснование целесообразности использования имитаторов. В данной работе приводится такое обоснование с различных позиций, для чего исследуются следующие факторы эффективности имитаторов:

1. снижение стоимости образовательных услуг;
2. снижение потенциальных потерь;
3. ускорение обучения;
4. повышение качества обучения;
5. доходы от экспорта образовательных услуг;
6. проведение исследований с помощью имитаторов;
7. увеличение эффективности управления персоналом предприятия;
8. преимущества для учебных заведений.

## 2.1. Снижение стоимости образовательных услуг

Использование имитаторов может значительно снизить стоимость обучения в целом, за счет снижения стоимости проведения тренинга, сертификации и аттестации, лабораторных работ [71;73;72], курсового проектирования, практикума и т. д. Изучение стоимости покупки и установки учебного оборудования, а также изучение затрат при его эксплуатации, позволило установить следующие факторы:

- Экономия за счет уменьшения затрат на закупку оборудования, монтажа и настройки (первоначальные затраты). Это не только покупка нового оборудования, но и регулярное обновление морально-устаревшего оборудования, расширение спектра оборудования и т.д.
- Экономия за счет снижения расходов на эксплуатацию оборудования (потребления электроэнергии, ГСМ, расходные материалы, ремонт и обслуживание оборудования и т. д.).
- Экономия за счет возможности тиражирования (копирования) имитаторов на несколько рабочих мест (лабораторий, учебных центров и т. д.).

Далее приводится количественное обоснование эффективности имитаторов по указанным группам. Для этого выбрано 10 образцов реального учебного оборудования и 10 аналогичных имитаторов. Стоимость покупки оборудования была взята из каталогов «РОСУЧПРИБОР» и других организаций, производящих и реализующих учебное оборудование. Цены на промышленное оборудование, используемое при обучении на производстве взяты из каталогов соответствующих производителей. Стоимость изготовления/покупки имитаторов рассчитывалась из опыта разработки и продажи имитаторов в НИИ ЭОР ТюмГНГУ за период 2007-2010 гг. В расчетах учитываются и сопоставляются дополнительные затраты, связанные с вводом оборудования в эксплуатацию, например, проведение лабораторного практикума с целью изучения методик испытаний компрессорной техники характеризуются дополнительными экономическими затратами, такими как:

- компрессор должен быть установлен в отдельном здании;
- работы, связанные с большим давлением газа, представляют собой значительную опасность, что требует установки специальных средств защиты;
- при ошибочных действиях возможна поломка оборудования;
- монтаж и настройка компрессора должны проводиться высококвалифицированным персоналом и т. д.

Также в расчетах учитываются и сопоставляются эксплуатационные затраты. В случае приведенного выше примера (компрессор) можно отметить значительную разницу между затратами при эксплуатации реального

оборудования и имитаторов. Например, потребление энергии компрессором — 33 кВт, ПК с имитатором — 300 Вт. Если рассмотреть более масштабный объект, например, буровую установку, то разница будет еще значительнее, т.к. в среднем стоимость бурения составляет около 10-20 тысяч рублей на 1 метр, из чего можно сделать выводы о стоимости эксплуатации.

Экономия за счет возможности тиражирования (копирования) учитывает следующие особенности имитаторов - на один компьютер можно установить сразу много имитаторов, один имитатор можно устанавливать сразу на множество компьютеров. Единственное ограничение - одновременно на компьютере может быть запущен один имитатор.

Для количественной оценки были взяты следующие оборудование и имитаторы с соответствующими функциональными возможностями:

1. Техническое обслуживание, текущий ремонт, подключение и настройка электропривода задвижки ЭПЦ-100.  
ЭПЦ-100 (<http://www.arm.b96.ru/>).
2. Детали машин / Определение КПД цилиндрического редуктора Автоматизированный лабораторный комплекс «Детали машин — передачи редукторные» (<http://www.labstend.ru>).
3. Машины и оборудование природообустройства и защиты окружающей среды / Исследование эффективности работы смесителя «Турбула».  
Смеситель-турбула ()
4. Сопромат / Усталостные испытания.  
Машина испытательная МУИ-6000 (НПО «Точприбор», Россия) - 1973 г. выпуска, стоимость - 260592 руб.
5. Сопромат / Испытание материалов на растяжение.  
Разрывная машина УММ-5  
([http://www.neftehimsnab.ru/produktsija/group\\_595/universalnie\\_mashiny/](http://www.neftehimsnab.ru/produktsija/group_595/universalnie_mashiny/))
6. Гидромашины и компрессоры / Испытания поршневого воздушного компрессора.  
Компрессор 4ВУ1-5/9 + ресивер + расходомер + манометры + монтаж  
(<http://www.compressor-snab.ru/4vu1-5-9.htm>), (<http://www.astar-compressors.ru/show/41/Catalog>).
7. Сопромат / Испытание материалов на ударную вязкость.  
Копер маятниковый 2010-КМ-30.  
([http://www.neftehimsnab.ru/produktsija/group\\_595/kopry\\_majatnikovye/koper\\_majatnikovyi\\_2010-km-30/](http://www.neftehimsnab.ru/produktsija/group_595/kopry_majatnikovye/koper_majatnikovyi_2010-km-30/)), (<http://moskva.tiu.ru/p80652-koper-mayatnikovyj-model-2010-km30.html>).
8. Гидромашины и компрессоры / Снятие характеристик ВЗД.  
Насос плунжерный буровой НБ-3 + Винтовой забойный двигатель Д1-106 (<http://burnasos.ru/price>) (<http://vpremium.ru/spec.html>).
9. Нефтегазопромысловое оборудование / Уравновешивание привода, динамометрирование, изменение режима эксплуатации УШГН  
Установка штангового скважинного насоса (Станок-качалка).
10. Буровая установка / тренинг бурильщика, помощника бурильщика.

При расчете эксплуатационных затрат за один год предполагается выполнение одного занятия в день в течении всех рабочих дней в году (249). Все данные отсортированы по возрастанию по стоимости реального оборудования и его эксплуатации. В данном разделе не рассматриваются другие факторы, косвенно влияющие на стоимость обучения.

Таблица 2.1.1. Стоимость покупки оборудования и расходы на эксплуатацию

№	Название	Стоимость оборудования, руб.	Дополнительные работы/затраты, руб.	Стоимость доп. работ, руб.	Экспл. затраты на 1 занятие, руб.	Экспл. затраты на 1 год, руб.
1	ЭПЦ-100	45000	Нет	0	250	62250
2	стенд — передачи редукторные	50000	Нет	0	250	62250
3	Смеситель-турбула	160000	Нет	0	500	124500
4	МУИ-6000	БУ - 260500	Нет	0	500	124500
5	Разрывная машина УММ-5	БУ - 72000 Новая - 290 000	Нет	0	500	124500
6	Воздушный компрессор 4ВУ1-5/9М42 + ЦУС, ЦУ	320000	Ресивер, расходомер, манометры монтаж	40000+ 20000+ 10000	1000	249000
7	Копер маятниковый 2010-КМ-30	БУ — 120000 Новый - 420000	Нет	0	500	124500
8	Насос плунжерный буровой НБ-3, ВЗД Д1-106	ВЗД — 370000 НБ-3- 245000	Расходомер, манометры, монтаж	20000+ 10000	1000	249000
9	Установка штангового скважинного насоса (УШГН )	1130556	Скважина глубиной 200м., устьевое оборудование, обсадная колонна, колонна НКТ и т.д.	2630000	2000	498000
10	Буровая установка БУ-5000	110000000	Нет	0	40000 (2 метра бурения)	9960000

Расчеты стоимости покупки/создания имитаторов и расходов на их эксплуатацию выполнялись с учетом следующих данных:

- Стоимость обслуживания и ремонта компьютеров (с учетом гарантийного периода) - взята из статистики ТюмГНГУ.
- При расчете потребляемой энергии закладывается мощность блока питания ПК - 400 Вт, монитора - 100 Вт.
- Стоимость изготовления (покупка готовых имитаторов не рассматривается) имитаторов рассчитывалась из опыта разработки имитаторов «под заказ» в НИИ ЭОР ТюмГНГУ за период 2007-2010 гг.

Таблица 2.1.2. Стоимость покупки/создания имитаторов и расходы на эксплуатацию

№	Название	Стоимость разработки имитатора, руб.	Стоимость ПК, руб.	± Стоимость VR, руб.	Экспл. затраты на 1 занятие, руб.	Экспл. затраты на 1 год, руб.
1	ЭПЦ-100	40000	25000	400000	100	24900
2	Детали машин — передачи редукторные	40000	25000	400000	100	24900
3	Смеситель-турбула	40000	25000	400000	100	24900
4	Машина усталостных испытаний МУИ-6000	50000	25000	400000	100	24900
5	Разрывная машина УММ-5	40000	25000	400000	100	24900
6	Воздушный компрессор 4ВУ1-5/9М42 + ЩУС, ЩУ	60000	25000	400000	100	24900
7	Копер маятниковый 2010-КМ-30	40000	25000	400000	100	24900
8	Насос плунжерный буровой НБ-3, ВЗД Д1-105	40000	25000	400000	100	24900
9	УШГН	80000	35000	400000	140	34860
10	Буровая установка БУ-5000	600000	50000	400000	200	49800

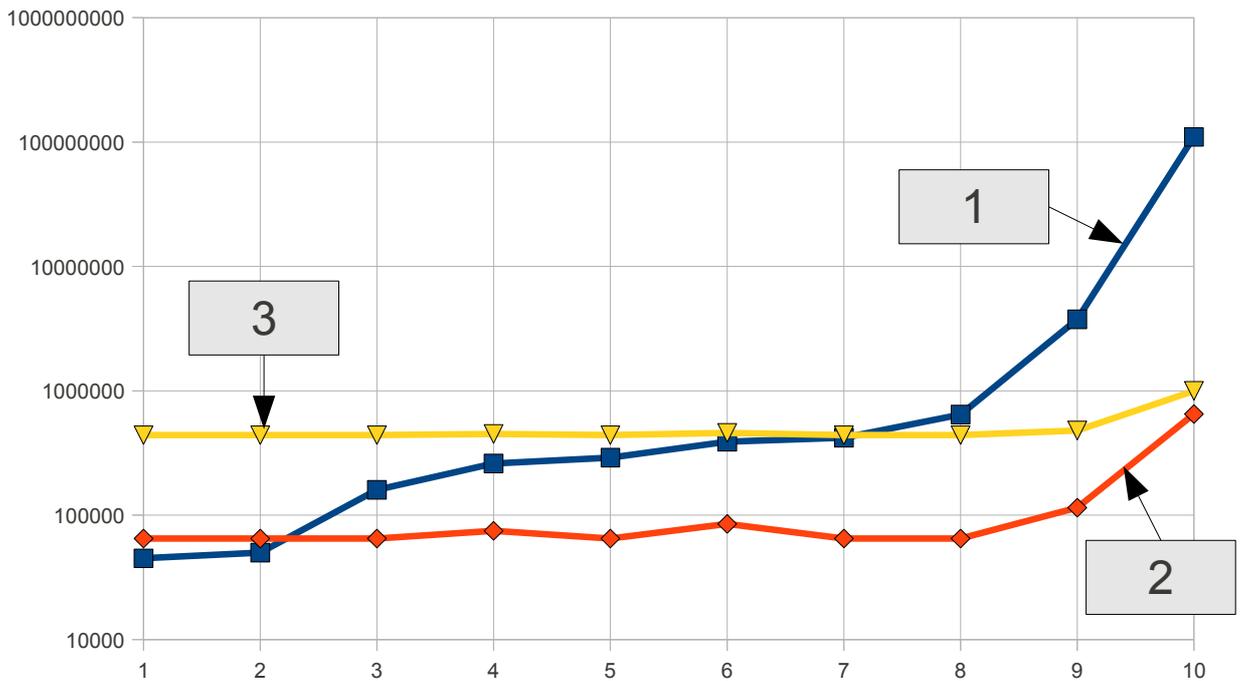


Рисунок 2.1.1. Стоимость покупки учебного оборудования и создания имитаторов (логарифмические координаты). 1 — реальное оборудование, 2 — имитаторы, 3 — имитаторы с VR

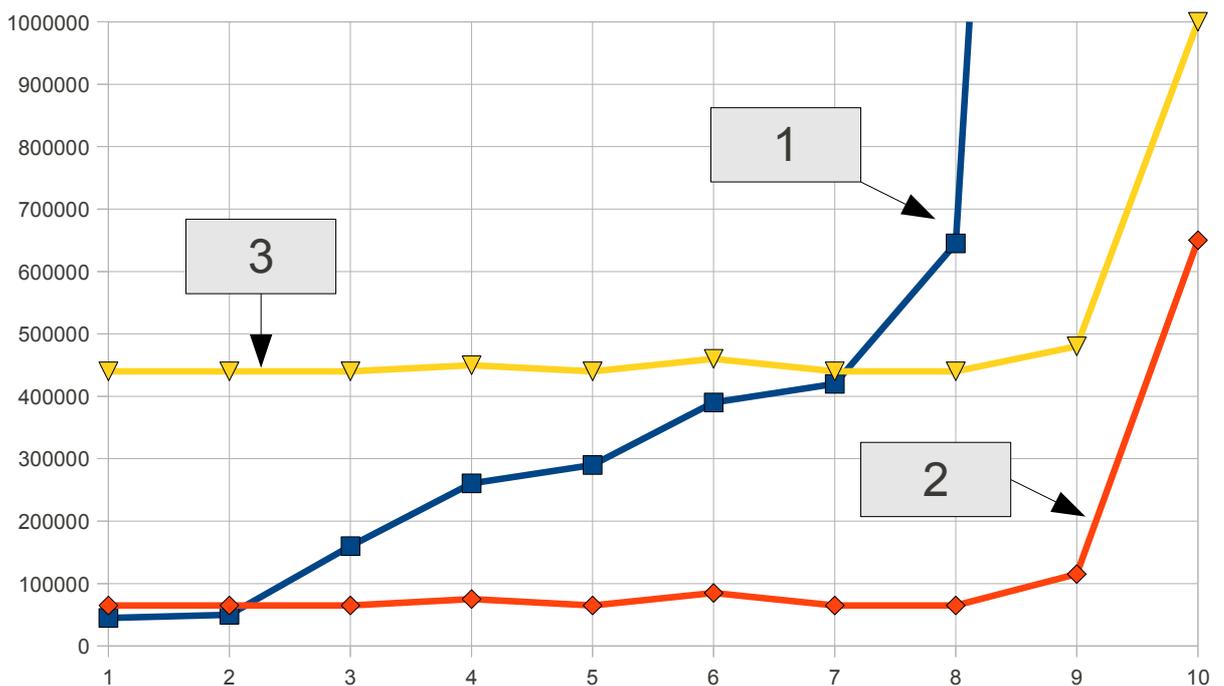


Рисунок 2.1.2. Стоимость покупки учебного оборудования и создания имитаторов (диапазон стоимости до 1 млн. руб). 1 — реальное оборудование, 2 — имитаторы, 3 — имитаторы с VR

По первоначальным вложениям - перелом в сторону имитаторов на отметке 65000 р , в сторону имитаторов на базе систем VR на отметке 450000 руб.

Преимущества имитаторов подтверждаются и другими производителями, например, в презентационных материалах тренажеров

FORWARD («3D инструктор 2.0») указано следующее - из 50 часов практического вождения 6 часов отрабатываются на тренажере. Затраты автошколы на каждый час вождения составляют 500 рублей. За 6 часов расходы составляют 3000 рублей на каждого обучаемого. Затраты на группу 30 человек составляют 90000 рублей. Расходы на обслуживание тренажера и оплату преподавателей составляют от 12000 до 30000 рублей. т. е. использование тренажера позволяет сократить затраты более чем в 3 раза.

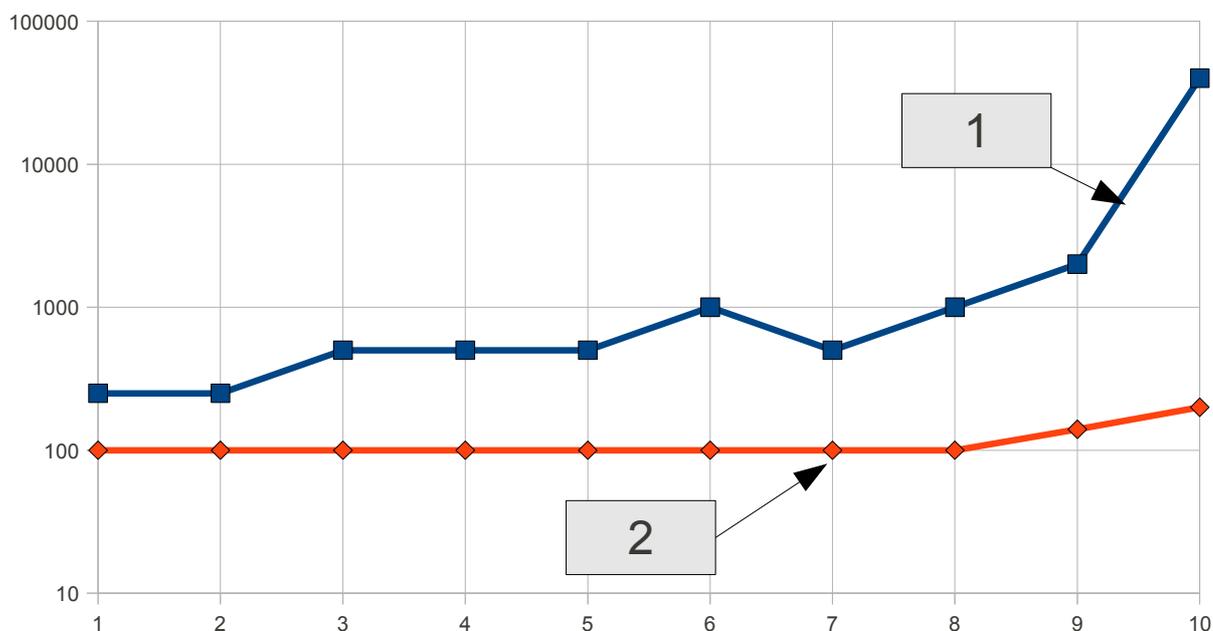


Рисунок 2.1.3. Эксплуатационные затраты на проведение 1 л/р (логарифм.).  
1 — реальное оборудование, 2 — имитаторы

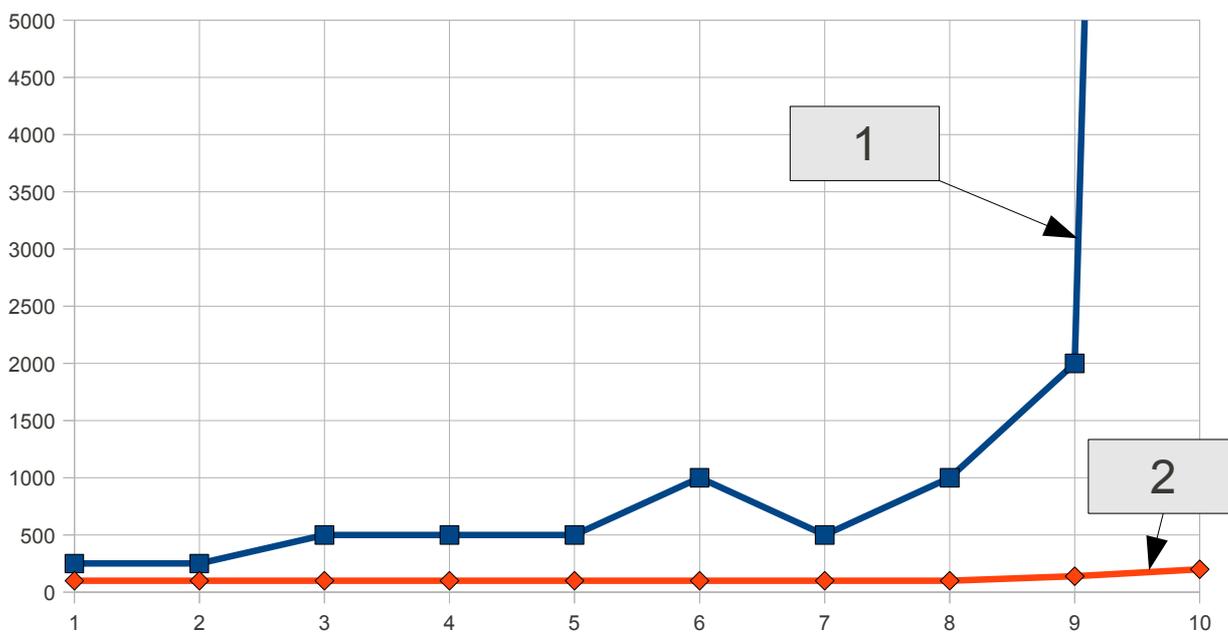


Рисунок 2.1.4. Эксплуатационные затраты на проведение 1 л/р (диапазон стоимости до 5000. руб). 1 — реальное оборудование, 2 — имитаторы

Как показывают графики эксплуатационных затрат, с точки зрения эксплуатации, у имитаторов имеется абсолютное преимущество. и чем «дороже» реальный объект, тем больше это преимущество.

Дополнительную экономию средств при использовании имитаторов можно получить следующими способами:

1. Один имитатор можно установить сразу на множество компьютеров (лабораторий, учебных центров и т. д.).
2. На один компьютер можно установить множество имитаторов (что снижает затраты при наличии персональных «свободных» компьютеров).

В любом случае использование имитаторов позволяет значительно снизить затраты при необходимости увеличения количества экземпляров учебного оборудования или замене вышедшего из строя оборудования, т. к. для установки новых экземпляров имитаторов необходима только покупка компьютера (или установка на имеющиеся), что в любом случае дешевле чем покупка реального оборудования (рисунок 2.1.5).

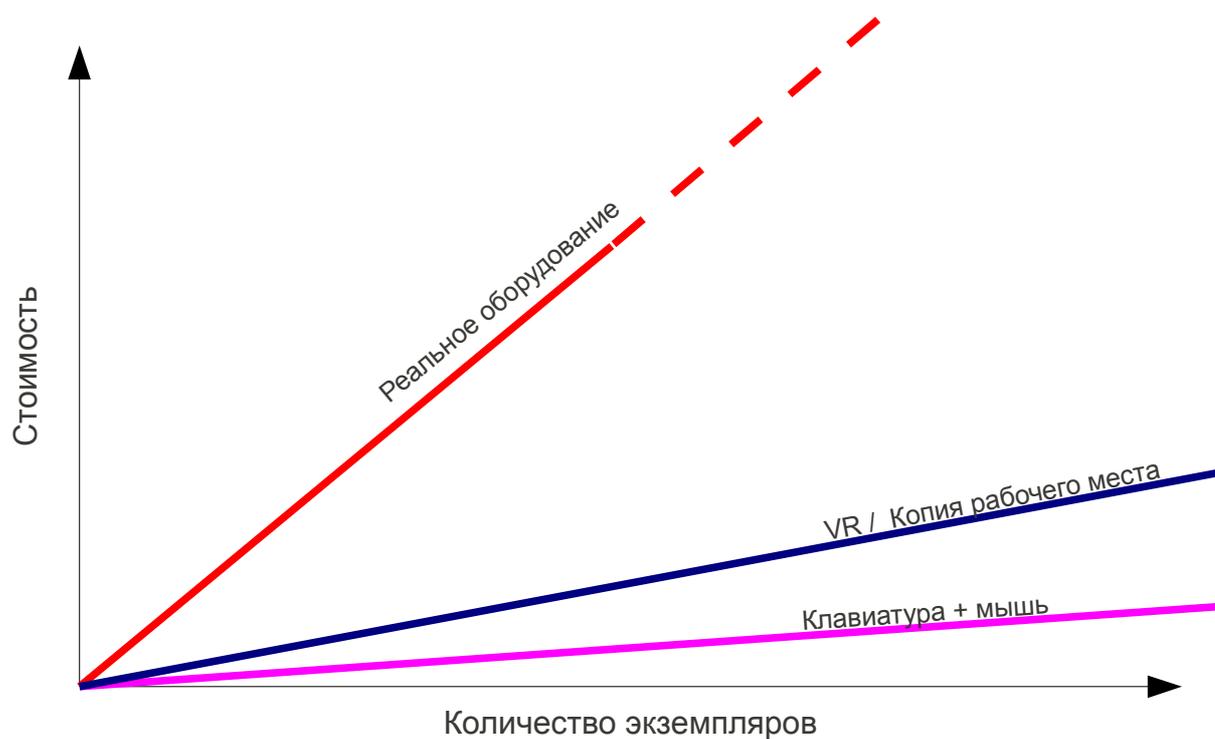


Рисунок 2.1.5. Затраты при увеличении количества экземпляров учебного оборудования

Выводы:

- Количественно обосновано снижение стоимости обучения с использованием имитаторов - за счет уменьшения затрат на закупку оборудования, монтажа и настройки (первоначальные затраты), снижения расходов на эксплуатацию оборудования, снижения затрат при увеличении количества экземпляров учебного оборудования.

- При стоимости реального оборудования свыше 65000 руб. (450000 руб. при VR или частичной копии рабочего места) — экономически целесообразно изготовление/заказ/покупка имитатора.
- Эксплуатационные затраты при обучении на имитаторах всегда ниже затрат, проводимых на реальном оборудовании, и чем «дороже» реальный объект, тем больше это преимущество имитаторов.

## 2.2. Снижение потенциальных потерь

Использование имитаторов может значительно снизить потенциальные потери. В данном разделе делается попытка количественного обоснования эффективности использования имитаторов, а именно, исследование следующих факторов снижения потенциальных экономических потерь:

- Снижение опасности при обучении.
- Повышение эффективности охраны труда.
- Повышение промышленной безопасности (в т.ч. пожарная безопасность, электробезопасность и т.д.), снижение других видов потерь по причине неправильных действий персонала.
- Повышение экологической безопасности.

Несоблюдение требований охраны труда (несчастные случаи), аварии, произошедшие по причине так называемого «человеческого фактора», являются причинами серьезных экономических потерь. Источником наибольших экономических потерь являются аварии. При нарушении экологических норм предприятия также несут значительные убытки, кроме того, ликвидация последствий экологических бедствий достаточно часто требует огромных экономических затрат. Производственный травматизм (компенсация физического и морального ущерба) также вызывает экономические потери предприятия. Экономические потери предприятия, которые влечет за собой травматизм, складываются из ряда статей на возмещение принесенного ущерба пострадавшим. Кроме того, несоблюдение правил охраны труда и промышленной безопасности влечет значительные штрафные санкции со стороны Ростехнадзора. Другими словами, наличие эффективной системы менеджмента охраны труда, промышленной и экологической безопасности является значительным конкурентным преимуществом компании, причем, это верно как для производства, так и, частично, для учебных заведений.

Количественное обоснование эффективности имитаторов за счет снижения экономических потерь основано на сравнении суммарных потерь производства из-за ошибок персонала со стоимостью обучения персонала с использованием имитаторов (включая стоимость изготовления имитаторов). Данные по авариям, несчастным случаям и экологическим нарушениям на территории РФ взяты из годовых отчетов о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) [50], а также публикаций ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности» [16]. В качестве зарубежных источников были использованы данные U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board ([www.csb.gov](http://www.csb.gov), CSB является независимым федеральным агентством по

расследованию несчастных случаев в химической промышленности). Были изучены отчеты CSB по расследовании аварий, включая ключевые выводы, коренные причины, и рекомендации по обеспечению безопасности. Также были изучены бюллетени по безопасности, опубликованные CSB с целью изучения информации о профилактике аварий на химических предприятиях, соответствующих методах профилактики и рекомендаций по обеспечению безопасности.

### 2.2.1. Снижение опасности при обучении

Традиционный подход часто характеризуется значительной опасностью использования промышленного оборудования в образовательных учреждениях. Примерами источников опасности могут являться высокое давление жидкости (например, испытания поршневых насосов), газа (компрессоры), взрывоопасные вещества (например, определение температуры вспышки бензина), кислоты (химические опыты), движущееся оборудование (например, стропы, работа на сверлильном или фрезерном станках), возможность получения травм при падении и т. д.

Также стоит отметить опасность не только для участвующих в учебном процессе людей, но и опасность повреждения или поломки оборудования. Количественное обоснование по данному фактору не приводится по причине отсутствия у автора достоверных данных о несчастных случаях и поломках оборудования при обучении персонала или студентов. Тем не менее можно отметить, что экономические потери при повреждении учебного оборудования при использовании имитаторов крайне малы.

На буровой платформе AD22, принадлежащей Arabian Drilling Company, бурящей для Saudi Aramco 9 Июня 2009 произошёл серьезный несчастный случай со смертельным исходом.

Я получил основное описание ЧП в тот же день, но деталей расследования не хватало для публикации. Теперь многие интернет-источники публикуют более детальные отчёты по происшествию и его расследованию.

Несколько рабочих Бурового подрядчика пострадали (1 смертельный исход, 1 в коме других 5 в больнице с различными многократными ранами) во время проведения тренировочного занятия по эвакуации буровой установки. <http://www.oilforum.ru/topic/14474-tehnika-bezopasnosti-rabot-v-burenii-remontah/>

Выводы:

Замена реального оборудования на имитаторы (или совместное их использование) при обучении персонала или студентов обеспечивает:

- Безопасность обучаемых, ППС и инструкторов при проведении потенциально-опасных работ.
- Отсутствие повреждений и поломок оборудования при неправильных действиях обучаемых.

## 2.2.2. Повышение эффективности охраны труда

Охрана труда - система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия (Трудовой кодекс Российской Федерации, статья 209). Основная цель охраны труда - сохранение жизни и здоровья работников.

Исследование опубликованных отчетов Ростехнадзора с 2004 по 2008 год, а, именно, информации о количестве персонала, получившего производственные травмы в результате несчастных случаев (в т.ч. тяжелые, смертельные и групповые) в различных секторах промышленности позволяет сделать выводы относительно количества несчастных случаев, а также организационных и технических причин происшествий (на основе отчетов комиссий Ростехнадзора).

В 2007 году в поднадзорных организациях, эксплуатирующих опасные производственные объекты при осуществлении производственной деятельности погибло 489 человек (на 121 человек больше, чем в 2006 году (368)). При этом значительный рост количества несчастных случаев со смертельным исходом произошел на предприятиях угольной промышленности (с 68 до 232 случаев), на объектах химической промышленности (с 10 до 18 случаев) и на объектах газораспределения и газопотребления (с 1 до 4 человек). При эксплуатации электростанций, электроустановок потребителей, электрических и тепловых сетей произошло в общей сложности 203 несчастных случая со смертельным исходом (в 2006 году — 218).

В 2007 году в результате аварий и несчастных случаев на объектах нефтегазодобычи (таблица 2.2.1.) погибли 23 человека. Наибольшее число погибших (18 чел.) зарегистрировано в нефтедобыче. В геологоразведке погибло 5 человек.

Таблица 2.2.1. Общее число смертельно травмированных по видам надзора

Виды надзора	Количество смертельно травмированных, чел.						
	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.
Нефтедобыча	23	16	23	23	22	19	18
Газодобыча	1	2	2	3	1	-	-
Геологоразведка	8	7	2	3	1	6	5

Итого:	32	25	27	29	24	25	23
--------	----	----	----	----	----	----	----

Наиболее частыми причинами рассматриваемых происшествий, согласно заключениям комиссий, являются:

1. старение основных фондов предприятий;
2. низкая технологическая дисциплина;
3. неосторожные или несанкционированные действия при выполнении работ;
4. слабые знания персонала относительно требований безопасности ведения работ, недостаточная подготовленность (психологическая и квалификационная) персонала;
5. недостаточная эффективность обучения и инструктажа персонала по вопросам безопасности;
6. слабый контроль за техническим состоянием и организацией эксплуатации оборудования вследствие недостаточной квалификации работников служб охраны труда предприятий и отсутствия у них допусков к контролю оборудования;
7. слабая мотивация персонала к точному выполнению регламента, из-за отсутствия контроля безопасного выполнения работ;
8. отсутствие навыков оказания первой помощи.

Отсюда следует вывод — уровень безопасности вне зависимости от сектора производства зависит:

- от состояния и надежности оборудования и его элементов, влияющих на безопасность (в отчетах Ростехнадзора указывается на тот факт, что большинство аварий и связанных с ними случаев смертельного травматизма можно предотвратить постоянным мониторингом реального состояния опасных производственных объектов, что косвенно указывает на «человеческий фактор»);
- от качества подготовки персонала.

Проблемы обеспечения охраны труда достаточно очевидны для многих предприятий, что подтверждается данными НИИ ЭОР ТюмГНГУ - техническими требованиями на изготовление программных тренажеров, в которых отмечается необходимость решения следующих задач:

- сокращение количества ошибочных действий персонала;
- отработка действий при возникновении предаварийных и аварийных ситуаций;
- совершенствование процесса тестирования знаний и аттестации персонала;
- психологическая адаптация персонала;
- поддержание и совершенствование навыков проведения работ и т.д.

Исходя из анализа обстоятельств и причин смертельных, групповых и тяжелых несчастных случаев, содержащихся в отчетах Ростехнадзора, можно отметить следующие возможности применения имитаторов для увеличения эффективности системы менеджмента охраны труда:

1. Имитаторы можно использовать для демонстрации произошедших случаев на конкретных установках, т. е. показывать работникам предприятий обстоятельства и причины несчастных случаев. Понимание имеющейся опасности и угрозы для здоровья является дополнительным психологическим стимулом для соблюдения правил и техники безопасности.
2. Имитаторы являются очень эффективным средством проверки знаний, умений и навыков. Данный факт может использоваться для увеличения эффективности проверки знаний работников по вопросам охраны труда.
3. Имитаторы являются эффективным средством сертификации и аттестации персонала, что не позволяет персоналу просто «зазубрить» известные ответы на известные вопросы комиссии при получении группы допуска, разряда и т.д. Это позволяет исключить допуск персонала к работе без прохождения необходимого тренинга на имитаторах, что также увеличивает безопасность.
4. Имитаторы могут воспроизводить конкретные ситуации на конкретных производственных объектах. Это обстоятельство позволяет провести эффективный тренинг персонала по мерам безопасности перед выполнением особо опасных работ или работ в помещениях с повышенной опасностью.
5. Имитаторы являются эффективным средством обнаружения (в том числе повторяющихся) ошибочных действий персонала при выполнении работ. Эта возможность имитаторов позволяет проводить разъяснительную работу с персоналом о недопустимости самовольных действий, что также может повысить производственную дисциплину.
6. Имитаторы могут применяться для отработки действий персонала при различных авариях (ликвидация, эвакуация, спасательные операции и т. д.), что также может снизить травматизм в определенных ситуациях.
7. Специалисты и руководители служб, ответственных за охрану труда, могут использовать имитаторы для анализа потенциальной опасности промышленных объектов, например, по методикам HAZID (анализа опасностей) или HAZOP (анализ опасностей и работоспособности), см. главу 2.6.

Для количественной оценки эффективности использования имитаторов с точки зрения системы менеджмента охраны труда необходимо соотнести экономические потери предприятия, которые влечет за собой травматизм (возмещение принесенного ущерба пострадавшим) вместе с расходами на штрафные санкции со стороны Ростехнадзора к расходам на подготовку персонала с помощью имитаторов (включая стоимость имитаторов). Также

возможно использование имитаторов в реальной работе, описанные в главе 3.5.7. (смешанная реальность (Mix Reality)), что также предоставляет достаточно интересные преимущества.

### **2.2.3. Повышение промышленной безопасности**

Промышленная безопасность — состояние защищённости жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий. Основная цель промышленной безопасности - предотвращение и/или минимизация последствий аварий на опасных производственных объектах [55]. Авария - разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ [75].

Виды деятельности, на которые распространяются требования промышленной безопасности:

- проектирование, строительство, эксплуатация, расширение, реконструкция, техническое перевооружение, консервация и ликвидация опасного производственного объекта; транспортирование опасных веществ организациями, эксплуатирующими опасные производственные объекты;
- проведение маркшейдерских и геологоразведочных работ, в том числе работ по доразведке месторождений полезных ископаемых и геофизических работ;
- организация горноспасательных, газоспасательных, противодантных и других работ по предупреждению, локализации и ликвидации аварий на опасных производственных объектах;
- проектирование, изготовление, монтаж, наладка, обслуживание и ремонт оборудования, работающего под избыточным давлением 0,07 мегапаскаля (паровых котлов, сосудов, работающих под давлением пара или газа, трубопроводов пара) или при температуре нагрева воды более 115°C (водогрейных котлов, сосудов, трубопроводов горячей воды), а также подъемных сооружений (грузоподъемных кранов, кранов-манипуляторов, кранов-трубоукладчиков, лифтов, подвесных канатных дорог, фуникулеров, подъемников (вышек), строительных подъемников, платформ подъемных для инвалидов, эскалаторов, съёмных грузозахватных органов и приспособлений), регистрируемых в органах Госгортехнадзора России;
- изготовление, монтаж, наладка, обслуживание и ремонт технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте;
- и т.д.

Требования промышленной безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта предписывают организации, эксплуатирующей опасный производственный объект:

- допускать к работе на опасном производственном объекте лиц, удовлетворяющих соответствующим квалификационным требованиям и не имеющих медицинских противопоказаний к указанной работе;
- обеспечивать проведение подготовки и аттестации работников в области промышленной безопасности.

Исследование опубликованных отчетов Ростехнадзора с 2004 по 2008 год, а, именно, информации о произошедших авариях в различных секторах промышленности позволяет сделать выводы относительно количества аварий, а также организационных и технических причин происшествий (на основе отчетов комиссий Ростехнадзора). В целом, изучение данных показало тенденцию превышения человеческого фактора над иными.

Наибольшее количество аварий зафиксировано на объектах следующих отраслей промышленности (на примере данных 2007 года):

- объекты нефтегазодобычи и магистрального трубопроводного транспорта - 50 аварий;
- объекты газораспределения и газопотребления - 43 аварии;
- объекты, на которых используются подъемные сооружения - 42 аварии;
- объекты нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности - 22 аварии.

Исходя из этих данных, дальнейшее обоснование эффективности имитаторов, с точки зрения промышленной безопасности, более подробно рассматриваются на объектах нефтегазодобычи и геологоразведки, для чего необходимо более детальное представление данных.

В 2007 году добычу нефти и газа в Российской Федерации осуществляло 13 крупных холдингов и 165 нефтегазодобывающих компаний, которые представлены организациями с российским, иностранным и смешанным капиталами. В 2007 году добыто 491 млн т нефти с газовым конденсатом. Добыча газа в 2007 году составила 651 млрд м<sup>3</sup>. Эксплуатационный фонд нефтяных скважин составляет около 160 тыс. единиц.

Общее число аварий на объектах нефтегазодобычи и геологоразведки представлено в таблице 2.2.2.

Таблица 2.2.2. Аварии на объектах нефтегазодобычи

Виды аварий	Число аварий						
	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.
Открытые фонтаны и выбросы	5	8	8	6	8	3	5
Взрывы и пожары на объектах	2	5	6	7	5	2	7

Падение буровых, (эксплуатационных) вышек, разрушение их частей	4	6	2	1	2	3	4
Падение талевых систем в глубоком бурении и подземном ремонте скважин	3	-	-	2	1	1	-
Прочие	3	2	4	4	3	4	3
Всего:	17	21	20	20	19	13	19

Наибольшее число аварий представлено открытыми фонтанами и выбросами на нефтяных и газовых скважинах (5 аварий), пожарами и взрывами на сооружениях по подготовке нефти и газа (7 аварий), зарегистрировано 4 аварии с падением буровых вышек и разрушением частей, в основном агрегатов для подземного ремонта скважин. В числе 3 прочих аварий зарегистрированы аварийные разливы нефти на промысловых трубопроводах.

В качестве характерных примеров аварий при бурении, эксплуатации, ремонте скважин, подготовке сырой нефти и переработке природного газа можно привести следующие аварии (по данным Ростехнадзора).

18.01.07 г. произошло газонефтепроявление на скважине № 14 куст № 1 (Холмистое месторождение, ООО «Сервисная Буровая Компания», ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз»). Во время демонтажа противовыбросового оборудования произошло газонефтепроявление с последующим возгоранием. В результате пожара произошло обрушение буровой вышки. Причиной аварии является отсутствие контроля за объемом доливаемой жидкости при спуско-подъемной операции.

20.01.07 г. произошло газопроявление на скважине № 162-б Ван-Еганского месторождения в ЗАО «Нижневартовский капитальный ремонт скважин» ООО СП «Ванеганнефть». При подъеме из скважины насосно-компрессорных труб после вскрытия продуктивного пласта произошло газопроявление, перешедшее в открытый газовый фонтан. В результате аварии сгорели установка подъемная для ремонта скважин УПА-60А 60/80 на базе шасси КРАЗ-65053, емкость буровая и другое оборудование.

Техническими причинами аварии являются:

- ошибка в определении плотности жидкости глушения;
- при перфорации пласта использовалась жидкость глушения удельного веса, не соответствующего параметрам пластового давления;
- несвоевременное принятие мер по герметизации устья скважины с признаками газонефтеводопроявления;
- осуществление перфорации пласта без поддержания уровня жидкости на устье скважины;
- вместо противовыбросового оборудования (превентора) работы по перфорации пласта осуществлялись с установленной на устье скважины фонтанной арматуры;

- значительное превышение регламентируемой скорости подъема труб.

Организационные причины:

- проведение капитального ремонта скважины без указания в основном плане показателей газового фактора, пластового давления и удельного веса раствора глушения;
- основным и дополнительными планами работ не предусмотрены ремонтно-изоляционные работы пласта;
- в плане работ отсутствуют требования по монтажу преентора и его опрессовке перед проведением прострелочно-взрывных работ, мероприятия по предотвращению аварий (газонефтеводопроявлений и т.п.);
- не проведен инструктаж по безопасному проведению прострелочно-взрывных работ с членами бригады капитального ремонта скважин;

25.03.07 г. произошло возгорание на дожимной насосной станции Самотлорского месторождения ОАО «Самотлорнефтегаз» в ОАО «ТНК ВР Менеджмент». Произошел разрыв трубопровода и разрушение подвижной опоры на входе газожидкостной смеси в первую установку предварительного отбора газа с возгоранием газожидкостной смеси. Огонь распространился на вторую, третью установки и проходящие параллельно газопроводы подачи газа на газоперерабатывающий комплекс, подачу газа на котельную, а также в районы блока реагентного хозяйства и газораспределительного пункта котельной.

Технической причиной аварии явилось преждевременное коррозионное разрушение металла трубы входа газожидкостной смеси в установку из-за несоответствия металла трубы (сталь 20) на входе газожидкостной смеси в установку требованиям проекта (сталь 09ГСФ), а также отсутствие входного контроля трубной продукции.

05.05.07 г. произошел взрыв на установке переработки газа № 1 цеха переработки газа Белозерного газоперерабатывающего завода (ГПЗ) (Нижевартровский район, ООО «Белозерный газоперерабатывающий комплекс», ООО «Юграгазпереработка»).

Причины аварии:

- несрабатывание пружинно-предохранительного клапана из-за полного или частичного запираания уравнильной линии в результате образования кристаллогидратов и поступления газа высокого давления из сепараторов-аккумуляторов жидкости;
- неправильные действия обслуживающего персонала по ведению технологического процесса, выразившееся в непринятии действенных мер по снижению давления до разрешенного или его немедленной остановки;
- отсутствие должного руководства и контроля со стороны сменного инженера и инженерно-технических работников цеха за ведением

технологического процесса и показаниями автоматической системы управления технологическими процессами.

В 2007 году в результате аварий и несчастных случаев на объектах нефтегазодобычи погибли 23 человека (таблица 2.2.1. в главе 2.2.2.).

В отчетах Ростехнадзора, как и в случаях травматизма, указывается на тот факт, что большинство аварий и связанных с ними случаев смертельного травматизма можно предотвратить постоянным мониторингом реального состояния опасных производственных объектов, своевременным проведением мероприятий по их техническому обслуживанию, ремонту и реконструкции, а также пропагандой культуры производства и соблюдением безопасных режимов работы. Этот факт также косвенно указывает на «человеческий фактор».

Наиболее частыми причинами рассматриваемых аварий, согласно заключениям комиссий, являются:

1. Несогласованные и ошибочные действия персонала в условиях чрезвычайной ситуации.
2. Неправильные действия обслуживающего персонала по ведению технологического процесса.
3. Ошибки персонала при проведении необходимых измерений.
4. Несвоевременное обнаружение предаварийной ситуации при наличии характерных признаков.
5. Несвоевременное принятие мер по устранению аварии.
6. Нарушение технологии и регламента выполнения работ.
7. Не предусмотрены мероприятия для ликвидации возможных аварий.
8. Ненадлежащее проведение инструктажа по безопасному проведению работ.
9. Несоответствие используемых материалов, отсутствие входного контроля.
10. отсутствие должного руководства и контроля со стороны сменного инженера и инженерно-технических работников цеха за ведением технологического процесса.

Сходные данные о роли «человеческого фактора» и рекомендации по применению тренинга персонала указаны во множестве отчетов о расследованиях CSB (отчеты свободно доступны на сайте CSB [www.csb.gov](http://www.csb.gov)).

4 мая 2009, Взрыв и пожар на месторождении Партридж-Роли (Уэст Карролтон, штат Огайо (West Carrollton, Ohio)). Четыре рабочих ранены (рисунок 2.2.1).



Рисунок 2.2.1. Взрыв и пожар на месторождении Партридж-Роли. (Photo Courtesy of Ohio State Fire Marshal)

В докладе комиссии CSB отмечается что были нарушены правила безопасности при обработке горючих жидкостей. Также было зафиксированы недостатки в процедуре обучения работников, неадекватность тестирования и инспекции трубопроводов, оборудования и процессов. По предварительным оценкам, учитывая производственные потери, повреждения имущества, и бесперебойной работы бизнеса, общий объем расходов составил около 27 миллионов \$.

5 июня 2006. Инцидент в PARTRIDGE-RALEIGH SMITH COUNTY OILFIELD (рисунок 2.2.2.), город Роли (Raleigh), штат Миссисипи (CSB REPORT NO. 2006-07-I-MS JUNE 2007). Комиссия CSB выявила многочисленные нарушения техники безопасности при производстве сварочных работ, в т.ч. детектор газа не был использован для проверки легковоспламеняющиеся паров, открытый канал на соседние цистерны не был ограничен или иным образом изолирован и т. д. В отчете также указывается, что большинство сварщиков нанятых компанией, обладали знаниями и опытом проведения сварочных работ, но не имели соответствующей подготовки при работе на опасных объектах. В отчете указана необходимость разработки программы тренировок по безопасности труда (Safety training program) для сотрудников, а также обеспечить осведомленность об опасностях (hazard awareness training).



Рисунок 2.2.2. Инцидент в PARTRIDGE-RALEIGH SMITH COUNTY OILFIELD (Photo courtesy of Smith Co. Sheriff's Office)

23 марта 2005. Взрыв и пожар на НПЗ компании BP, Техас-Сити, Техас (CSB REPORT NO. 2005-04-I-TX MARCH 2007 ). Одна из главных промышленных катастроф в новейшей истории США. При взрыве и пожаре (рисунок 2.2.3.) погибли 15 человек и 180 ранены. Финансовые потери превышают 1,5 миллиарда \$.

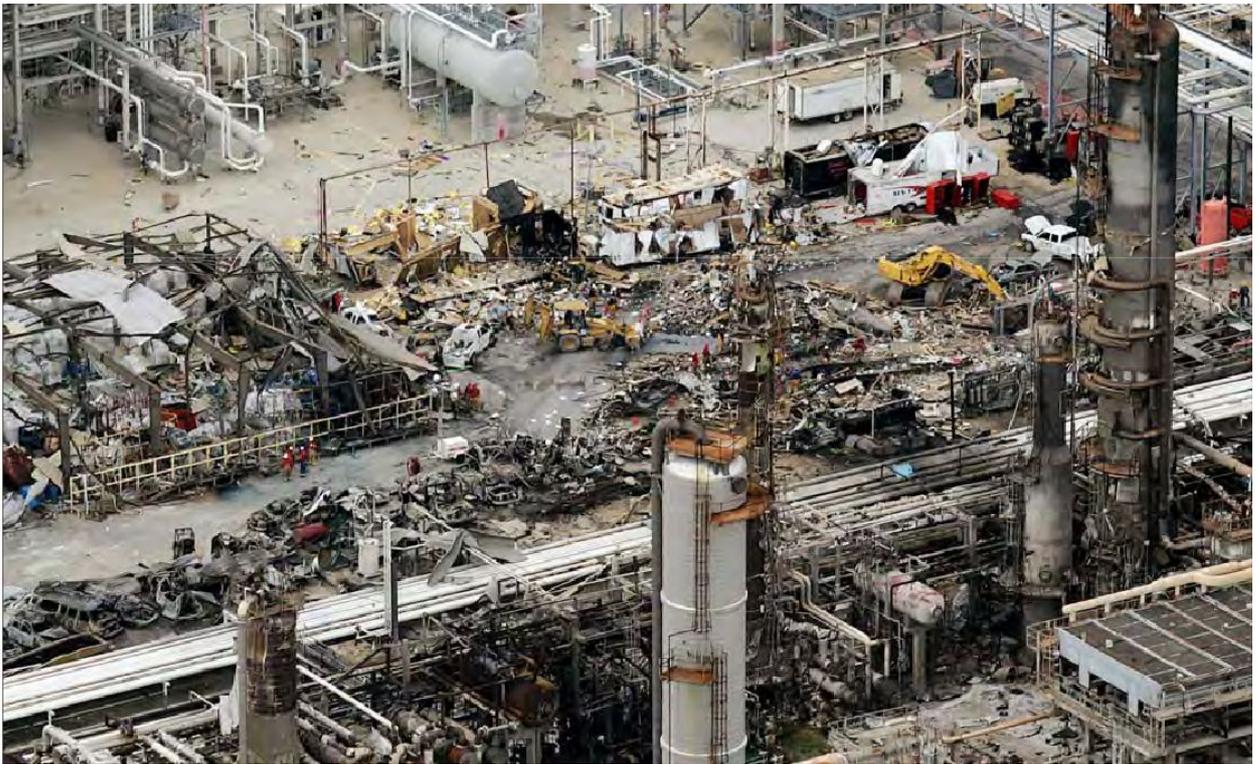


Рисунок 2.2.3. Взрыв и пожар на НПЗ компании ВР.

В отчете CSB указывается, что инцидент произошел в результате грубейших нарушений технологии, неисправных измерительных приборов и множественных ошибок персонала. В результате чего легковоспламеняющаяся жидкость, переполнив емкость, попала в канал для сброса газа и разлилась по территории объекта, что привело к взрыву и пожару.

В отчете о расследовании инцидента напрямую указывается на недостаточное обучения операторов (в частности на тот факт, что тренажеры не использовались для имитации опасных сценариев). Опасности, возникающие при запуске процесса, в том числе сценарии переполнения башни, не были адекватно отражены в программе обучения операторов. Приведены рекомендации для внедрения в процесс обучения персонала:

- компьютерных средств обучения (computer-based tutorials);
- обучение без отрыва от производства (on-the-job training);
- эффективные методы проверки знаний и квалификации. В течение нескольких лет до инцидента, служебная аттестация для определения уровня знаний и профессиональной подготовки большинства операторов проводилась не эффективно (более подробно рассмотрено в главе 3.8.).

Исходя из исследования отчетов комиссий Ростехнадзора и CSB следует вывод - уровень промышленной безопасности для рассматриваемого сектора производства (а также для других) сильно зависит от «человеческого фактора», что в свою очередь связано с качеством подготовки персонала. Профессионализм персонала предприятия является одним из важных

факторов снижения аварийности, а также снижения производственного травматизма (глава 2.2.2.). Именно по этой причине при подготовке персонала, переподготовке и повышении квалификации обучение промышленной безопасности является важным требованием. Особенно важна подготовка персонала к действиям в условиях аварийных ситуаций, а также при ликвидации последствий аварий.

Исходя из анализа обстоятельств и причин аварий, содержащихся в отчетах Ростехнадзора и CSB, можно отметить следующие возможности применения имитаторов для увеличения эффективности в области промышленной безопасности:

1. Имитаторы можно использовать для демонстрации произошедших случаев на конкретных установках, т.е. показывать работникам предприятий обстоятельства и причины несчастных случаев. Понимание имеющейся опасности и угрозы для здоровья является дополнительным психологическим стимулом для соблюдения правил и техники безопасности.
2. Имитаторы являются очень эффективным средством проверки знаний, умений и навыков. Данный факт может использоваться для увеличения эффективности проверки знаний работников по вопросам охраны труда.
3. Имитаторы являются эффективным средством сертификации и аттестации персонала, что не позволяет персоналу просто «зазубрить» известные ответы на известные вопросы комиссии при получении группы допуска, разряда и т.д. Это позволяет исключить допуск персонала к работе без прохождения необходимого тренинга на имитаторах, что также увеличивает безопасность.
4. Имитаторы могут воспроизводить конкретные ситуации на конкретных производственных объектах. Это обстоятельство позволяет провести эффективный тренинг персонала по мерам безопасности перед выполнением особо опасных работ или работ в помещениях с повышенной опасностью.
5. Имитаторы являются эффективным средством обнаружения (в том числе повторяющихся) ошибочных действий персонала при выполнении работ. Эта возможность имитаторов позволяет проводить разъяснительную работу с персоналом о недопустимости самовольных действий, что также может повысить производственную дисциплину.
6. Имитаторы могут применяться для отработки действий персонала при различных авариях (ликвидация, эвакуация, спасательные операции и т. д.), что также может снизить травматизм в определенных ситуациях.
7. Специалисты и руководители служб, ответственных за охрану труда, могут использовать имитаторы для анализа потенциальной опасности промышленных объектов, например, по методикам НАДЗОР (методологии анализа опасностей HAZID и HAZOP, см. главу 2.6.). В соответствии с требованиями Федерального закона «О промышленной

безопасности опасных производственных объектов» разработка декларации промышленной безопасности предполагает всестороннюю оценку риска аварий и связанных с ними угроз; анализ достаточности принятых мер по предупреждению аварий, по обеспечению готовности организации к эксплуатации опасных производственных объектов в соответствии с требованиями промышленной безопасности, а также к локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах; разработку мероприятий, направленных на снижение последствий аварий и размеров ущерба, нанесенного в случае аварии на опасном производственном объекте.

8. Имитаторы могут использоваться не только для обучения и аттестации персонала, но и для моделирования различных аварий, например — моделирование распространения огня, образование взрывоопасных смесей, анализ напряжённого состояния и разрушения; а также являются средством предсказания возможных опасных и аварийных ситуаций в работе конкретных технологических установок [26].
9. Имитаторы являются эффективным средством отработки действий персонала при различных авариях (ликвидация, эвакуация, спасательные операции и т. д.).
10. Имитаторы являются эффективным средством выработки персоналом навыков выявления, диагностики и предотвращения аварий и инцидентов.
11. Имитаторы могут использоваться для разработки сценариев аварий и инцидентов, и отработки действий по их компенсации.
12. Имитаторы могут использоваться как средство психологической адаптации работников для работы на опасных объектах или при выполнении опасных операций.
13. Имитаторы могут успешно использоваться при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов (информирование надзорных органов, органов исполнительной власти, местного самоуправления и населения об основных опасностях и рисках, связанных с промышленными авариями, о достаточности принятых мер по предупреждению аварий, локализации и ликвидации последствий аварий, снижению масштаба последствий и размера ущерба от аварий на опасных производственных объектах).

Для количественной оценки эффективности использования имитаторов, с точки зрения промышленной безопасности, необходимо соотнести экономические потери предприятия непосредственно от аварий, а также потери на возмещение принесенного ущерба пострадавшим к расходам на подготовку персонала с помощью имитаторов (включая стоимость имитаторов). Цены на промышленное оборудование, уничтоженное в авариях, взяты из каталогов соответствующих производителей. Стоимость

изготовления/покупки имитаторов рассчитывалась из опыта разработки и продажи имитаторов в НИИ ЭОР ТюмГНГУ за период 2007-2010 гг.

Экономические потери в результате рассмотренных выше аварий на объектах нефтегазодобычи и геологоразведки в 2007 г.:

1. В результате пожара произошло обрушение буровой вышки. Конкретный тип БУ не указан, примем БУ-5000, имеющую стоимость 110000000 руб.
2. В результате аварии сгорели установка подъемная для ремонта скважин УПА-60А 60/80 на базе шасси КРАЗ-65053, емкость буровая и другое оборудование. В настоящее время стоимость агрегата типа УПА-60А 60/80 на базе шасси КРАЗ-65053 варьируется в пределах от 7500000 до 10000000 руб.

Стоимость создания тренажера буровой установки БУ-5000 принимается равной 600000 руб., вместе со стоимостью персонального компьютера (50000 р.), системой формирования виртуальной реальности (400000 р.) и годовыми затратами на проведение тренинга (49800 р.). Общая стоимость тренинга при использовании имитатора равняется 1099800 руб., что в 100 раз меньше стоимости потерянного оборудования, не говоря о других экономических потерях в результате аварии.

В случае с УПА-60А 60/80 аналогичный расчеты показывают 10-кратную разницу изготовления тренажера и годовые затраты на его эксплуатацию по сравнению с экономическими потерями в результате аварии.

При определении потерь предприятия от аварий можно учитывать и другие факторы, такие как возможные экологические штрафы, упущенная выгода от реализации продукции и т.д.

Например, по неофициальным данным, при останове ГПА типа ГПА-Ц-16 ГПА (нормальный или аварийный со стравливанием газа) по причине неправильных действий операторов приводит к потерям 927 м.куб. газа.

Вывод:

- Количественная оценка эффективности использования имитаторов с точки зрения промышленной безопасности показала высокую экономическую эффективность имитаторов, и чем «дороже» реальный объект, тем больше это преимущество. Создание и использование имитаторов многократно окупается (в указанных расчетах в 10 и 100 раз) за счет снижения вероятности аварий.
- Также возможно использование имитаторов в реальной работе, описанные в главе 3.5.7. (смешанная реальность (Mix Reality)), что также предоставляет достаточно интересные преимущества.

#### 2.2.4. Повышение экологической безопасности

Экологическая безопасность - состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека, прежде всего прав на чистую, здоровую, благоприятную для жизни окружающую природную среду (см. ст.1 Закона Российской Федерации от 5 марта 1992 года "О безопасности"), от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий.

Изучение данных государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» за 2007 г. министерства природных ресурсов и экологии РФ [20] по нефтедобывающей промышленности показало, что в 2007 г. объем добычи нефти, включая газовый конденсат составил 490,9 млн. т., выбросы в атмосферу загрязняющих веществ составили 3710,9 тыс.т.

В отчете указано, что с целью предупреждения и ликвидации аварийных разливов нефти предприятиями нефтедобычи проводится значительная работа - для ликвидации аварий и их последствий созданы специализированные подразделения, систематически проводятся учения, ремонт и обновление средств сбора и локализации разливов нефти.

Инвестиции в охрану окружающей среды в нефтедобыче в 2007 г. составили 10,4 млрд. руб., текущие затраты – 26,7 млрд. руб., платежи за негативное воздействие на окружающую среду – 1396,5 млн. руб.

Продолжается работа по созданию систем менеджмента экологической безопасности в соответствии с международными стандартами (ИСО 14001 и OHSAS 18001).

Дополнительно были изучены сведения по экологическим нарушениям по данным годовых отчетов о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). Анализ поступлений платы в 2007 году по 8583 крупнейшим плательщикам (годовой платеж более 100 тысяч рублей) показал, что общая сумма начисленной платы по данным плательщикам — 10 880 381 873 руб., из них:

- плата в пределах нормативов (выбросов, сбросов), лимитов на размещение отходов составила 5 049 503 344 руб.;
- плата в пределах временно согласованных лимитов на выбросы и сбросы составила 1 657 372 166 руб.;
- плата за сверхлимитное загрязнение составила 4 519 473 417 руб.

Данные о инвестициях в охрану окружающей среды в нефтедобыче, текущих затратах и платежах за негативное воздействие на окружающую среду (в т.ч. плата за сверхлимитное загрязнение) однозначно указывают на значимость экологической безопасности.

Активно внедряемые компаниями международные стандарты ИСО 14001 и OHSAS 18001 фактически создают систему экологического

менеджмента для снижения негативного воздействия на окружающую среду, повышения экологической и экономической эффективности деятельности предприятия, снижения образования и переработки отходов и т. д. Система экологического менеджмента, в свою очередь, требует наличия множества структурных элементов [84], в том числе и структурного элемента - обучение персонала.

Изучение указанных отчетов позволяет сделать вывод о возможности применения имитаторов для увеличения эффективности менеджмента экологической безопасности:

1. Имитаторы можно использовать для обучения персонала навыкам диагностики и правильной компенсации экологически опасных ситуаций.
2. Имитаторы являются эффективным средством имитации и моделирования загрязнения под землёй, на поверхности земли, в водных средах и в атмосфере.
3. Имитаторы являются эффективным средством отработки навыков для предотвращения или минимизации вредных выбросов, как для отдельных категорий персонала, так и при совместных учениях.
4. См. возможности применения имитаторов для увеличения эффективности в области промышленной безопасности.
5. См. возможности применения имитаторов для увеличения эффективности системы менеджмента охраны труда.

Для количественной оценки эффективности использования имитаторов с точки зрения системы менеджмента экологической безопасности, необходимо соотнести потенциальные экономические потери предприятия, которые влечет за собой последствия экологических аварий или инцидентов, к расходам на подготовку персонала с помощью имитаторов (включая стоимость имитаторов).

Также возможно использование имитаторов в реальной работе, описанное в главе 3.5.7. (смешанная реальность (Mix Reality)), что также предоставляет достаточно интересные преимущества.

## 2.3. Ускорение обучения

### 2.3.1. Возможность ускорения «длительных» процессов

Возможность имитаторов «ускорять время» позволяет выполнять задание быстрее, например, разогрев лампы, происходящий в реальности за 20 минут может быть ускорен, и займет не 20 минут, а 1 или 2 минуты. Кроме того, данная возможность позволяет проведение работ, временные затраты которых не позволяют в полной мере проведения в рамках учебного процесса. Эта возможность имитаторов позволяет проводить работы, требующие в реальности так много времени, что в учебных заведениях, даже при наличии необходимого оборудования, такие работы не проводятся. Возможность имитаторов изменять «масштаб времени» позволяет с их помощью производить такие работы, например, за 1 час.

Такая возможность позволяет:

- проведение большего количества работ за тоже время (см. главу 2.3.).
- косвенно влияет на снижение стоимости обучения.
- решение всего спектра возникающих ситуаций за меньшее время.
- сокращение времени обучения, специалисты меньше покидают работу.

Результатом указанных возможностей является то, что участники дискуссии по эффективности компьютерного тренинга [26] отмечали следующие конкретные преимущества компьютерных тренажеров в плане эффективности подготовки персонала: четыре дня компьютерного тренинга превосходят занятия в учебном классе любой длительности; шесть (по другим оценкам — восемь) недель компьютерного тренинга эквивалентны одному году обучения на реальном объекте. Такая возможность не только сокращает время обучение, но и значительно увеличивает качество подготовки специалистов.

Для количественной оценки возможного ускорения обучения необходимо соотнести временные затраты на выполнение учебных заданий традиционным способом к временным затратам на выполнение аналогичных учебных заданий с использованием имитаторов. Дальнейшие расчеты приведены на примере 5 различных имитаторов.

Компьютерный имитатор исследования КПД цилиндрического и червячного редуктора, рассмотренный в главе 1.2.1. С использованием данного имитатора в ТюмГНГУ выполняется лабораторная работа с целью определения коэффициента полезного действия (КПД) редуктора, а также исследования влияние на КПД различных факторов. При выполнении работы на реальном оборудовании затраты времени на указанные исследования

приведены в таблице 2.3.1. К указанному времени, необходимому для подготовки эксперимента, необходимо прибавить время проведения непосредственно самого эксперимента, т. е. по 10 минут на оценку влияния каждого из 8 факторов, что дает в результате (5 ч. 30 мин. + 10 мин. \* 8 = 6 часов 50 минут). Затраты времени на проведения аналогичных действий при помощи имитатора складываются (как и для реального оборудования) из непосредственно времени эксперимента, т.е. 10 минут на оценку влияния каждого из 8 факторов, но временные затраты на подготовку практически отсутствуют (меньше 1 минуты, рисунок Рисунок 1.2.2. из главы 1.2.1.), что дает в результате (10 мин. \* 8 = 1 час 20 минут). В результате, проведение данной лабораторной работы на имитаторе сокращает потери времени более чем в 5 раз (410 минут / 80 минут).

Таблица 2.3.1. затраты времени при выполнении лабораторной работы на реальном оборудовании

Влияние на КПД	Выполняемые операции	Необходимое время
1. степени точности редуктора	слив масла, разборка, выпрессовка подшипников, замена элементов (сборка), залив масла	1 час
2. типа подшипников		1 час
3. вязкости масла	слив масла, промывка, залив масла	20 минут
4. ширины колес первой ступени	слив масла, разборка, выпрессовка подшипников, сборка, залив масла (для 1 ступени)	40 минут
5. ширины колес второй ступени		
6. меж-осевого расстояния	слив масла, разборка, выпрессовка подшипников, сборка, залив масла	1 час
7. чисел зубьев колес первой ступени	слив масла, разборка, выпрессовка подшипников, сборка, залив масла	40 минут
8. чисел зубьев колес второй ступени		40 минут
Итого:		5 часов 30 минут

Компьютерный имитатор испытаний образцов на выносливость при изгибе с вращением, рассмотренный в главе 1.2.2. С использованием данного имитатора в ТюмГНГУ выполняется лабораторная работа с целью изучения методики испытаний на усталость образцов с тороидальной рабочей частью в условии изгиба с вращением. В реальности проведение усталостных испытаний - длительный и трудоемкий процесс. Достаточно отметить, что на построение кривой усталости при ряде величин вероятности неразрушения может уходить до трех лет испытаний образцов. В среднем, испытания требуют 1 месяца. Поэтому в вузах практически лабораторный практикум по

испытанию на выносливость образцов, даже при наличии необходимого оборудования, не проводится. Существует возможность изменять «масштаб времени» (см. Рисунок 3.6.1. использование масштаба времени в имитаторе), что позволяет производить длительные испытания за 80 минут. В результате проведение данной лабораторной работы на имитаторе сокращает потери времени более чем в 500 раз (43200 минут / 80 минут).

Компьютерный имитатор для изучения методики проведения балансировки ротора центробежного насоса, рассмотренный в главе 1.3.1. С использованием данного имитатора в ТюмГНГУ проводятся практические работы с целью изучения методики проведения балансировки ротора центробежного насоса. Решаемые задачи - провести балансировку ротора (ротор магистрального насоса НМ10000-210 РНМ10000), вычислить и устранить дисбаланс ротора до значения допуска остаточной неуравновешенности для данного ротора. На реальном оборудовании разгон и остановка ротора требуют 8-10 минут. Для проведения балансировки необходимо выполнение 3-4 итераций, т.е. примерно 30-40 минут на 1 ротор. Ввод данных в компьютер стенда и установка грузов занимает еще порядка 20 минут, итого 60 минут. Затраты времени на проведения аналогичных действий при помощи имитатора складываются (как и для реального оборудования) из времени на ввод данных в компьютер стенда и установку грузов, но временные затраты на разгон и остановка ротора могут быть уменьшены до 1 минуты, что дает в результате 4 мин. В результате проведение данной лабораторной работы на имитаторе сокращает потери времени в 2,5 раза ( 60 минут / (20+4) минут), что позволяет за одно занятие произвести балансировку двух или даже трех роторов вместо одного.

Компьютерный имитатор компрессорной установки 4ВУ1-5/9 рассмотренный в главе 1.4. С использованием данного имитатора в ТюмГНГУ выполняется практическая автоматизация системы управления поршневым воздушным компрессором, обеспечение автоматического режима работы компрессора. Кроме того, выполняются лабораторные работы по методам испытания поршневых насосов. Например, при работе компрессора время наполнения ресивера составляет 10 минут. Для проверки системы автоматизации компрессора (в различных режимах), а также для проверки аварийных клапанов, необходимо повторение процедуры стравливания воздуха из ресивера и его наполнения 10 раз, т.е. 100 минут, а также 30 минут на выполнение других необходимых действий. Кроме того, при выполнении работ по техническому обслуживанию необходимо "ожидание наработки" в течении 1500 часов и т.д. В случае выполнения лабораторной работы по методам испытания поршневых насосов на имитаторе, потери времени сокращается более чем в 3 раза ( (100 + 30) минут / (10 + 30) минут). В случае выполнения лабораторной работы по техническому обслуживанию на имитаторе потери времени сокращается более чем в 750 раз ( 1500 часов / 2 часа ).

Таблица 2.3.2. Отношение временных затрат при проведении аналогичных работ на реальном оборудовании и имитаторах

Название	Затраты времени при обучении на реальном оборудовании	Затраты времени при обучении на имитаторе	Отношение временных затрат
Исследование кпд цилиндрического и червячного редуктора	410 минут	80 минут	> 5
Испытания образцов на выносливость при изгибе с вращением	43200 минут (реально не проводятся)	80 минут	> 500
Изучения методики проведения балансировки ротора центробежного насоса	60 минут	24 минуты	2,5
Автоматизация системы управления поршневым компрессором	130 минут	40 минут	>3
Техническое обслуживание поршневого компрессора	1500 часов (реально не проводятся)	2 часа	> 750

Вывод:

- Количественная оценка эффективности использования имитаторов с точки зрения ускорения обучения показала возможность значительного сокращения времени на обучение, т.е. создание и использование имитаторов позволяет значительно сократить время обучения (в указанных расчетах от 2,5 до 750 раз, таблица 2.6.). Это является очень ценным качеством имитаторов, как для учебных заведений, так и для учебных центров предприятий.

### 2.3.2. «Потоковое» обучение — снижение временных затрат

При использовании реального оборудования, как правило, сложно обеспечить качественное обучение множества специалистов в сжатые сроки. Если количество образцов учебного оборудование невелико, возникает ситуация, когда один обучаемый (или сам преподаватель/инструктор) выполняет работу, остальные вынуждены ожидать своей очереди. Фактически это приводит, или к «растягиванию» времени обучения (при

образовании очереди) или к уменьшению качества обучения (один выполняет действия — остальные наблюдают).

Возможность копирования (тиражирования) имитаторов на множество компьютеров позволяет вести обучение целой группы специалистов одновременно, при этом каждый специалист выполняет работу индивидуально. Для этого учебному заведению необходимо иметь соответствующее количество компьютеров, что, как доказано в главе 2.1., значительно дешевле покупки множества экземпляров оборудования.

Например, для проведения одного занятия по балансировке ротора центробежного насоса (главе 1.3.1.) необходимо 60 минут (на 1 ротор). Затраты времени на проведения индивидуального обучения группы из 10 человек потребуют 10 часов, группы из 20 человек — 20 часов и т. д. При наличии компьютерного класса с 20 компьютерами, обучение 20 человек займет один час.

Вывод:

Количественная оценка эффективности использования имитаторов с точки зрения ускорения обучения при большом количестве обучаемых также показала возможность значительного сокращения времени на обучение, т.е. создание и использование имитаторов позволяет значительно сократить время группового обучения кратно размеру группы (в приведенном примере - в 10, 20 раз). Это является очень ценным качеством имитаторов, как для учебных заведений, так и для учебных центров предприятий. Кроме того, такая возможность имитаторов обеспечивает индивидуальную работу студентов (см. главу 2.4.) и косвенно влияет на снижение стоимости обучения.

### **2.3.3. Возможность обучения специалистов еще до постройки нового технологического объекта**

В случае строительства нового производственного объекта или целого комплекса, в большинстве случаев необходимо обучение персонала (особенно, в случае применения новых типов конструкций, технологий и т.д.). Обучение специалистов после постройки объекта (т.е. на готовом объекте) влечет за собой «затягивание» сроков запуска объекта в эксплуатацию, а также является возможной причиной возникновения аварий (в силу «малоизученности» объекта). В работе [96] также указывается, что тренажеры незаменимы при внедрении новых технологических объектов в развивающихся регионах, где уровень подготовки операторского персонала весьма невысок. Также см. главу 2.6.

Вывод:

Данную способность имитаторов достаточно трудно переоценить. Количественная оценка эффективности использования имитаторов с учетом возможности обучения специалистов еще до постройки нового технологического объекта может быть определена как экономический доход предприятия за счет сокращения времени пуска конкретного объекта в эксплуатацию. Это является очень ценным качеством имитаторов, особенно для учебных центров развивающихся предприятий.

## 2.4. Повышение качества обучения

Повышение качества обучения при использовании имитаторов складывается из наличия следующего комплекса факторов:

- Проведение большего количества работ за тоже время.
- Обеспечение индивидуальной работы студентов.
- Возможность визуального наблюдения внутренней структуры изучаемого оборудования, микро- и макрообъектов и процессов, быстрых или медленных технологических и природных процессов или явлений.
- Возможность визуального наблюдения абстрактных понятий или концепций (например, визуализация накопления усталостных повреждений) и т. д.
- Возможность изменения конфигурации оборудования и параметров среды.
- Оценка возможных последствий альтернативных условий и направлений деятельности.
- Интерес к имитаторам, отсутствие ответственности и опасности, наличие возможности «экспериментировать».
- Возможность использования имитаторов при самостоятельной работе студентов.
- Возможность объективного контроля качества обучения.

Проведение большего количества работ. Возможность имитаторов «ускорять время» позволяет выполнять обучение быстрее, т.е. использование имитаторов позволяет выполнение большего количества лабораторных, практических работ, тренинга и т.д. В результате удается более эффективно использовать время? при необходимости достигнуть большего качества обучения. Более подробно данная способность имитаторов рассмотрена в главе 2.3.

Увеличение доли индивидуальной работы обучаемых. Проблема характерна в большей степени для ВПО/СПО. Индивидуальная работа в значительной степени отличается восприятием и запоминанием информации. По мнению Haskett consulting inc. (НСИ): "Люди запоминают 20 % того, что они видят, 40 % того, что они видят и слышат и 70 % того, что они видят, слышат и делают". Другими словами повышение качества обучения при использовании имитаторов возникает за счет увеличения эффективности восприятия информации (увеличение % запоминания информации). При использовании реального оборудования для проведения обучения достаточно сложно обеспечить индивидуальную работу с оборудованием каждого обучаемого. Как правило, один человек выполняет работу (управляет оборудованием), остальные записывают, например, показания приборов, не всегда понимая суть процесса. Причины такой ситуации понятны —

невозможность предоставления оборудования каждому студенту, нехватка времени для выполнения работы каждым студентом индивидуально. В свою очередь, использование имитаторов позволяет, в большинстве случаев, индивидуальное выполнение работы каждым студентом при наличии соответствующего количества компьютеров. Более подробно данная способность имитаторов рассмотрена в главе 2.1. и 2.3.)

Возможность визуального наблюдения внутренней структуры изучаемого оборудования, микро- и макрообъектов и процессов, быстрых или медленных технологических и природных процессов или явлений. При использовании имитаторов имеется возможность проведения работ с демонстрацией явлений и процессов, не наблюдаемых на реальном оборудовании в силу высокой опасности или значительной технической трудности. Данная способность имитаторов также рассматривается в главе 2.4.

Возможность визуального наблюдения абстрактных понятий или концепций (например, визуализация накопления усталостных повреждений) и т.д. Эта возможность имитаторов предоставляет принципиально новые возможности при обучении и может значительно содействует в понимании информации, что также существенно влияет на качество обучения.

Возможность изменения конфигурации оборудования и параметров среды. Например, проведение лабораторного практикума по исследованию влияния различных факторов на КПД редуктора, рассмотренного в главе 1.2.1. с использованием имитатора позволяет изучать влияние на КПД вязкости масла, типа подшипников, степени точности изготовления, передаточного числа и т.д. Как правило, реализация таких возможностей при помощи реального оборудования, несмотря на большой познавательный интерес, затруднена значительными трудностями технического плана. Изменение параметров среды, таких как барометрическое давление, температура, относительная влажность атмосферного воздуха и т.д. также является сложной задачей, которая может быть решена с помощью имитатора. Повышение качества обучения с учетом данного фактора достигается за счет лучшей систематизации знаний и понимания большего количества зависимостей. Данная способность имитаторов также рассматривается в главе 2.4.

Оценка возможных последствий альтернативных действий и альтернативных методов при решении поставленных задач. При использовании имитаторов обучаемые могут, в случае необходимости, экспериментировать, что вызывает дополнительный интерес и стимул к обучению. Это косвенно увеличивает эффективность обучения. Также этому способствует изначальный интерес специалистов к имитаторам, отсутствие ответственности и опасности. Это объясняется элементарным «любопытством», желанием экспериментировать и стремлением к исследованиям. Даже для опытного персонала ответ на вопрос «что будет, если» часто представляет большой интерес. В целом, указанные факторы

увеличивают мотивацию к обучению, что, как известно, существенно влияет на качество обучения.

Использование имитаторов при самостоятельной работе студентов также предоставляет дополнительные преимущества и возможности улучшения качества обучения. Использование имитаторов как элементов курсов в LMS — системах (системах дистанционного обучения) позволяет производить запуск имитаторов из дома, работы, общежития, и их любого места, где есть выход в сеть интернет. Такая возможность использования имитаторов в «самостоятельном» обучении сотрудников и студентов представляет значительные преимущества в решении вопроса повышения качества обучения. Данная способность имитаторов подробно рассматривается в главе 2.7.2., 2.1. и 2.9.

Возможность объективного контроля качества обучения. Использование имитаторов дает возможность объективного определения и точной оценки объема знаний, умений и навыков, как в комплексе, так и по отдельности (только знаний или только навыков). Кроме объективного контроля обучения, использование имитаторов позволяет выявлять изменения в ходе обучения, вопросы, требующие дополнительного изучения и т.д. Данная способность имитаторов подробно рассматривается в главе 2.4.

Вывод:

Рассмотренный комплекс факторов показал наличие разнообразных и значительных преимуществ при использовании имитаторов для повышения качества обучения, как для учебных заведений, так и для учебных центров предприятий.

Несмотря на априорное понимание эффективности рассмотренного комплекса факторов, количественное обоснование оценки эффективности использования имитаторов с точки зрения повышения качества обучения, вызывает значительные затруднения. Большинство существующих исследований связывает эффективность электронных образовательных ресурсов (к которым относятся и имитаторы) с тем, сколько запоминает обучаемый (это можно легко измерить). Хотя отмечаются и другие факторы, такие как развитие творческих способностей, профессиональной интуиции и т.д., единое мнение об оценке этих факторов отсутствует, что и является причиной затруднений при определении количественной оценки. В вопросе эффективности восприятия и запоминания информации наблюдается большая схожесть взглядов. При увеличении популярности имитаторов можно ожидать появления исследований в области педагогики.

## 2.5. Доходы от экспорта образовательных услуг

Доходы от экспорта образовательных услуг также являются фактором экономической эффективности имитаторов, заключающемся в возможности получения прибыли от:

- проведения курсов с использованием имитаторов (например, тренинга) для специалистов сторонних организаций;
- продажи имитаторов (или их аренда) сторонним организациям;
- разработка имитаторов по заданию заказчиков.

На сегодняшний день наблюдается достаточно интересная тенденция, - многие производители промышленного оборудования, кроме поставки непосредственно оборудования предлагают и различные имитаторы для обучения персонала навыкам работы с оборудованием.

Стоит отметить, что получаемая прибыль от продажи уже созданных имитаторов, как и любого другого программного обеспечения, практически не требует вложения каких-либо ресурсов или денежных средств. Проведение курсов с использованием имитаторов (например, тренинга) для специалистов сторонних организаций требует затрат только на подготовку необходимых сценариев обучения и оплату инструкторов, т.е. характеризуется минимальными затратами со стороны учебного заведения, которое проводит обучение (затраты на эксплуатацию имитаторов подробно рассмотрены в главе 2.1.).

**Вывод:**

Доходы от экспорта образовательных услуг могут стать дополнительным источником доходов, как для учебных заведений, так и для учебных центров предприятий.

## 2.6. Проведение исследований с помощью имитаторов

Доходы от проведения исследований с помощью имитаторов, заключаются в возможности получения прибыли от:

- воспроизведение и анализ аварий;
- анализ потенциальной опасности промышленных объектов;
- тестирование, настройка и оптимизация существующего технологического процесса, обнаружение его «узких мест»;
- ускорение ввода технологических установок в эксплуатацию.

Для реализации указанных возможностей имитаторы должны иметь достаточно адекватную и универсальную математическую модель (см. главу 2.5.).

Возможности имитаторов позволяют воспроизводить и анализировать аварии, для выяснения возможных причин аварии и снижения риска появления аварий в будущем. При воспроизведении аварии можно оценивать правильность действия рабочих по предотвращению аварии или ликвидации ее последствий. Такие исследования наиболее востребованы на опасных высокотехнологичных производствах.

Анализ потенциальной опасности промышленных объектов. Имитаторы можно использовать для анализа потенциальной опасности промышленных объектов, например, по методологии анализа опасностей по принципу «что будет, если» - HAZID или HAZOP (ГОСТ Р 51901.11-2005 Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство (МЭК 61882:2001)).

HAZOP - принятое в международной практике сокращенное обозначение исследования опасности и работоспособности, идентификации потенциальных опасностей в системе. Рассматриваемые опасности могут включать как опасности, касающиеся только самой системы, так и опасности со значительно более широкой сферой распространения, например, опасности для окружающей среды; идентификации потенциальных проблем работоспособности системы и, в частности, причин эксплуатационных нарушений и отклонений в производстве, приводящих к изготовлению несоответствующей продукции. Результаты исследований HAZOP, такие как идентификация потенциальных опасностей и проблем работоспособности, оказывают существенную помощь в определении необходимых корректирующих мероприятий. Характерная особенность исследования HAZOP - проведение экспертизы, в процессе которой группа специалистов в различных научных дисциплинах под руководством лидера систематически исследует соответствующие части проекта или системы. Она идентифицирует отклонения от целей проекта системы, используя базовый набор ключевых управляющих слов. Методика направлена на стимуляцию воображения участников для идентификации проблем опасности и

работоспособности системы. Методика HAZOP должна рассматриваться как расширение качественного исследования проекта, использующего экспериментальные методы.

Аналогично, при помощи имитаторов можно моделировать и анализировать возможные последствия аварий, результаты различных стратегий действий персонала и т. д. Данная способность имитаторов также описана в главе 2.2.3., 2.2.4.

Тестирование, настройка и оптимизация существующего технологического процесса, обнаружение его «узких мест». С помощью имитаторов можно исследовать параметры технологического процесса, в зависимости от различных условий, что дает возможность не только для тестирования и настройки, но и для обнаружения «узких» мест процесса и нахождения способов его оптимизации. В работе [26] приведен пример реализации такой возможности - по данным компании DuPont, расшивка «узких мест» процесса, проведенная с помощью компьютерного тренажера только на одной из установок, привела к увеличению выпуска продукции на 1%, что дало предприятию 1.4 млн. долл. в год.

Ускорение ввода технологических установок в эксплуатацию. Имитаторы могут использоваться для дополнительной тренировки персонала, с учетом особенностей работы оборудования и протекающих в нем процессов, что в определенных условиях может обеспечить ускорение ввода этого оборудования в эксплуатацию. Данная способность имитаторов также описана в главе 2.3.

## **2.7. Увеличение эффективности управления персоналом предприятия**

Перед системой управления персоналом на предприятии поставлены следующие задачи подготовки, переподготовки кадров и повышения их квалификации:

1. Выработка стратегии в формировании квалифицированных кадров.
2. Определение потребности в обучении кадров по отдельным его видам.
3. Правильный выбор форм и методов подготовки, переподготовки и повышения квалификации.
4. Выбор программно-методического и материально-технического обеспечения процесса обучения как важного условия качества обучения.
5. Финансирование всех видов обучения в необходимом количестве и контроль требуемого качества.

Подготовка, переподготовка и повышение квалификации персонала, является важным фактором в построении кадровой политики, т. к. эффективность действий персонала напрямую определяет экономическую эффективность производства. В свою очередь эффективность действий персонала (в т.ч. промышленная и экологическая безопасность) напрямую зависит от качества подготовки специалистов.

Из этого следует вывод о том, что система подготовки, переподготовки и повышения квалификации должна быть адаптивной, т. е. должна быстро менять содержание, методы, организационные формы обучения в соответствии с потребностями производства (рисунок 2.7.1.).

Правильное определение численности персонала для подготовки, переподготовки и повышения квалификации предполагает определение количества обучаемых, а также выбор форм обучения с учетом достижения нужного результата с минимизацией средств на ее проведение. Имитаторы могут быть успешно использованы, как при определении численности персонала для обучения, так и для достижения необходимого результата обучения и минимизации средств на подготовку.

Повышение квалификации проводится для совершенствования профессиональных знаний, умений и навыков, роста мастерства по уже имеющейся у работников профессии (т.е. обучаемые уже обладают определенными знаниями, умениями и навыками). Повышение квалификации осуществляется в течение всей трудовой деятельности работников (для многих специальностей существуют требования к периодичности повышения квалификации, обязательный тренинг после более 30-дневного отсутствия на рабочем месте предусмотрен и правилами Ростехнадзора).

Профессиональная подготовка (нового персонала) и переподготовка (работников предприятия) необходима для обучения персонала новой специальности. Количество персонала, проходящего подготовку и переподготовку, зависит от множества факторов, таких как количество высвобождаемого персонала, необходимость «расширения» производства и т. д.



Рисунок 2.7.1. Классификация обучения кадров

Имитаторы могут быть успешно использованы во всех видах и формах обучения персонала. Использование имитаторов, как будет показано далее, значительно увеличивает эффективность процедуры сертификации и аттестации специалистов, дает возможность проведения ускоренного обучения, возможность применения технологии дистанционного обучения и другие, т.е. использование имитаторов дает разнообразные возможности для увеличения эффективности управления персоналом.

### 2.7.1. Увеличение эффективности процедуры сертификации и аттестации специалистов

Имитаторы являются признанным средством сертификации работников предприятия. Более подробно данная особенность имитаторов приведена в главе 2.2.2. и 2.2.3. Использование имитаторов для аттестации и сертификации специалистов дает возможность более точно определять количество персонала для подготовки (повышение квалификации) вместе с определением необходимой «области» обучения. Использование имитаторов позволяет производить более точную оценку достигнутого квалификационного уровня, присвоенного разряда, его соответствия сложности выполняемых работ. Также имитаторы позволяют выявлять

изменения в ходе обучения - объем знаний, умений и навыков, как в комплексе, так и по отдельности. Данная особенность имитаторов приведена в главе 2.4.

Такая возможность имитаторов позволяет:

- проводить тренинг сотрудников предприятий после перерыва в работе (после периода фактического отсутствия на рабочем месте — больничный, командировки, отпуск по уходу за ребенком и т.д.);
- более точно определять количество персонала для подготовки, вместе с определением «области» обучения (глава 2.4.);
- объективно определять точную оценку достигнутого квалификационного уровня, присвоенного разряда и т.д. (глава 2.4.);
- выявлять изменения в ходе обучения по объему знаний, умений и навыков, как в комплексе, так и по отдельности (глава 2.4.).

### **2.7.2. Увеличение эффективности обучения персонала с использованием технологий дистанционного обучения**

Главная задача обучения и повышения квалификации специалистов - обеспечение быстрой реализации новых научных, технических, организационных и экономических идей в практику деятельности предприятия. Один из возможных путей достижения указанной задачи - использование дистанционных технологий обучения. Дистанционное обучение — совокупность технологий, обеспечивающих доставку обучаемым основного объема изучаемого материала, интерактивное взаимодействие обучаемых и преподавателей в процессе обучения, предоставление обучаемым возможности самостоятельной работы по освоению изучаемого материала, а также в процессе обучения [25]. Использование технологий дистанционного обучения позволяет:

- снизить затраты на проведение обучения (не требуется затрат на аренду помещений, поездок к месту учебы, как учащихся, так и преподавателей; другие факторы — оплата дополнительного учебного отпуска, заработная плата за высвобождаемое время при сокращенной рабочей неделе, оплата проезда к месту учебы и обратно, сокращенная рабочая неделя и т.д.);
- проводить обучение большего количества человек;
- повысить качество обучения за счет применения современных средств, объемных электронных библиотек и т.д.
- создать единую образовательную среду, что особенно актуально для корпоративного обучения;
- переход от сложившейся практики периодического (эпизодического) обучения к непрерывному.

Главная проблема, существенно затрудняющая использование технологий ДО в техническом образовании, - необходимость выполнения практических работ на оборудовании. Использование имитаторов полностью решает эту проблему (см. главу 2.9.).

### **2.7.3. Увеличение эффективности обучения специалистов за счет увеличения внутренней мотивации**

Использование имитаторов вызывает дополнительный интерес и стимул к обучению (см. главу 2.4.). Этот факт, вместе с возможностью использования имитаторов при самостоятельной работе студентов также предоставляет дополнительные преимущества и возможности улучшения эффективности обучения. Данная способность имитаторов подробно рассматривается в главе 2.4.

### **2.7.4. Подготовка «смежных» категорий (профессий) специалистов**

Система подготовки, переподготовки и повышения квалификации персонала, должна учитывать изменения потребности производства в количестве специалистов различных специальностей. В процессе подготовки и повышения квалификации персонала достаточно часто возникает необходимость дополнительного обучения по смежным профессиям. Понимание одной категории работников (например, технологов) содержания и функции профессии другой категории (например, операторов) может значительно повысить их взаимопонимание и увеличить эффективность труда в целом. Такого эффекта можно добиться при наличии необходимых имитаторов для различных категорий (профессий), т. е. имитаторы можно использовать для подготовки специалистов «смежных» профессий. Для образовательных учреждений это означает возможность повторного использования имитаторов для студентов других специальностей.

### **2.7.5. Повышение имиджа предприятия и его руководства**

Использование имитаторов является современным и эффективным способом обучения персонала. Результатом обучения на имитаторах является в том числе и повышение эффективности охраны труда, повышение промышленной и экологической безопасности (глава 2.2.), что достаточно положительно воспринимается персоналом предприятия и, в свою очередь, влияет на повышение имиджа предприятия и его руководства. Это может положительно повлиять и укрепить «корпоративный дух» и корпоративную культуру работников предприятия, позволяет решить множество проблем, возникающих на предприятии, оказывает положительное влияние на эффективность функционирования предприятия в целом.

### **2.7.6. Решение проблемы «текучести кадров» и сокращение времени на обучение**

Текучесть персонала - движение рабочей силы, обусловленное неудовлетворенностью работника рабочим местом или неудовлетворенностью организации конкретным работником. Различают естественную и излишнюю текучесть кадров. Естественная текучесть (3-5% в год) способствует своевременному обновлению коллектива и не требует особых мер со стороны руководства и кадровой службы. Излишняя текучесть вызывает значительные экономические потери, а также создает организационные, кадровые, технологические и психологические трудности. Возможности имитаторов для ускорения и увеличения качества подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров (глава 2.3., 2.4.) существенно снижает проблему, связанную с необходимостью быстрого обучения новых кадров, возникающую при «текучести кадров».

Рассмотренный комплекс факторов показал наличие разнообразных и значительных преимуществ от использования имитаторов, которые могут увеличить эффективность управления персоналом предприятия в целом.

## 2.8. Преимущества для учебных заведений

Преимущества от использования имитаторов для учебных заведений инженерно-технической направленности, как и для учебных центров предприятий, достаточно разнообразны и значительны.

Все описанные в предыдущих главах факторы эффективности имитаторов, такие как снижение стоимости образовательных услуг, снижение потенциальных потерь, ускорение обучения, повышение качества обучения, доходы от экспорта образовательных услуг, проведение исследований и увеличение эффективности управления персоналом являются достаточно важными для всех учебных заведений. Тем не менее, изучение специфики деятельности учебных заведений позволяет выделить ряд дополнительных факторов эффективности имитаторов, применительно к учебным заведениям, а именно:

- увеличение количества обучаемых за счет подготовки «производственников»;
- увеличение количества обучаемых за счет увеличения эффективности профориентационной работы и рекламы специальностей учебного заведения;
- увеличение количества обучаемых за счет возможности подготовки специалистов технических специальностей с использованием технологий дистанционного обучения;
- увеличение показателей трудоустройства выпускаемых специалистов;
- повышение имиджа предприятия и его руководства;
- решение проблемы «текучести кадров» в учебном заведении.

Наличие у учебного заведения современных и эффективных средств обучения — имитаторов, с учетом возможности ускоренного обучения и повышения качества обучения, создает предпосылки к увеличению количества обучаемых за счет подготовки большего количества «производственников», т.к. многие учебные заведения проводят повышение квалификации работников профильных предприятий.

Использование имитаторов в профориентационной работе и рекламе специальностей учебного заведения также является конкурентным преимуществом перед другими учебными заведениями и способствует увеличению количества абитуриентов. Используя имитаторы, абитуриенты имеют возможность ознакомиться с будущей профессией, что играет немаловажную роли при выборе ими той или иной профессии. Имитаторы можно использовать на образовательных выставках, днях «открытых дверей», во время работы приемных комиссий, в рекламе в средствах массовых коммуникаций, интернете и т.д.

Главная проблема, существенно затрудняющая использование технологий ДО в техническом образовании, - необходимость выполнения

практических работ на оборудовании. Использование имитаторов полностью решает эту проблему (см. главу 2.9.). что также является конкурентным преимуществом перед другими учебными заведениями и способствует увеличению количества обучаемых за счет возможности подготовки специалистов технических специальностей с использованием технологий дистанционного обучения (см. главу 2.7.2.).

Использование имитаторов позволяет увеличить показатели трудоустройства выпускаемых специалистов. Первая причина заключается в положительном отношении работодателей («производства») к имитаторам, так как сами работники предприятий положительно относятся к тренажерной подготовке, а кроме того, подготовленного специалиста нужно меньше доучивать. Если обучение студентов производится на тех-же имитаторах, что используются на производстве, работодатель может быть уверен в эффективности такого обучения. Вторая причина заключается в том, что обучающиеся при использовании «классических» методов обучения, зачастую не проявляют должной мотивации к получению знаний, умений и навыков, в результате не проходят конкурсный отбор при трудоустройстве. При обучении на имитаторах, как правило, мотивация к получению знаний намного выше (глава 2.4.). В результате, использование имитаторов приводит к увеличению показателей трудоустройства выпускаемых специалистов, что дополнительно может влиять на увеличение поступающих абитуриентов.

Использование имитаторов является современным и очень эффективным способом обучения студентов, что в свою очередь влияет на повышение имиджа учебного заведения и его руководства. Это может положительно повлиять и укрепить «корпоративный дух» и оказать положительное влияние на эффективность учебной деятельности в учебном заведении в целом (аналогично главе 2.7.5.).

Качественная подготовка студентов во многом зависит от знаний и опыта профессорско-преподавательского состава. Как и в случае, указанном в главе 2.7.6., излишняя текучесть является для учебного заведения причиной значительных экономических потерь, а также создает организационные, кадровые, технологические и психологические трудности. Возможности имитаторов для ускорения и увеличения качества подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров (в данном случае, самих преподавателей) существенно снижает проблему, связанную с необходимостью быстрого обучения новых кадров, возникающую при «текучести кадров» (глава 2.3., 2.4.).

Рассмотренный комплекс факторов показал наличие разнообразных и значительных преимуществ от использования имитаторов, что дает учебному заведению существенное конкурентное преимущество.

## 2.9. Вывод

Определение и обоснование ключевых показателей эффективности имитаторов (как для учебных центров предприятий, так и для учебных заведений) позволяет сделать следующий вывод — использование имитаторов значительно увеличивает эффективность сразу по пяти ключевым направлениям:

- повышения качества обучения;
- снижение затрат на обучение;
- снижение времени обучения;
- возможность подготовки большего количества обучаемых;
- снижение опасности при обучении, повышение эффективности охраны труда, промышленной и экологической безопасности.

Кроме указанных ключевых направлений, использование имитаторов предоставляет десятки разнообразных преимуществ, грамотное использование которых также может обеспечить существенное конкурентное преимущество, как для промышленности, так и для учебных заведений. Использование имитаторов открывает совершенно новые возможности как при переподготовке специалистов на производстве, так и при обучении студентов в вузе.

Также возможно использование имитаторов не только для обучения, но и в реальной работе, описанные в главе 3.5.7. (смешанная реальность (Mix Reality)), что также предоставляет достаточно интересные преимущества.

### **3. Систематизация пользовательских требований и критериев оценки имитаторов**

Данная глава посвящена определению и систематизации важных требований к имитаторам с точки зрения различных категорий пользователей — заказчиков имитаторов, обучаемых, инструкторов, разработчиков и т. д. Соблюдение этих требований позволит заказчикам считать, что имитаторы, которые они закупают, будут продуктивными, эффективными, безопасными и комфортными в использовании. Обучаемые, инструкторы и разработчики также смогут иметь в своем распоряжении некоторый эталон, который позволит оценить используемый или разрабатываемый продукт.

Для реализации поставленной задачи определяются критерии оценки эффективности имитаторов, а также методика оценки. Формулируется дифференцированный набор проблем, характерных для определенных классов областей применения имитаторов. Вопросы практической реализации поставленных требований рассматриваются в главе 4.

Большинство исследований связывает эффективность электронных образовательных ресурсов, в частности, имитаторов, с тем, сколько запоминает обучаемый (это можно легко измерить). Хотя отмечаются и другие факторы, такие как 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, имитаторы имеют достаточно высокую эффективность среди ЭОР в плане запоминания информации и, как было показано ранее, имеют некоторые дополнительные возможности.

Существует большое количество рекомендаций, касающихся увеличения эффективности электронных образовательных ресурсов. Однако большая их часть не может быть применена к имитаторам, так как не учитывает их специфику. На основе опыта проектирования и использования имитаторов в НИИ ЭОР ТюмГНГУ [9;15;33;34;35;71;36;37;12;11;13;14;10], а также изучения множества материалов конференций посвященных имитаторам, I/ITSEC, The Winter Simulation Conference (WSC), SISO Fall Simulation Interoperability Workshop (SIW), SISO Spring Simulation Interoperability Workshop (SIW), CyberTherapy Conference, ITEC (European Simulation Conference), FSEMC (Flight Simulator Engineering & Maintenance Conference) и множества других источников, найдены и сформулированы основные факторы, влияющие на эффективность имитаторов. Было установлено, что эффективность, с точки зрения пользователей, зависит от следующих групп факторов:

- напрямую влияющие на эффективность восприятия и запоминания информации;
- не влияющие напрямую на эффективность восприятия и запоминания информации, но представляющие важность при создании (разработка технического задания и технических требований), внедрении и эксплуатации имитаторов.

К первой группе факторов относятся:

- общие эргономические требования (индивидуализация, удобство обучения, ясность, четкость, облегчение понимания, устранение перегрузки восприятия, учет психофизиологических особенностей людей с ограниченными возможностями и т.д.);
- уровень соответствия (подобия) синтезируемого изображения оригиналу;
- уровень соответствия синтезируемого звукового окружения оригиналу;
- уровень соответствия механизмов управления оригиналу (ввод информации, перчатки, VR);
- адекватность и универсальность математической модели;
- возможность работы в реальном времени, а также в ином масштабе времени.
- многопользовательский доступ.

Вторая группа представлена следующими факторами:

- распределенные имитационные системы (IEEE1516, OPC и т.д.);
- соответствие и выполняемых операций требованиям ГОСТ и другим нормативным документам;
- SCORM и ADL сертификация;
- количество поддерживаемых программно-аппаратных платформ);
- схемы лицензирования (GPL, LGPL и др.), авторские свидетельства и т.д.;
- отраслевая сертификация имитаторов;
- наличие встроенных средств автоматического и полуавтоматического диагностирования и калибровки и т.д.

### 3.1. Базовые эргономические требования и рекомендации

На имитаторы, как на программно-аппаратное обеспечение, распространяется группа стандартов, определяющих эргономические требования по работе с компьютерными системами. В эту группу можно отнести следующие стандарты:

- ISO 9241 — «Эргономика человеко-машинного взаимодействия».
- ISO 10075 - Эргономические принципы, относящиеся к умственной нагрузке при работе с интерактивными системами;
- ISO 14915 — эргономика программного обеспечения мультимедийных пользовательских интерфейсов.

Стандарт ISO 9241 - «Эргономика человеко-машинного взаимодействия» состоит из следующих частей: Серия 100: Эргономика программного обеспечения; Серия 200: Способы человеко-машинного взаимодействия; Серия 300: Дисплеи и связанное оборудование; Серия 400: Устройства ввода и их эргономические свойства; Серия 500: Эргономика рабочего места; Серия 600: Эргономика системного ландшафта; Серия 700: Залы управления - прикладной аспект; Серия 900: Тактильное взаимодействие

Разработкой стандарта ISO 9241 занимается подкомитет ПК 4 "Эргономика взаимодействия человека и системы" технического комитета ISO TC 159 SC4. Технические требования предъявляются к безопасности, качеству и удобству восприятия для пользователя, а также к методам испытаний и метрологии, необходимым для оценки эргономики. В настоящий момент данный стандарт постоянно развивается и дополняется. Многие из частей еще не изданы и находятся на стадии согласования.

Изучение 1 части ISO 9241 дает пояснение принципам, лежащим в основе стандарта. Приводится описание подхода к производительности пользователя и информация о том, как использовать стандарт и как должен предоставляться отчет относительно соответствия частям ISO 9241. Большинство частей стандарта представляют относительно общие эргономические требования для обеспечения эффективной эксплуатации, комфортных и безопасных условий для пользователя:

1. Требования к аппаратным средствам, такие как требования к клавиатуре (часть 4), требования, предъявляемые к устройствам ввода без клавиатуры (часть 9), требования, предъявляемые к устройствам отображения (часть 3), требования, предъявляемые к дисплеям с отражениями (часть 7), требования, предъявляемые к отображаемым цветам для многоцветных дисплеев (часть 8).

2. Требования к компоновке рабочего места и положению тела (часть 5), а также предъявляемые к окружающей среде на рабочем месте (визуальные, акустические, термические характеристики, часть 6).
3. Рекомендации при представлении и предоставлении информации в зрительной форме (часть 12), эргономические принципы, которые применяются для конструирования диалога между человеком и информационными системами (часть 10), диалоги типа выбора меню, представляет собой руководство по проектированию систем на основе меню (часть 14), руководство для конструирования командных диалогов, основанных на применении текста (часть 15), диалоги типа заполнения формы (часть 17)
4. Руководство пользователя (часть 13), обеспечивает изготовителей действующими руководствами по тому, как обеспечить руководства для пользователей.
5. Руководство по оценке пригодности (часть 11), помогает тем, кто привлекается для определения или оценки пригодности системы.

Большая часть требований и рекомендаций, указанных в рассматриваемых стандартах, не учитывает специфику имитаторов и направлена на "Эргономику системы" в целом. Тем не менее, приведенные требования и рекомендации охватывают вопросы эффективной эксплуатации, комфортных и безопасных условий для пользователя и, в силу этого, представляются достаточно важными, в т.ч. и для имитаторов.

Отдельный интерес для имитаторов представляют такие требования и рекомендации как:

- Самоописываемость. Пример: При перемещении курсора над элементом схемы, отображается всплывающее окно с описанием элемента (рисунок 3.1.1.).

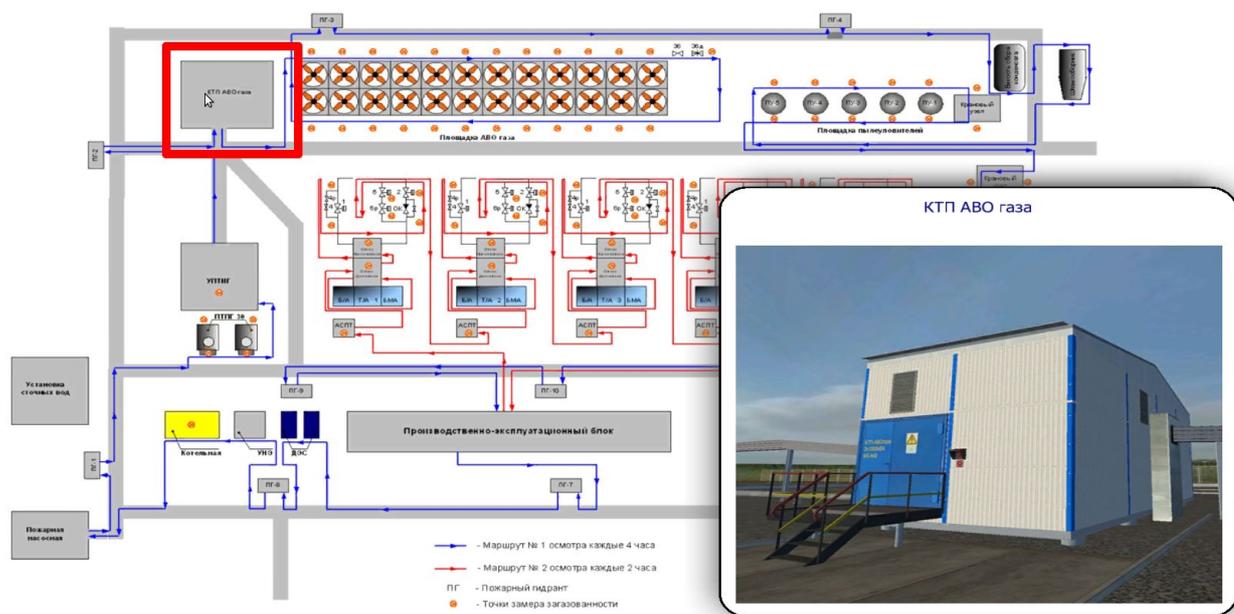


Рисунок 3.1.1. Пример всплывающего окна с описанием элемента

- Управляемость. Пример: Пользователь может настраивать различные параметры имитатора, например, метод получения объемного изображения, используемые устройства VR и т.д.
- Согласованность с ожиданиями пользователя. Пример: Работа пользователя с имитатором является единообразной, т. е. механизмы управления, элементы интерфейса и т. д. Должны быть выдержаны в едином стиле.
- Устойчивость к ошибкам пользователя. Пример: Если пользователь ошибся, например, случайно изменил какой-либо параметр в настройках программы, должна существовать возможность отмены изменений. Важные действия, такие как очистка статистики выполнения имитатора должны сопровождаться вопросом о уверенности пользователя и, возможно, вводом пароля.
- Возможность индивидуализации. Пример: Пользователь может настраивать общую громкость звука, чувствительность мыши и другие параметры.
- Удобство обучения. Пример: Наличие вспомогательных справочных материалов, подсказок и т. д. Наличие различных по сложности режимов обучения, например, режим обучения, режим тренировки, режим экзамена и т.д.
- Обнаруживаемость. Пример: Элементы интерфейса имитатора должны быть легко заметны, чтобы пользователь мог легко их обнаружить.
- Различимость. Пример: Для того, чтобы пользователь не «пропустил» какое-либо важное событие в имитаторе, можно использовать громкий голос, подсветку необходимой части изображения и т.д.
- Ясность. Пример: Синтезируемое изображение и звук какого-либо объекта или процесса должны быть легко узнаваемые, пользователь не должен терять время в попытках понять, что он видит или слышит.
- Четкость. Пример: Управляющие элементы в имитаторе должны иметь достаточные размеры для работы с ними при помощи манипулятора мышь и т.д.
- Последовательность. Пример: При наличии различных по сложности режимов обучения, (режим обучения, режим тренировки, режим экзамена и т.д.) элементы интерфейса имитатора должны оставаться неизменными.
- Лаконичность. Пример: Дополнительная информация или подсказки предоставляют информацию только для выполнения необходимого в данный момент действия, а не всю имеющуюся.
- Удобочитаемость. Пример: При чтении текстовых документов пользователь должен иметь возможность изменять размер отображаемого текста, цвет текста, цвет фона и т.д.
- Облегчение понимания. Пример: В процессе голосового объяснения работы устройства на синтезируемом изображении подсвечиваются соответствующие участки.

- Устранение перегрузки восприятия. Пример: Пользователь должен иметь возможность временно отключать такие средства как всплывающие подсказки, дополнительные справочные материалы и т.д. во время выполнения на имитаторе ответственных операций.
- Устранение перегрузки, вызываемой дополнительными действиями. Пример: Пользователь не должен ощущать дискомфорт в попытках понять или вспомнить, каким образом выполнить привычные (в реальности) для него действия на имитаторе.
- Учет особенностей восприятия. Пример: Должна учитываться возможная ограниченность восприятия отдельных типов информации (глухота, дальтонизм и др.).
- Содействие пониманию информации. Пример: При исследовании схемы могут применяться различные вспомогательные элементы, например увеличение изображения схемы, скрытие и показ размерных линий, совмещение с фотографией объекта и т.д.
- Удобство изучения. Пример: На удобство изучения влияет множество факторов, например, характеристики технического обеспечения имитатора, такие как разрешающая способность видеосистемы, яркость, контраст, качество громкоговорителей и т.д.
- Поддержка изучения. Пример: Пользователь может выходить за рамки поставленной задачи для более подробного изучения объекта или процесса (если это не запрещено).
- Поддержка интуитивно понятной навигации. Пример: Навигация по различным меню и режимам имитатора должна происходить единообразным и понятным для пользователя образом.
- Обеспечение альтернативных методов навигации. Пример: Доступ к меню или режимам имитатора возможен как с помощью пиктограмм, так и с помощью «горячих» клавиш.
- Структурирование информации. Пример: Методические указания могут быть концептуально структурированы например: Введение, теория, применяемое оборудование и инструменты, порядок выполнения работы, форма отчета и т.д.
- Возможность возврата к важным точкам. Пример: Пользователь должен иметь возможность вернуться к важным точкам при работе с имитатором, например наиболее часто допускаемым ошибкам.
- Обеспечение функций поиска и навигации. Пример: Средства просмотра текстовых и графических материалов должны иметь в своем составе развитую систему поиска текста в документе, развитые средства навигации, масштабирование просмотра и т.д.
- Различные режимы просмотра объектов. Пример: Осмотр оборудования на имитаторе может включать возможность выбора величины «прозрачности» необходимых деталей для более подробного изучения принципа работы устройства, комбинирование

синтезируемого трехмерного изображения с чертежами оборудования и т.д.

- Привлекательность. Пример: Высокая степень соответствия синтезируемого изображения и звука увеличивает реализм имитатора, что увеличивает интерес обучаемого.

Методика оценки качества соблюдения эргономических требований основана на 1 части ISO 9241, где описано использование стандарта и предоставление отчета относительно соответствия различным частям ISO 9241. Независимая сертификация может быть выполнена множеством специализированных компаний, например: Board of Certification in Professional Ergonomics ([www.bcpe.org](http://www.bcpe.org)), CUA Certification (Certified Usability Analyst) ([www.humanfactors.com/training/certification.asp](http://www.humanfactors.com/training/certification.asp)), Alan Cooper's Company ([www.cooper.com/services/training/certification.html](http://www.cooper.com/services/training/certification.html)) и др. В России действует группа по вопросам эргономики программного обеспечения, объединяющая разработчиков, тестировщиков, маркетологов, технических писателей, службу поддержки и других специалистов - «UX Russia» (<http://groups.google.com/group/uxrussia>).

### **3.2. Уровень соответствия (подобия) синтезируемого изображения оригиналу**

Уровень соответствия синтезируемого изображения оригиналу является важным фактором, от которого зависит эффективность имитатора в целом. Синтезируемое изображение какого-либо объекта, детали или процессов 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 подобии 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, создающих условия объемного восприятия. Как правило, такие средства используются в системах виртуальной реальности (стереоскопическая визуализация, голографическая визуализация, визуализация на объемных носителях и т. д.). Более подробно указанные средства рассматриваются в главе, целиком посвященной системам формирования виртуальной реальности.

При психофизическом (физиологическом) подобии 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 имитатора, в то время как второстепенные объекты могут иметь психологическое подобие.

В настоящее время для определения уровня подобия синтезируемого изображения применяется экспертный метод (не требует наличия метрического пакета, нет необходимости в проведении замеров, статистической обработки и т.д.), т.к. использование иных методов, например экспериментального, на основе корреляционных зависимостей и т.д. не представляется возможным.

Для использования экспертного метода оценки необходимо назначить качественные, сравнительно-количественные или количественные показатели на основе их принятия или соглашения. Наиболее эффективно использование экспертов, имеющих опыт работы на имитируемом объекте. Точность оценки в любом случае является субъективной и напрямую зависит от компетенции экспертов. Ошибки оценки увеличивают риск обнаружения ошибок во время эксплуатации имитатора.



Рисунок 3.2.1. Психофизическое подобие

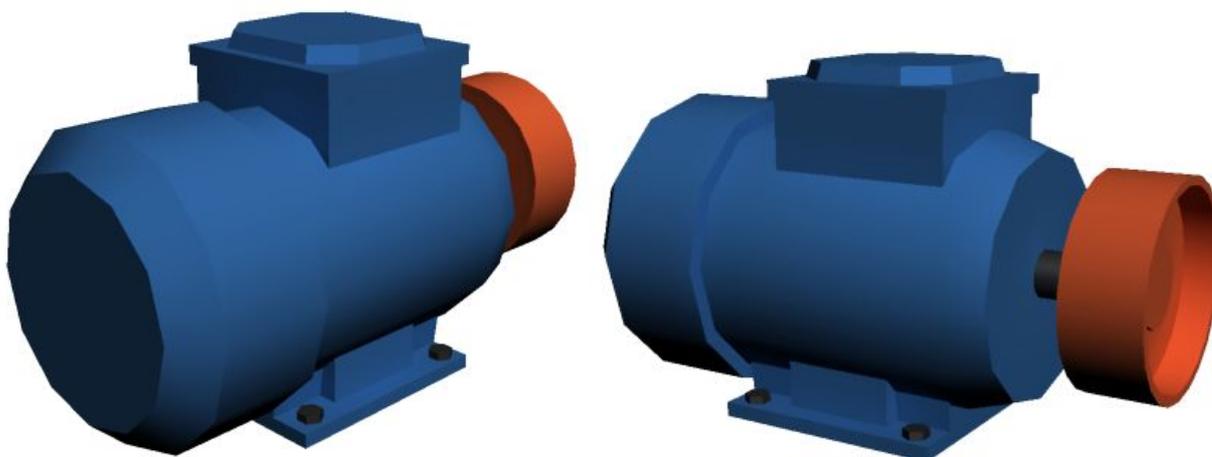


Рисунок 3.2.2. Психологическое подобие



Рисунок 3.2.3. Фотография

### 3.3. Уровень соответствия синтезируемого звукового окружения оригиналу

Данный фактор улучшает эффективность имитатора 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 реалистичную звуковую картину. Для получения реалистичного 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. 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 т.д. Более подробно указанные технологии и их реализация рассматриваются в 4 главе.

В целом, высокий уровень соответствия синтезируемого звукового окружения оригиналу может повысить эффективность имитатора в целом, за счет более полного представления пользователя о происходящих действиях.

В руководстве по оценке качества реализации звука фирмы Creative Technology (EAX Quality Assurance. A Guide to Testing Positional Audio and EAX) определены 6 тестов, позволяющих оценить итоговую эффективность синтеза звука с помощью применяется экспертного метода (таблица). Также как и при оценке изображения, наиболее эффективно использование экспертов, имеющих опыт работы на имитируемом объекте. Ошибки оценки увеличивают риск обнаружения ошибок во время эксплуатации имитатора.

Таблица 3.3.1. Оценка качества звукового сопровождения. (EAX Quality Assurance)

Оцениваемый элемент	Балл
Возможность использования многоканального звука	0\ 1
Учет влияния вертикальной ориентации пользователя при формировании звукового сопровождения (3D)	0\ 1
Возможность выбора конфигурации акустической системы	0\ 1
Единое звуковое окружение при многопользовательском доступе	0\ 1
Эффект затухания звука	0\ 1
Возможность воспроизведения только слышимых звуков	0\ 1
ИТОГ	0..6

### **3.4. Уровень соответствия механизмов взаимодействия между пользователем и имитатором оригиналу**

В приведенной ранее классификации имитаторов по используемым средствам и методам взаимодействия обучаемого с имитатором указано, что процессы передачи на основные органы восприятия пользователя программно управляемых воздействий, а также процессы получения производимых пользователем действий для последующего обеспечения реалистичной реакции имитируемой среды реализуются при помощи различных методов и аппаратных средств:

1. на основе стандартных средств ввода\вывода;
2. полная или частичная копия рабочего места «в железе» (полномасштабные модели щитов управления и т.д.);
3. На основе систем формирования виртуальной реальности.

Под стандартными средствами ввода\вывода понимаются такие периферийные устройства персонального компьютера как монитор, клавиатура, мышь, джойстик. Методы реализации взаимодействия с пользователем при помощи указанных аппаратных средств представляются достаточно тривиальными и не требуют более детального описания. Такая форма взаимодействия является эффективной в том случае, если совпадает с формой взаимодействия между пользователем и реальным объектом (например, оператор процесса может реально иметь компьютер на рабочем месте и, соответственно, выполнять определенные действия при помощи клавиатуры и мыши). В других случаях данная форма взаимодействия снижает эффективность имитатора, т. к. обучаемый чувствует разницу между действиями, производимыми при управлении реальным объектом и действиями, совершаемыми им для решения тех же задач в имитаторе. Например процесс управления объектом в 3D пространстве, особенно если объект имеет 3 степени свободы при помощи манипулятора мышь (2 степени свободы) вызывает большие затруднения.

Полная или частичная копия рабочего места «в железе» также часто применяется в реализации взаимодействия с пользователем, как правило, в полномасштабных тренажерах, в задачах выработки моторных навыков управления. Наличие копии рабочего места строго регламентировано для тренажеров в различных областях промышленности (авиация, атомная энергетика и т.д.). В ГОСТ 26387-84 "Система человек-машина. Термины и определения" [17] указано, что тренажер в обязательном порядке должен иметь конструктивную часть, т. е. точную копию рабочего места оператора. В качестве примера можно привести тренажеры из главы 1.1., а также тренажеры специальной техники на рисунках 3.4.1 — 3.4.3.



Рисунок 3.4.1. Полная или частичная копия рабочего места «в железе» также часто применяется в реализации взаимодействия с пользователем.



Рисунок 3.4.2. Авиационный тренажер компании CAE



Рисунок 3.4.3. Тренажеры для обучения локомотивных бригад (РЖД)

Реализация взаимодействия при помощи технологии формирования виртуальной реальности является относительно новым способом, основанным на системе позиционирования и системе имитации воздействия среды. Система позиционирования – совокупность устройств, позволяющих отслеживать положение пользователя в виртуальном пространстве и производимые им действия. Система имитации воздействия среды (осязания) обеспечивает имитацию силового сопротивления (необходимость приложения силы) при взаимодействии с виртуальными объектами. Может быть реализована на основе устройств, использующих магнитный, ультразвуковой, оптический, механический или инерциальный принципы [129;99]. Использование каждого из перечисленных подходов имеет преимущества и недостатки, в зависимости от заданных условий эксплуатации. Существующие системы позиционирования представлены как отдельными датчиками, так и в составе таких устройств, как виртуальные перчатки, шлемы и т.д. Устройства имитации осязания, например, могут быть представлены как простой перчаткой с сенсорным контактом, так и полной моделью, обеспечивающей силовое сопротивление во всех суставах рук или ног, специальными платформами и т.д. Более подробно указанные средства рассматриваются в главе, целиком посвященной системам формирования виртуальной реальности.



Рисунок 3.4.4. Пример использования устройств ввода системы формирования виртуальной реальности - (перчатка и шлем).

В любом случае, высокий уровень соответствия механизмов взаимодействия между пользователем и имитатором оригиналу может повысить эффективность имитатора в целом. Возможна ситуация, когда пользователь, зная, какие действия нужно произвести, может не успеть этого сделать из-за потери времени, в попытках понять, как выполнить привычные (в реальности) для него действия в имитаторе. Это возможно при непродуманной системе управления тренажером. С другой стороны, система управления, в некоторых случаях, не должна позволять большего количества действий в единицу времени, чем это возможно в реальности. Также должна учитываться антропометрическая совместимость (учет размеров тела человека), сенсомоторная совместимость (учет скорости моторных операций человека и его сенсорных реакций), энергетическая совместимость (учет силовых возможностей человека).

При оценке степени соответствия соответствия механизмов взаимодействия целесообразно использовать экспертный метод. Для использования экспертного метода оценки необходимо назначить качественные, сравнительно-количественные или количественные показатели на основе их принятия или соглашения. Наиболее эффективно использование экспертов, имеющих опыт работы на имитируемом объекте. Точность оценки в любом случае является субъективной и напрямую зависит от компетенции и опыта экспертов. Неточности оценки увеличивают риск обнаружения ошибок во время эксплуатации имитатора.

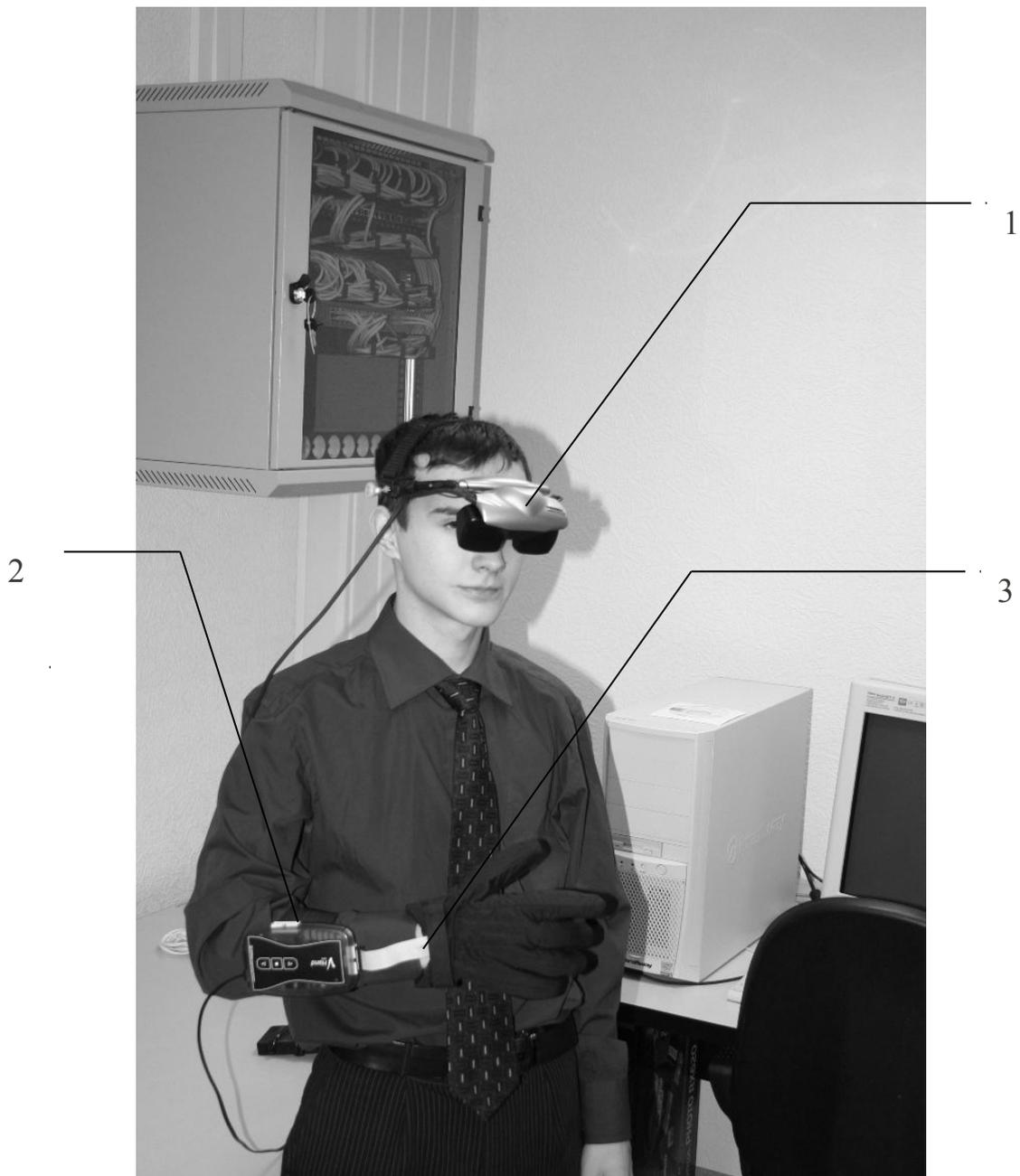


Рисунок 3.4.5. Использование устройств формирования виртуальной реальности  
(1- Z800; 2 - 5DT Data Glove; 3-датчик положения кисти)

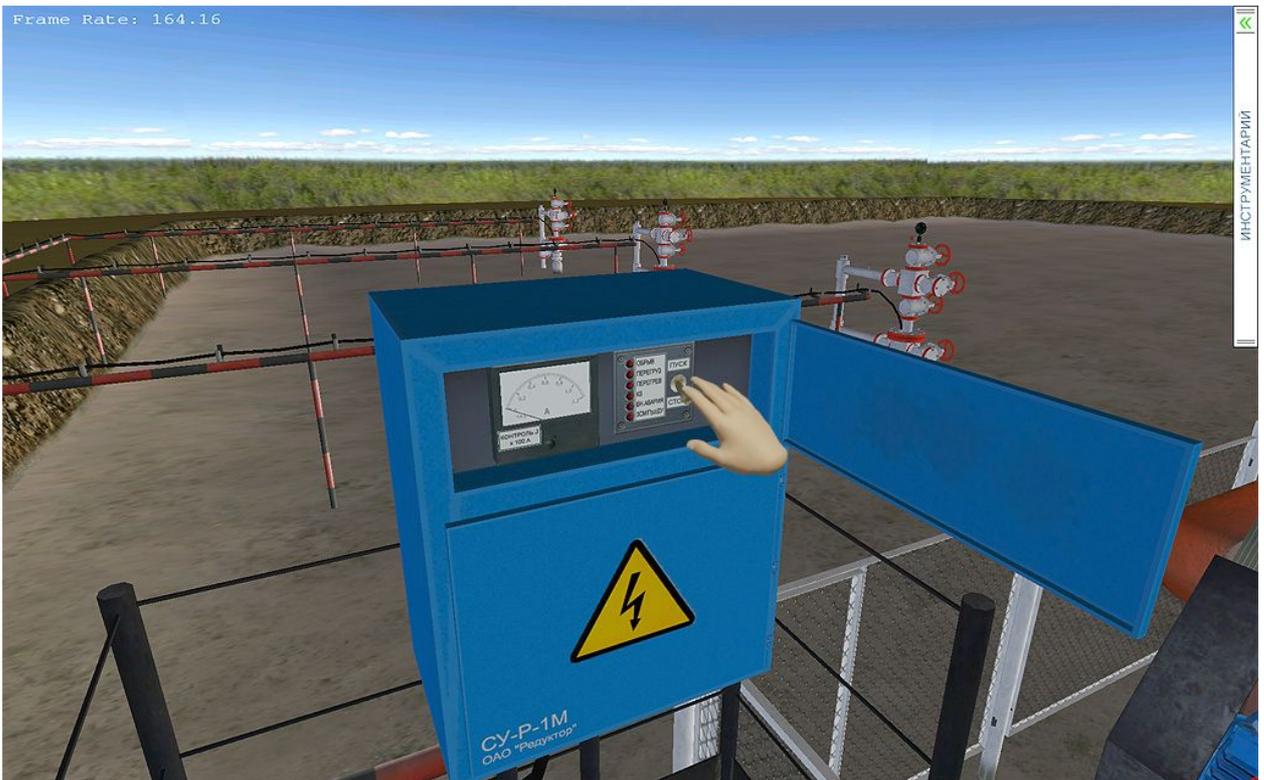


Рисунок 3.4.6. Пример того, что видит обучаемый, в т.ч. демонстрация управления при помощи виртуальной перчатки



Рисунок 3.4.7. Демонстрация управления при помощи двух виртуальных перчаток

Также стоит отметить вопросы эргономики человеко-компьютерного взаимодействия. На сегодняшний день вопросы человеко-компьютерного взаимодействия частично рассмотрены в ГОСТ Р ISO 9241 — «Эргономика

человеко-машинного взаимодействия» в серии 200: «Способы человеко-машинного взаимодействия». Также комитетом ISO планируется издание целой группы стандартов, относительно использования физических устройств ввода: устройств ввода для сред формирования виртуальной реальности, устройств с обратной связью, тактильных взаимодействий и т.д. В списке на данный момент неопубликованных и дорабатываемых частей стандарта ISO 9241, представляют интерес следующие части:

- ISO 9241 Part 153 Virtual reality
- ISO 9241 Part 420 Selection procedures for physical input devices Under preparation
- ISO 9241 Part 421 Workplace test and evaluation methods for the use of physical input devices
- ISO 9241 Part 900 Introduction to tactile and haptic interactions
- ISO 9241 Part 910 Framework for tactile and haptic interactions
- ISO 9241 Part 920 Guidance on tactile and haptic interactions Under preparation
- ISO 9241 Part 930 Haptic and tactile interactions in multimodal environments
- ISO 9241 Part 940 Evaluation of tactile and haptic Interactions
- ISO 9241 Part 971 Haptic and tactile interfaces to publicly available devices

### **3.5. Адекватность, универсальность и экономичность математической модели**

Реалистичное поведение имитируемой модели увеличивает эффективность имитатора 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. Возможность изучения влияния большего числа параметров представляет больший исследовательский интерес, так как при работе с реальным оборудованием нередко возникают ситуации, изменяющие условия его работы. Примерами могут служить изменение состояния атмосферного воздуха (температура, давление, влажность и т.д.), различные характеристики оборудования, его износ и т.д.

Реалистичное поведение имитируемой модели целиком и полностью зависит от качества реализации математической модели. Под математической моделью понимается система математических соотношений, описывающих с требуемой точностью изучаемый объект и его поведение (что и определяет соответствие поведения реальной системы и поведения модели). При построении математических моделей используют различные математические средства описания объекта: теорию множеств, теорию графов, теорию вероятностей, математическую логику, математическое программирование, дифференциальные или интегральные уравнения, метод конечных элементов и т. д.

Реалистичное поведение имитируемой модели зависит от адекватности и универсальности используемой математической модели. Под адекватностью понимается способность модели отражать заданные свойства объекта с приемлемой точностью. Универсальность модели определяется количеством параметров, учитываемых в процессе имитации. По этой причине, при создании имитатора, обязательно определяются требования к создаваемой математической модели. В техническом задании обязательно должны быть указаны необходимая точность модели (адекватность), требуемый интервал входных значений, на котором эта точность должна быть выдержана (область адекватности) и количество учитываемых входных данных (универсальность). Кроме этого в обязательном порядке должны быть указаны параметры компьютера (компьютеров), на котором должен выполняться тренажер, это в свою очередь определяет лимит использования вычислительных ресурсов для реализации имитационной модели. На практике требования к высокой адекватности и универсальности модели, как правило, ограничиваются доступными вычислительными ресурсами, что требует нахождения наилучшего компромиссного решения.

Для формализации этого процесса необходимо ввести целевую функцию, определяющую качество математической модели целом:

$$\text{MODELeffective} = (w_1 * A + w_2 * B) / (w_3 * Z), \text{ где}$$

- A — адекватность модели (включая область адекватности);
- B — универсальность модели;
- Z — затраты вычислительных ресурсов, необходимые для реализации модели;
- $w_i$  — соответствующие «веса» факторов.

Из представленного выражения следует:

1. Требования широких областей адекватности, высокой степени универсальности, с одной стороны, и высокой экономичности, с другой, являются противоречивыми.
2. Наилучшее компромиссное удовлетворение этих требований оказывается неодинаковым в различных применениях.
3. «Веса факторов», а также ограничения (границы факторов) необходимо самостоятельно определять на этапе разработки требований к создаваемому тренажеру.

Определение (заказчиком) ограничений на значения факторов и их «вес» позволяет формализовать процесс контроля качества создаваемой модели на всех этапах. Методики оценки адекватности, универсальности и экономичности модели подробно описаны в следующих разделах.

### **3.5.1. Требования к адекватности**

При создании математической модели имитаторов очень важно добиться требуемого соответствия между поведением реальной системы и поведением модели. Для формализации оценки этого соответствия необходим механизм определения адекватности модели.

Модель считается адекватной, если отражает заданные свойства объекта с приемлемой точностью (точность определяется как степень совпадения значений выходных величин модели и объекта). В настоящее время применяются следующие способы определения адекватности:

1. экспертный метод;
2. экспериментальный метод результат единичного непосредственного измерения или результат статистической обработки нескольких измерений;
3. результат расчета на основе корреляционных зависимостей;
4. результат определения с помощью общих теорий на основе принятых допущений и аксиом (сравнение с данными «хорошо» себя зарекомендовавшей «похожей» модели).

Экспертный метод - назначение качественных, сравнительно-количественных или количественных показателей на основе их принятия или соглашения. Часто применяется для математических моделей, «имитирующих» поведение системы путем показа заранее подготовленных данных. Часто оценивается экспертами, имеющими опыт работы на имитируемом объекте, например, экспертный метод применялся для проверки имитатора “Компрессорный цех по перекачке газа”, описанный в главе 1.5.1. Достоинства метода: не требует наличия метрического пакета, нет необходимости в проведении замеров (эксперимента), статистической обработки и т. д. Недостатки метода: субъективность оценки, значительная зависимость точности оценки от компетенции экспертов, большой риск обнаружения ошибок во время эксплуатации тренажера.

Экспериментальный метод результат единичного непосредственного измерения или результат статистической обработки нескольких измерений. Хорошо подходит для математических моделей, построенных на имеющихся статистических данных и для тех случаев, когда можно провести реальный эксперимент. Достоинства метода: объективность оценки. Недостатки метода: значительная зависимость от достоверности исходных данных и адекватности метода статистической обработки, высокая сложность при многофакторном анализе.

Результат расчета на основе корреляционных зависимостей. При наличии «очень похожих» моделей и их аппроксимаций или расчетов с помощью МКЭ (например COMSOL). Результат определения с помощью общих теорий на основе принятых допущений и аксиом (сравнение с данными «хорошо» себя зарекомендовавшей «похожей» модели). Хорошо подходит для математических моделей, построенных на основе широко известных законов (закон Ома, Кирхгофа, Ньютона и т.д.). Достоинства метода: объективность оценки. Недостатки метода: значительная зависимость от достоверности теоретического аппарата, высокая сложность при многофакторном анализе.

Для всех способов определения адекватности кроме экспертного, необходима статистическая обработка данных, полученных с помощью модели и «эталонных» данных.

Если  $y_i$  — выходная величина, рассчитанная с помощью модели, а действительная выходная величина того же  $i$ -го параметра объекта  $x_i$ , то относительная погрешность  $\varepsilon_i = (y_i - x_i)/x_i$ . Погрешность модели  $\varepsilon_m$  по совокупности и учитываемых выходных величин оценивается выражением

Точность модели может изменяться, в зависимости от условий функционирования объекта, обусловленных разными внешними воздействиями (нагрузками, температурой внешней среды и др.) на

моделируемый объект. Если задаться предельной допустимой погрешностью  $\varepsilon_{пр}$ , то в пространстве возможных изменений внешних воздействий на объект для принятых  $m$  условий его функционирования можно выделить область, в которой выполняется условие  $\varepsilon_m < \varepsilon_{пр}$ . Эту область называют областью адекватности модели.

Кроме того широкое распространение имеют:

- среднее относительное отклонение,

$$S_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i^{(э)} - x_i^{(м)}}{x_i^{(м)}} \right| ;$$

- максимальная относительная ошибка (отклонение)

$$S_2 = \max \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i^{(э)} - x_i^{(м)}}{x_i^{(м)}} \right| ;$$

- средняя квадратичная ошибка

$$S_3 = \frac{1}{n} \left[ \sum_{i=1}^n \left[ \frac{x_i^{(э)} - x_i^{(м)}}{x_i^{(м)}} \right]^2 \right]^{0.5} ;$$

где  $x_i^{(э)}$  - экспериментальное значение,  $x_i^{(м)}$  - значение, рассчитанное по функциональной модели,  $n$  - число экспериментальных значений, которые использовались для синтеза модели.

Общим недостатком метода является субъективность «выборки» данных для сравнения, и, как следствие, отсутствие абсолютной уверенности в правильности работы модели, даже если «модельная» кривая достаточно близко проходит через экспериментальные точки. Пример оценки адекватности приведен в главе 3.1.4.

### 3.5.2. Требования к экономичности модели

Реализация математической модели требует определенных вычислительных ресурсов, определяемых количеством машинного времени ТМ и объемом оперативной памяти ПМ, необходимой для реализации модели. В качестве меры обычно используется FLOPS (Floating point Operations Per Second) — величина, используемая для измерения производительности компьютеров, показывающая, сколько операций с плавающей запятой в секунду выполняет данная вычислительная система. Значение FLOPS как отдельного компьютера, так и компьютерного кластера можно рассчитать при помощи теста LINPACK, который основывается на решении определенного набора систем линейных алгебраических уравнений. Результат выполнения теста показывает значение производительности компьютера в FLOPS. В данной работе используется реализация теста LINPACK от Intel, доступная для скачивания по адресу

<http://software.intel.com/en-us/articles/intel-math-kernel-library-linpack-download/>, <http://ubuntuforums.org/showthread.php?t=1004406>).

Экономичность модели по затратам памяти оценивается объемом оперативной памяти, необходимой для реализации модели. Поскольку тест LINPACK учитывает количество потребляемой памяти (задается размером задачи) - затраты памяти и ее характеристики также учитываются в тесте.

В настоящее время наблюдается рост производительности как центральных, так и графических процессоров. Имеется тенденция переноса вычислений с центрального процессора на графический в силу значительно больших возможностей последних (рисунок 3.5.1.). Возможность переноса вычислений на графические процессоры также необходимо учитывать (для этого существуют специальные реализации теста LINPACK).

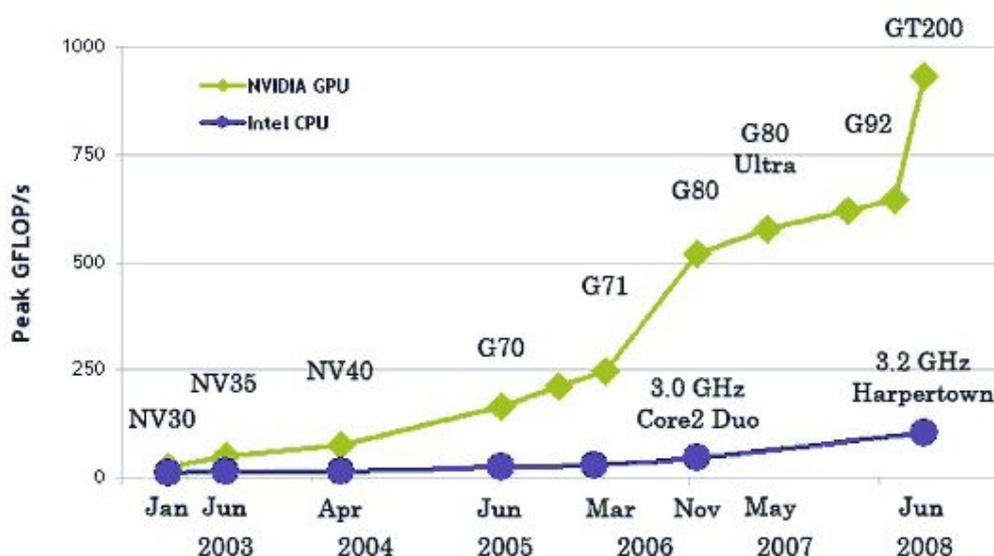


Рисунок 3.5.1. Увеличение GFLOPS\с центральных процессоров и GPU

Исследования наиболее распространенных в настоящее время компьютеров и кластеров приведены в таблице 3.5.1. Часть данных была получена автором, остальные данные получены из официальных источников.

Таблица 3.5.1. Оценка производительности по тесту LINPACK различных процессоров и гибридных кластерных систем

Процессор	OS	GFlops \s
Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E8400 @ 3.00GHz	GNU/Linux Ubuntu 9.10 x86_64	21,48
Pentium ® Dual-core CPU T4300 @ 2.10GHz	GNU/Linux Ubuntu 9.10 x86_64	5,39

Процессор	OS	GFlops \s
Intel Core i7 860 2.80 GHz (Lynnfield)	GNU/Linux Ubuntu 9.10 x86_64	52,79
Celeron 1.200 GHz		2,09
dualcore atom 330	GNU/Linux Ubuntu 7.10	0,74
2 x Xeon X5365 3 GHz	GNU/Linux Ubuntu 9.10 x86_64	58,84
intel q9550 3.604 GHz	GNU/Linux Ubuntu 7.10	50,04
Nvidia Geforce GTX280	По материалам Nvidia	75
IBM xSeries 335 cluster (dual 3.06 Xeon w/InfiniBand)	По материалам IBM	1389

Соответственно экономичность (C) определяется уравнением:

$$F = (\text{FLOPS1} / \text{FLOPS2max}),$$

$$C = F / [24; 60; 100; 120 \text{ Hz}]$$

если  $C \geq 1$  — модель экономичная,  $C < 1$  — неэкономичная, теряется режим «реального времени» (24 - минимальное значение количества кадров в секунду, при котором глаз человека еще не замечает «подмены»);

FLOPS1 - производительность компьютера(кластера) GFlops/s;

FLOPS2max - «пиковое» число операций, необходимое для реализации модели;

т. е. F- «математический» FPS показывает, сколько раз в секунду может быть просчитана модель. Если обеспечивать синхронизацию с видеосистемой, то значение F должно быть, в настоящее время, равно или больше 60.

Необходимые вычислительные ресурсы для расчета математической модели могут быть найдены двумя способами: аналитическим и экспериментальным.

Аналитический способ реализуется путем перемножения количества необходимых операций на потребляемые каждой операцией (функцией) ресурсы, т. е. предполагает составление и статистическую обработку следующей информации:

Функция \ оператор	FLOPS	Количество в коде
+ - * / =	10	30

Функция \ оператор	FLOPS	Количество в коде
sin	Min — 100 max - 1500	2
sqrt	Min — 300 max - 4000	5

Сложности метода заключаются в необходимости учета циклов и ветвлений в программе. Использование механизма кэширования также усложняет использование данного метода, т.к. при нахождении в кеше необходимой информации команда требует меньших вычислений, а при отсутствии данных в кеше — больших.

Экспериментальный способ реализуется с помощью оценки производительности компьютера тестом LINPACK (с правильно заданным размером задачи, для учета фактора памяти), затем, зная значение Gflops/s и произведя замер времени, потраченного на работу программной реализации математической модели, можно рассчитать количество Gflops/s, затраченное на расчет модели. Например:

Тест LINPACK показал производительность в  $FLOPS1 = 20 \text{ Gflops/s}$ .

Замеры (многочисленные) времени выполнения математической модели составили  $t_i = 0.5$  секунд (i-номер замера).

$$FLOPS2_{max} = \max(FLOPS1 * t_i) = 10 \text{ Gflops.}$$

$F = 20 \setminus 10 = 2$ , т.е. модель может быть просчитана только 2 раза в секунду

$C = 2 \setminus 60 = 1/30 < 1$ , т.е. данная модель неэкономичная, теряется режим «реального времени»

Также можно рассчитать минимально необходимые для «реального времени» Gflops/s и соответственно выбрать систему.

Следует отметить, что данный метод рекомендуется применять при финальной оценке тренажера, т.к. его результаты являются более объективными и учитывают влияние всех факторов (язык программирования, оптимизацию программ, задержки памяти и т.д.).

Примечание: если время выполнения модели слишком мало для точной оценки, можно порекомендовать выполнение этой модели в цикле например 10000 раз, и замерять общее время выполнения, затем разделить на 10000.

Пример оценки экономичности приведен в главе 4.1.6.

Для оптимизации математической модели можно применить профилирование, т.е. сбор характеристик работы программы во время ее выполнения, таких как время выполнения отдельных фрагментов (подпрограмм) и частота их вызовов. Таким образом, профилирование позволяет проанализировать программу, реализующую математическую модель и найти ее «узкое место» (функции и элементы функций, потребляющие наибольшие вычислительные ресурсы). Информация, полученная в результате профилирования может быть представлена в виде таблицы или в виде графика вызовов (Call Graph). В дальнейшем эта информация может быть использована для оптимизации самой модели или ее реализации.

### 3.6. Возможность работы в реальном времени, а также в ином масштабе времени

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 или реакция имитатора на производимые действия “запаздывает” или “ускоряется”, возникает состояние дискомфорта, кроме того, может сложиться неправильное представление о работе какого-либо устройства или системы в целом.

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 (Рисунок 3.6.1.) такие испытания могут быть проведены за 20-30 минут.

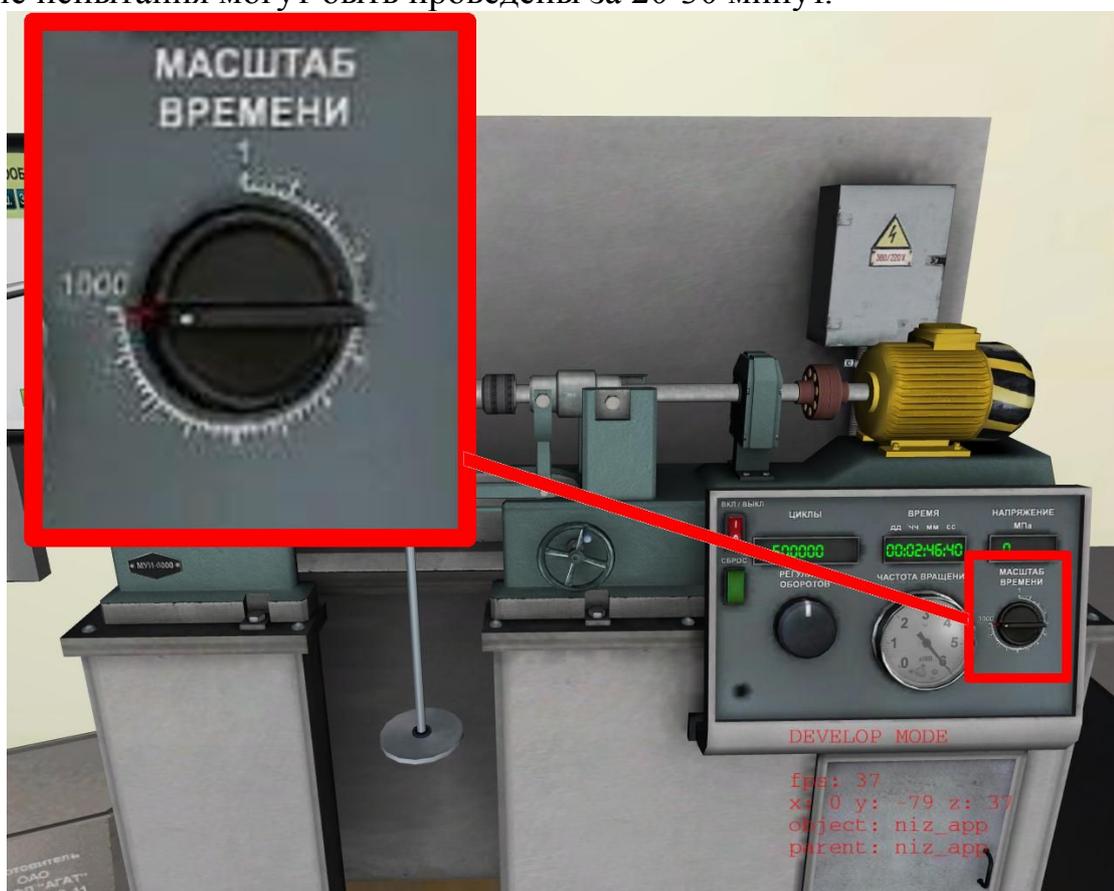


Рисунок 3.6.1. Использование масштаба времени в имитаторе

### 3.7. Многопользовательский доступ

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.

Фактически, кроме визуального отображения других агентов и их действий (а также мимики и т.д.), может быть необходима организация голосовой связи между участниками (агентами), обмен текстовыми сообщениями (чат), трансляция видео с web-камеры (видеосвязь) или другие виды взаимодействия. Визуальное отображение агентов возможно только в имитаторе, голосовую связь, чат, видеосвязь возможно организовать как в самом имитаторе, так и с помощью внешних программ (например, TeamSpeak для голосовой связи и чата, Skype для голосовой связи, видеосвязи и чата и т. д.). Примерный вид графического представления агентов показан на рисунке 3.7.1 и 3.7.2.



Рисунок 3.7.1. Визуальное представления агентов в имитаторе «со стороны»



Рисунок 3.7.2. Визуальное представления агентов в имитаторе с точки зрения одного из агентов

### **3.8. Соответствие и выполняемых операций требованиям, утвержденному регламенту, ГОСТ и другим нормативным документам**

К сожалению с помощью имитаторов имеется опасность «научить неправильно», т. е. сформировать у обучаемого неправильное представление о работе какого-либо устройства или системы. В качестве примера можно привести авиакатастрофу Airbus A300-600, произошедшую в Нью-Йорке в 2001 году. Как выяснили эксперты Национального совета по безопасности транспорта США (National Transportation Safety Board) после проведенного расследования, причиной крушения самолета стала ошибка второго пилота, управлявшего лайнером "слишком агрессивно", отчего разрушилась хвостовая часть лайнера. Ошибка, по мнению следственной комиссии, стала возможной из-за слишком чувствительной системы управления Airbus A300-600 и неадекватной программы тренировок авиакомпании American Airlines (ошибка в тренажере).

Смысл данного требования 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.

Другая опасность относится к регламенту и методике применения компьютерных средств обучения. В качестве примера можно привести отчет независимого федерального агентства по расследованию несчастных случаев в химической промышленности США - CSB и отчет компании ВР [133] о взрыве и пожаре на НПЗ компании ВР, Техас-Сити, Техас (рассматривается в главе 2.2.3.). Группа, проводящая расследование инцидента установила, что на большинстве заводов ВР при обучении сотрудников очевидно «чрезмерное увлечение компьютерной подготовкой», что способствует недостаточной подготовке сотрудников по безопасности. В отчете указывается, что в распоряжении ВР имеется несколько методов обучения для подготовки персонала, в т.ч. компьютерное обучение, «наставничество», обучение без отрыва от работы, занятия в классе и т.д. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения, например, тренажеры показали высокую эффективность в процессе информирования персонала об изменениях и работе на конкретных технологических установках, но является менее эффективными в при формировании навыков и способностей, необходимых при действиях в реальной аварийной ситуации.

В отчете комиссии указывается, что что программа подготовки персонала на НПЗ ВР должна сочетать практическое и компьютерное обучение. Другим интересным выводом комиссии является тот факт, что

эффективность компьютерного обучения сама страдает от очевидного отсутствия строгости и неспособности адекватно оценивать общие знания работника и уровня его квалификации. По мнению персонала, компьютерное обучение было "легким", и способность работника пройти испытания с помощью компьютерного обучения не означала его способности сделать это в реальной работе. В докладе отмечена проблема контроля результатов компьютерного обучения, а именно возможность бесконечного повторения финальных тестов до получения необходимой оценки, а также возможность использования ранее выбранных заданий и вопросов (вместо генерации новых).

Указанный пример показывает важность выработки правильного регламента применения тренажеров и определения разумных соотношений между «компьютерными» и другими методами обучения.

### **3.9. Возможность использования имитаторов в системах управления обучением, сертификация ADL**

Возможность использования имитаторов в системах управления обучением (Learning Management System (LMS), E-learning, система дистанционного обучения) достаточно часто является необходимым требованием. Вопросы использования имитаторов в LMS-системах (например <http://moodle.org/>) обеспечивает 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 и т. д. занимается множество комитетов и организаций, таких как:

- Глобальный консорциум IMS (Instructional Management System Global Learning Consortium);
- Комитет по стандартизации образовательных технологий (Learning Technology Standards Committee - LTSC) при Институте инженеров по электротехнике и электронике (IEEE);
- Инициативная группа прогрессивного распределенного обучения (Advanced Distributed Learning - ADL), основанная в 1997 г. министерством обороны США.

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. имитаторов, а также структуру метаданных ЭОР. Спецификация IMS CP широко поддерживается крупными компаниями и институтами.

Комитет по стандартизации образовательных технологий (Learning Technology Standards Committee - LTSC) при Институте инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) создан в 1996 г. 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.

Отдельный интерес представляет инициативная группа прогрессивного распределенного обучения (Advanced Distributed Learning - ADL), основанная в 1997 г. министерством обороны США. Результатом выполнения этой

программы стало создание ссылочной модели совместно используемых объектов образовательного контента. Фактически эта модель интегрирует 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 SCORM является одной из наиболее используемых в мире, вобравшая в себя лучшие достижения всех перечисленных выше организаций и, фактически, ставшая стандартом предоставления электронного образовательного контента.

Для обеспечения возможности использования имитаторов в современных системах управления обучением (LMS) поддержка спецификации SCORM является необходимым условием.

Группой ADL был создан набор тестирующих программ, которые проверяют программное обеспечение, процедуры и приложения на соответствие спецификации SCORM. Этот набор программ находится в открытом доступе на ADLNet.org [127], любые разработчики или заказчики могут производить самопроверку Scorm-пакетов на соответствие.

Программное обеспечение «Sample Run-Time Environment» позволяет запускать созданные SCORM-пакеты, производит анализ структуры манифеста и формирует отчет о найденных ошибках и предупреждениях. Также позволяет вести отладку взаимодействия SCORM-пакета с LMS-системой. Программное обеспечение «Test Suite» позволяет производить тестирование SCORM-пакета при помощи задания различных условий, например: лимит времени на работу, условия при превышении лимита и т. д., т. е. задавать условия запуска пакета в LMS-системе.

Для независимой оценки и подтверждения соответствия имитатора спецификации SCORM необходимо обратиться в Центр Сертификации ADL. ADL Сертификация – это независимое испытание, которое гарантирует, что образовательные программы электронного дистанционного обучения соответствуют стандартам SCORM. Но целью данной сертификации не является выявление функциональных дефектов программы. Более подробная информация о Центрах Сертификации содержится на ADLNet.org.

Центры Сертификации ADL используют новейшее тестирующее программное обеспечение и основные принципы сертификации. Центры в праве добавлять новые требования сертификации. Александрийская ADL Лаборатория совместно с Организацией Испытаний Висконсина в Мадисоне, штат Висконсин, и Военно-морским Подводным Центром (NUWC), подразделение Кейпорт, Вашингтон, подписала в ноябре 2002 г. меморандум Memorandum of Understanding (MOU) о создании на базе этих организаций тестирующих центров. Стоит отметить примерную стоимость сертификации SCORM-контента в указанных центрах, которая составляет на данный момент минимум 1000-2000 \$. Схема прохождения сертификации показана на

рисунке 3.9.1. Вопросы, связанные в поддержке спецификации SCORM с точки зрения разработчиков имитаторов, подробно рассмотрены в главе 4.7.

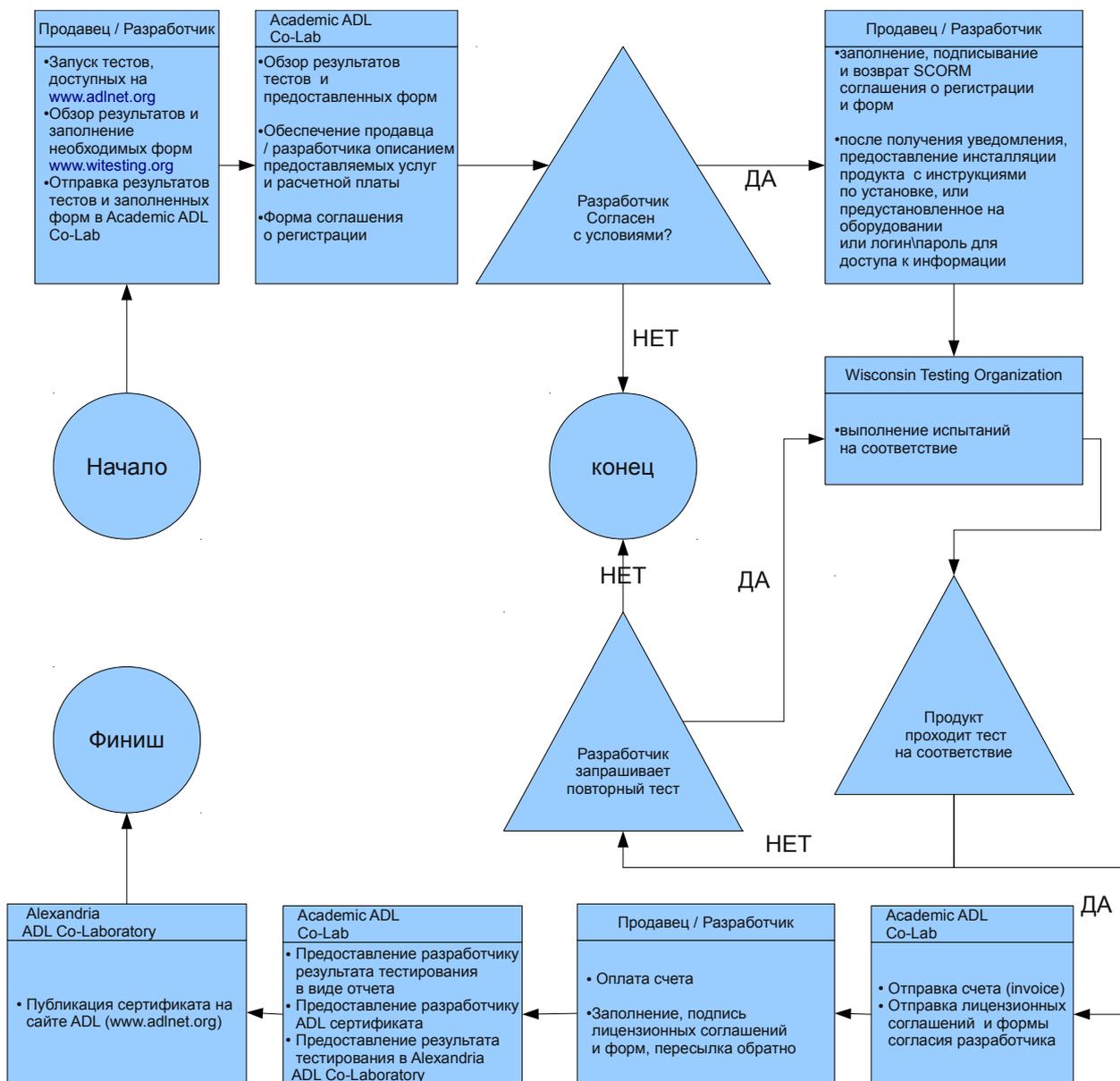


Рисунок. 3.9.1. Схема прохождения SCORM сертификации.

### 3.10. Распределенные имитационные системы

Для возможности объединения отдельных имитаторов в распределенную систему имитации (пример в главе 1.4.1.) в настоящий момент используются следующие стандарты и технологии:

- IEEE1516 (также заменяет HLA и DIS);
- OPC;
- CAPE-OPEN и другие «отраслевые» стандарты.

Наибольший интерес представляет стандарт IEEE 1516 [104], т. к. данный стандарт напрямую относится к имитаторам, направлен на построение систем распределенной имитации (протоколы, рекомендованные методы управления и обратной связи, системная архитектура и т.д).

Семейство программных технологий OPC (OLE for Process Control) предоставляющих единый интерфейс для управления объектами автоматизации и технологическими процессами также представляет значительный интерес, но только в том случае, если необходима интеграция с объектами автоматизации и технологическими процессами. Стандарт CAPE-OPEN используется для взаимодействия имитаторов, разработанных специально для химической промышленности.

В области стандартизации моделирования и имитации значительный вклад внес Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE). Распределенное моделирование (имитация) – технология обмена данными между тренажерами по локальным или глобальным вычислительным сетям. Это позволяет обеспечить совместную работу отдельных имитаторов как одной управляемой системы моделирования или имитации. Концепция распределенного моделирования опирается на использовании высокоуровневой архитектуры (HLA). Практически стандарт IEEE 1516 определяет архитектуру путем использования единого API (программного интерфейса приложений). Отправными постулатами стандарта являются:

1. простые «монолитные» имитационные модели не могут удовлетворить потребности профессиональных пользователей;
2. все возможные сферы применения имитационного моделирования заранее неизвестны;
3. должны быть предусмотрены возможности произвольного комбинирования отдельных имитаторов в сложные имитационные системы;
4. архитектура распределенного моделирования должна быть максимально открыта для будущих технологий моделирования и имитации.

На данный IEEE 1516 является абсолютным стандартом для взаимодействия тренажеров и имитаторов в военных приложениях, что обусловлено жесткими требованиями совместимости с имитаторами,

разрабатываемыми и используемыми Министерством обороны США и НАТО. В настоящее время IEEE 1516 находит все большее применение и в гражданской сфере, при разработке имитаторов для тренировки персонала сложных технических систем, в авиации, космонавтике, транспорте и т. д. [24].

Семейство программных технологий OPC разрабатывалось с целью сокращения затрат на создание и сопровождение приложений промышленной автоматизации. В начале 90-х у разработчиков промышленного программного обеспечения возникла потребность в универсальном инструменте обмена данными с устройствами разных производителей или с разными протоколами взаимодействия. OPC предоставляет разработчикам промышленных программ универсальный фиксированный интерфейс обмена данными с любыми устройствами. В то же время разработчики устройств предоставляют программу, реализующую этот интерфейс.

Для создания сложных имитационных систем можно комбинировать использование IEEE 1516 и OPC, получая возможность использования реального оборудования и SCADA-систем (рисунок 3.10.1.), что может быть достаточно полезным во многих задачах (например как в главе 1.4.1.).

Обеспечение связи стандартов IEEE 1516 (являющегося базовым для имитаторов) и OPC (применяемого в SCADA-системах) может быть реализовано, как напрямую в имитаторе, так и посредством посредника. Роль такого посредника в НИИ ЭОР ТюмГНГУ, например, выполняет пакет National Instruments LabView (рисунок 3.10.2.). LabView может поддерживать математические модели любой сложности, имеет встроенную поддержку OPC, может выступать в роли OPC-сервера, имеет эффективную поддержку взаимодействия с различными платами ввода вывода, что позволяет использовать необходимое оборудование напрямую, но не имеет, к сожалению, средств взаимодействия с IEEE 1516, что требует написания соответствующих программных компонентов.

В результате использования IEEE 1516 и OPC возможно создание относительно сложных распределенных систем имитации, включающих в себя множество имитаторов, реальное оборудование, SCADA-системы и т. д.

Отдельного рассмотрения заслуживает вопрос сертификации имитатора или имитаторов относительно поддержки стандарта IEEE 1516. Сертифицируются как имитаторы (федераты в терминологии IEEE 1516), так и программные библиотеки, реализующие взаимодействие. Но целью данной сертификации не является выявление функциональных дефектов программы (только сертификация поддержки стандарта IEEE 1516).

Организации, способные провести сертификацию:

1. США. The Department of Defense (DoD) Modeling and Simulation Coordination Office (M&S CO). Сайт: <http://www.msco.mil/>
2. Франция. ONERA. (Office National d'Etudes et Recherches Aérospatiales) is the French national aerospace research center. Сайт: <http://www.onera.fr>
3. Швеция. Pitch Technologies AB. Сайт: [www.pitch.se](http://www.pitch.se)

4. Россия. Группа Джей Си. JC SYSTEMS INTEGRATION, Inc.  
(Представитель компании МАК Technologies (www.mak.com)) Сайт:  
www.jcsi.ru, и т. д.

Вопросы, связанные в поддержкой стандарта IEEE1516 с точки зрения разработчиков имитаторов подробно рассмотрены в главе 4.6.

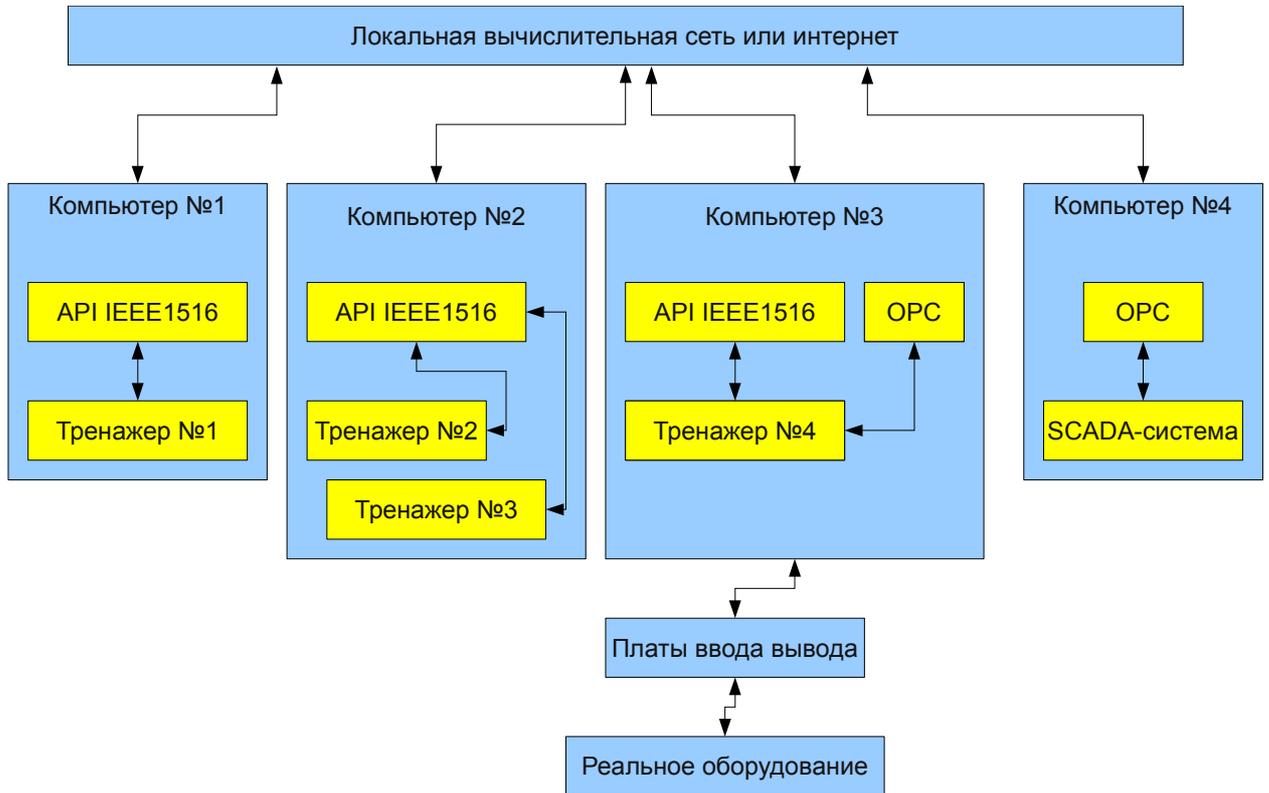


Рисунок 3.10.1. Схема распределенной системы имитации.

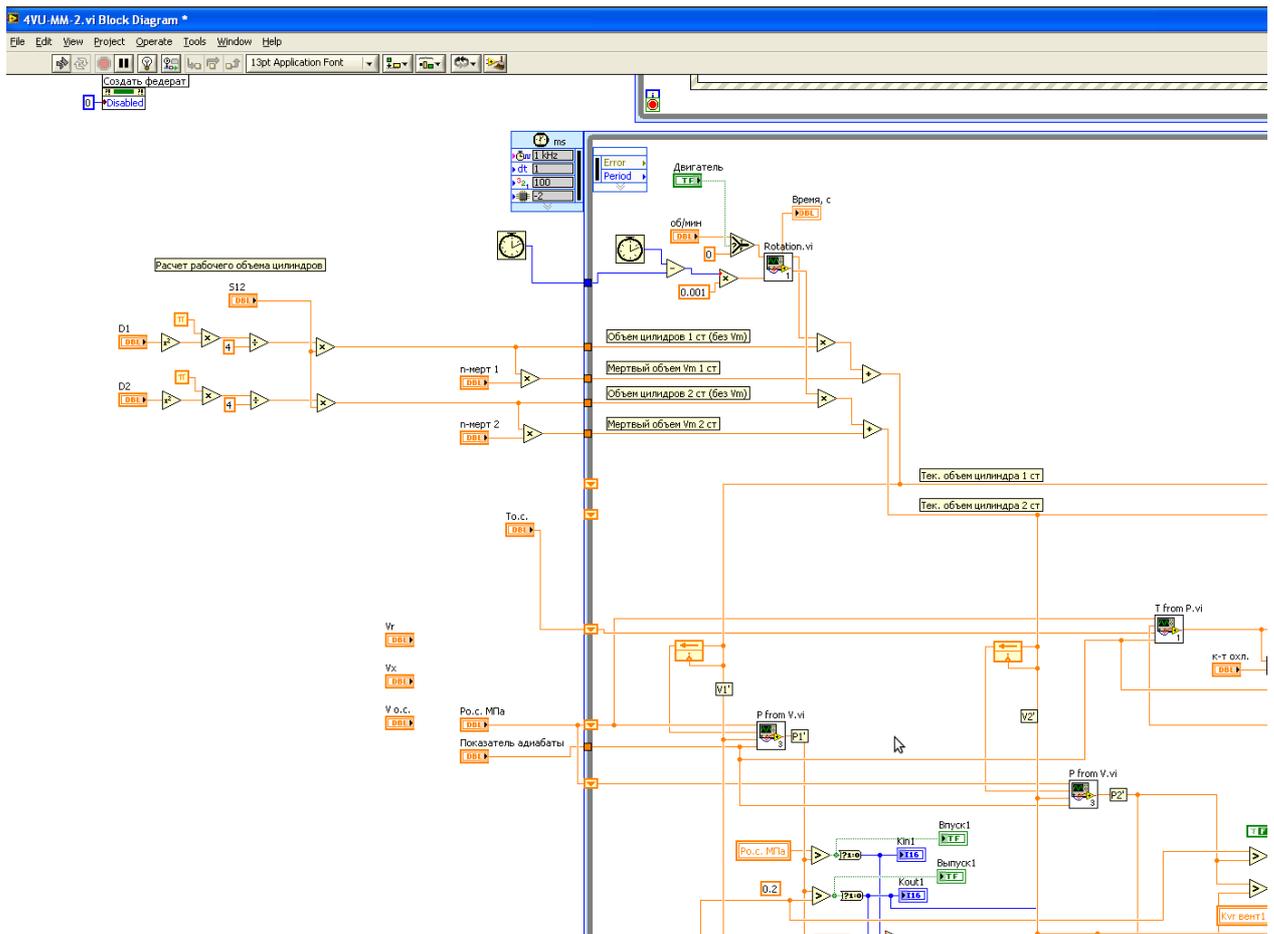
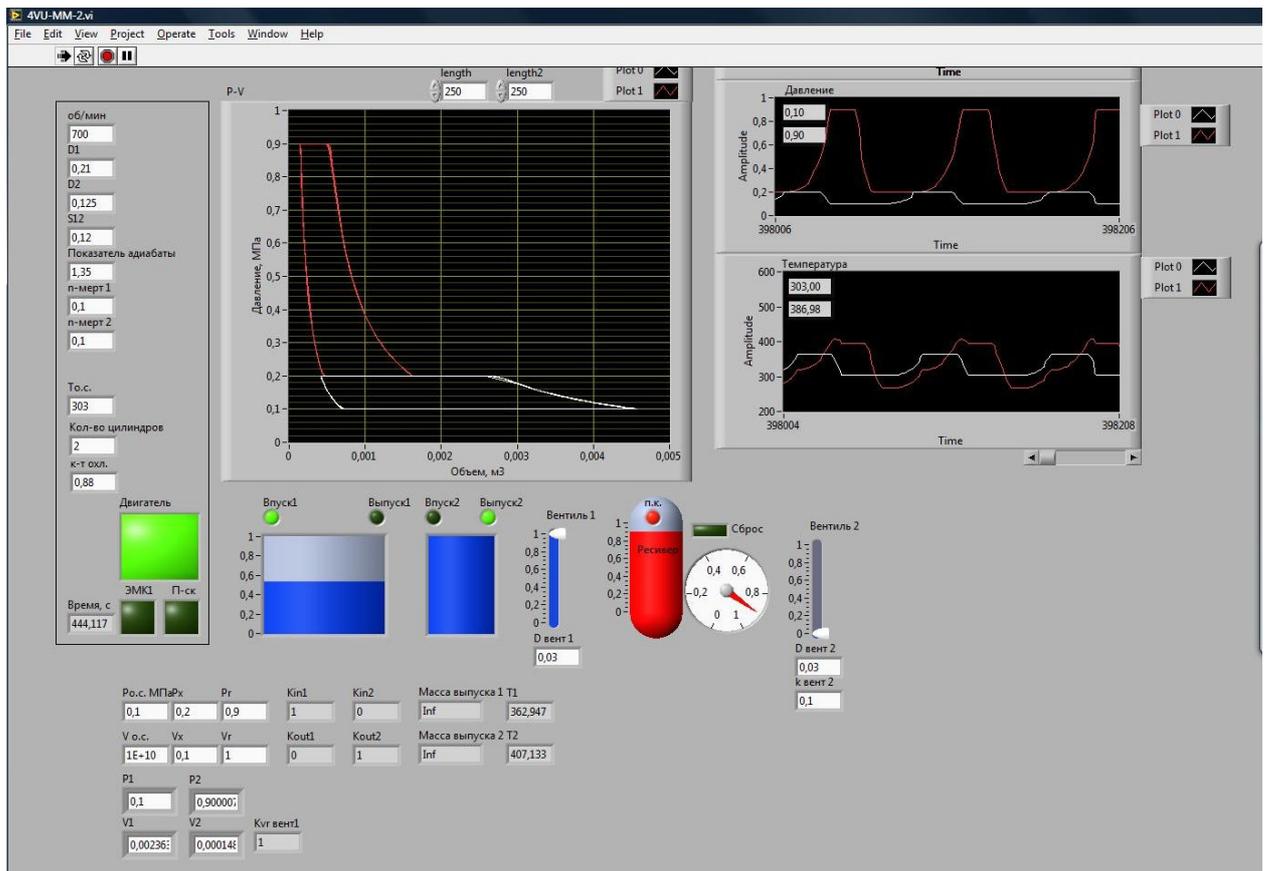


Рисунок 3.10.2 Реализация математической модели на LabView (интерфейс пользователя и фрагмент блок-диаграммы).

### 3.11. Поддерживаемые программно-аппаратные платформы

В учебных заведениях используются различные аппаратные и программные платформы. Как в России, так и за рубежом наибольшее распространение получили PC-совместимые платформы. Доля используемых операционных систем, в основном, распределена между Microsoft Windows, Linux и MacOS. Тот факт, что по данным статистики W3Schools, которая основана на заголовках «User-Agent», выдаваемых Web-браузерами пользователей интернета, доля ОС Windows в феврале 2009 года составила 86,2%, (ОС GNU/Linux составляет 4%, а Apple Mac OS X 6%) может служить доводом в достаточности поддержки только этой системы. Однако такой вывод является ошибочным.

Если имитатор будет способен функционировать лишь на одной аппаратной платформе или одной операционной системе, это означает невозможность его использования учебными заведениями, использующими иное аппаратное или программное обеспечение. Учитывая тот факт, что имитаторы представляют собой достаточно специфическое программно-аппаратное обеспечение, отличное от домашнего и офисного, можно доказать важность поддержки операционных систем Linux в силу ряда причин:

1. По данным «Top500» [58], Linux используется в качестве операционной системы на 89,2 % самых мощных супер-компьютеров планеты из-за возможности быстрой адаптации ядра операционной системы и большого количества ПО под нестандартную архитектуру. Этот факт указывает на важность поддержки этой операционной системы для задач, требующих значительных вычислительных ресурсов для реализации математической модели имитаторов.
2. Для реализации некоторых задач имитации необходимо применение операционных систем реального времени, для чего можно использовать существующие Linux-дистрибутивы [48].
3. Следует учитывать тот факт, что системы военного назначения, по соображениям безопасности, также часто основаны на ОС GNU/Linux. Например, «мобильная система вооруженных сил» - ОС MCBC 3.0 разработана на основе ОС GNU/Linux Red Hat [43].
4. В рамках проекта, проводимого Федеральным Агентством по образованию "Обеспечение поддержки внедрения пакета свободного программного обеспечения в общеобразовательных учреждениях Российской Федерации" (распоряжение правительства РФ от 18 октября 2007 г. N 1447-р) школы России начинают переход на свободное программное обеспечение, в т.ч. на ОС Linux, как и общеобразовательные учреждения многих других стран. Можно предположить, что в течении следующих лет доля ОС Linux в образовательных учреждениях будет увеличиваться.

5. Linux де факто используется на часто применяемых в учебных заведениях «массовых специализированных рабочих местах» - тонких клиентах.

В конечном счете, требования к поддерживаемым имитатором аппаратных и программных платформ определяются заказчиком имитатора, исходя из текущих потребностей и возможных потребностей в будущем.

## **3.12. Сертификация имитаторов**

### **3.12.1. Отраслевая сертификация**

Сертификация имитаторов обязательна во множестве отраслей, таких как авиация (подготовка пилотов, диспетчеров, технического персонала и т. д.), атомная энергетика, судоходство и т. д. Например, для имитаторов, используемых для обучения персонала атомных станций, в обязательном порядке выполняются требования ANSI/ANS-3.5-2009: «Nuclear Power Plant Simulators for Use in Operator Training and Examination.».

Для сертификации имитаторов маневрирования и управления судном используется документ IMO STCW-78\95 «International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers» и т. д.

Международным стандартом, в котором определены квалификационные требования к пилотажным тренажерам (авиация) — ICAO 9625, в Европе действует стандарт JAR-FSTD A, в Америке — стандарт FAR Part 60 (FAA Simulator Document FAR Part 60 [118]). В России применяется стандарт ICAO 9625.

Поскольку количество отраслей, где могут использоваться имитаторы, достаточно велико, изложить все возможные стандарты и нормативы для каждой отрасли в рамках данной книги не представляется возможным. В тоже время методики, используемые для сертификации в различных областях применения имитаторов, представляют значительный интерес, т. к. частично могут быть использованы для формирования требований и для других областей применения имитаторов.

Так, например, в документе FAA Simulator Document FAR Part 60 определены требования к авиационным тренажерам, такие как требования к системе визуализации, звуковой системе, системе силовой платформы, учитываемым факторам, месту инструктора и т.д.

### **3.12.2. Обязательная сертификация продукции и услуг**

На территории РФ существует постановление об обязательной сертификации продукции и услуг. Декларация о соответствии — документ, в котором производитель удостоверяет, что поставляемая им продукция соответствует требованиям определенных стандартов качества. Если продукция входит в указанную «Номенклатуру продукции подлежащих обязательной сертификации», то для ее реализации или прохождения таможенной очистки необходимо получение сертификата соответствия в системе ГОСТ Р. Если продукция не подлежит обязательной сертификации, то для нее возможно оформление либо отказного письма, либо добровольного сертификата. Отказное письмо — это некое подобие справки, выдаваемой аккредитованным в соответствующей системе органе, сообщающей то, что данная продукция не подлежит обязательной сертификации в данной системе

сертификации. Номенклатура продукции, подлежащей сертификации, указана в подмножестве «Общероссийского классификатора продукции ОК 005-93».

Результаты поиска слова «тренажеры», «обучения» в Общероссийском Классификаторе Продукции :

- 80 0000 Аварийно-спасательные средства специализированные,
  - 80 7220 Оборудование лабораторное и тренажеры для обучения специалистов аварийно-спасательных служб;
- 96 5000 Пособия учебно-наглядные и оборудование профтехобразования, 96 5220 Тренажеры:
  - 96 5221 - для подготовки рабочих по металлообработке и машиностроению;
  - 96 5222 - для обучения сельскохозяйственным профессиям;
  - 96 5223 - для подготовки рабочих химической и металлургической промышленности;
  - 96 5224 - для подготовки строительных профессий;
  - 96 5225 - для подготовки транспортных профессий;
  - 96 5227 - для подготовки рабочих по профессиям электрорадиотехнического профиля;
  - 96 5228 - для подготовки, поддержания и повышения квалификации эксплуатационного персонала энергопредприятий;
- 96 6000 Оборудование и изделия учебного назначения, 96 6600 Средства обучения для высших и средних специальных учебных заведений технические:
  - 96 6610 Комплексы , 96 6611 - автоматизированные обучающие;
  - 96 6610 Комплексы , 96 6612 - лабораторные моделирующие;
  - 96 6610 Комплексы , 96 6613 — информационно-справочные;
  - 96 6610 Комплексы , 96 6614 — лабораторно-вычислительные;
  - 96 6620 Устройства, 96 6622 — контролирующие;
  - 96 6620 Устройства, 96 6623 — обучающие;
  - 96 6620 Устройства, 96 6624 — комбинированные.

Сертификаты соответствия на ту или иную продукцию выдаются органами по сертификации, имеющими соответствующую область аккредитации, на основании представленных им документов на продукцию, основным из которых является протокол испытаний. Протоколы испытаний выдаются в свою очередь аккредитованной испытательной лабораторией после проведения испытаний соответствующим способом отобранных образцов продукции. На практике лаборатории могут сделать указанный протокол просто на основании экспертизы технических документов о продукции.

Согласно Закону "О сертификации продукции и услуг" (в редакции от 27.12.1995 г. № 211-ФЗ с последующими изменениями и дополнениями) сертификация - это метод объективного контроля качества продукции, ее

соответствия установленным требованиям, а также безопасности для окружающей среды, жизни, здоровья, имущества граждан. Наличие сертификата помогает покупателям в компетентном выборе продукции и является определенной гарантией ее доброкачественности. Сертификация подтверждает показатель качества продукции, заявленный изготовителем, а также облегчает экспорт и импорт, продукции, повышает конкурентоспособность. Она может иметь обязательный и добровольный характер.

Обязательная сертификация - это подтверждение уполномоченным органом соответствия товара обязательным требованиям. Обязательное требование - это требование нормативного документа, подлежащее обязательному выполнению с целью достижения соответствия этому документу. Обычно обязательными являются требования по обеспечению безопасности людей, их имущества и окружающей среды, технической и информационной совместимости и взаимозаменяемости продукции и некоторые другие, связанные с необходимостью обеспечения единства методов контроля и маркировки. Перечень продукции, подлежащей обязательной стандартизации, а также ее параметры, показатели и характеристики определяются в соответствии с действующими в стране нормативными документами и законодательством.

Добровольная сертификация вводится по инициативе изготовителей, поставщиков и продавцов продукции в целях подтверждения ее соответствия не только обязательным требованиям нормативных документов, но и рекламируемым характеристикам и показателям. Система добровольной сертификации обычно вводится для повышения спроса на продукцию за счет информации о высоком качестве и безопасности продукции, обеспечения более высокого взаимного доверия поставщиков и потребителей, больших возможностей потребителей в выборе продукции.

При добровольной сертификации, как производитель продукции, так и общество потребителей или предприятия торговли имеют право выбирать любую ее схему, а также нормативный документ. При добровольной сертификации заявитель сам определяет те требования, соответствие которым должен подтвердить (или не подтвердить) орган сертификации. Соответственно сферы распространения систем добровольной сертификации шире, чем у систем обязательной сертификации.

В качестве примеров органов по сертификации, имеющих соответствующую область аккредитации можно указать следующие:

- Отраслевой специализированный ресурсный центр регистрации, стандартизации и сертификации информационных ресурсов системы образования (ОСРЦ-ИР/МГТУ "Станкин") <http://infocert.stankin.ru>

## **3.13. Схемы лицензирования и защита авторских прав**

### **3.13.1. Сопровождение имитатора лицензией**

Условия использования и распространения той или иной программы регулируются так называемой лицензией, устанавливающей объем прав и обязанностей правомочного пользователя программы. В российских правовых условиях этому термину соответствует понятие «авторского договора» в терминологии Закона «Об авторском праве и смежных правах» от 9 июля 1993 г. N 5351-1 (поскольку программа для ЭВМ с точки зрения авторского права представляет собой частный случай «литературного произведения»). В то же время в недавно принятой Четвертой части Гражданского кодекса, которая с 1 января 2008 г. заменила Закон «Об авторском праве...», используется понятие «лицензия».

Строго говоря, сопровождение программы лицензией не является обязательным, по крайней мере по нормам российского законодательства - в этом случае правомерный приобретатель экземпляра будет обладать набором прав «свободного пользования», включающим право установки и запуска программы на одном компьютере, но не допускающим её копирования или модификации. Таким образом, сопровождать программу лицензией уместно в тех случаях, когда автор или иной правообладатель программы желает изменить (расширить, сократить или сопроводить дополнительными условиями) набор прав, предоставляемых законом по умолчанию.

### **3.13.2. Совместимость лицензий**

Заказчики и продавцы имитаторов, кроме лицензии непосредственно на имитатор, должны внимательно относиться к лицензиям, применяемым при разработке имитатора, т.к. имитатор скорее всего создан на базе множества библиотек, которые в свою очередь также имеют различные лицензии — коммерческие и так называемые «свободные».

Рассмотрим следующий пример — при создании имитатора были использованы следующие библиотеки — OpenGL для синтеза графики, OpenAL для вывода звука, и Nokia QT для реализации пользовательского интерфейса. OpenGL и OpenAL лицензированы как под GNU GPL, так и под LGPL. Nokia QT может быть лицензирована под GPL, а может иметь коммерческую лицензию. Что это означает?

1. Если в вашей программе используется хотя бы одна библиотека под GPL лицензией, то вся программная реализация имитатора должна также распространяться под GPL лицензией. Вы можете продавать программу и называть себя автором, но лицензия GPL обязывает вас предоставить все исходные коды вашей программы, по требованию любого пользователя, который использует данную программу, далее эти исходные коды могут быть модифицированы и распространены пользователем (однако также под

лицензией GPL). Попытка «скрыть» лицензию GPL в программном продукте является незаконной и часто заканчивается неудачей.

2. GNU Lesser General Public License (LGPL) является менее жесткой, в том смысле, что не требует раскрытия исходного кода вашей программы, а только лишь требует предоставления кода библиотек, имеющих LGPL лицензию, которые используются в вашей программе. Обычно такие библиотеки свободно доступны в сети интернет и это требование не представляет каких-либо проблем.

Данный пример показывает важность таких казалось бы мелочей как лицензии, тем более, что кроме GNU GPL и LGPL достаточно распространены и другие виды лицензий - Mozilla Public License (MPL), лицензии семейства BSD, Common Development and Distribution License (CDDL) и т.д.

### **3.13.3. Защита ПО свидетельствами «официальной регистрации программы для ЭВМ»**

Программы для ЭВМ и базы данных по желанию заявителя официально регистрируются в Роспатенте с выдачей свидетельства о государственной регистрации. Роспатент принимает на депонирование исходные коды программы (листинг до компиляции) и ее краткое описание. Исключительное право на программу может принадлежать как автору, так и иным гражданам и юридическим лицам.

Обладатель исключительного права вправе использовать программу для ЭВМ любым, не противоречащим законом способом, может распоряжаться программой по своему усмотрению, а также запрещать использование программы другим лицам, причем отсутствие запрета не является разрешением.

Вы можете подать заявку в Патентное ведомство РФ самостоятельно, но при этом следует учесть, что немаловажную роль при получении свидетельства об официальной регистрации играет правильность оформления заявочной документации.

Заявка на государственную регистрацию программы для ЭВМ или базы данных (заявка на регистрацию) должна относиться к одной программе для ЭВМ или к одной базе данных.

Заявка на регистрацию должна содержать:

- заявление о государственной регистрации программы для ЭВМ или базы данных с указанием правообладателя, а также автора, если он не отказался быть упомянутым в качестве такового, и места жительства или места нахождения каждого из них;
- депонируемые материалы, идентифицирующие программу для ЭВМ или базу данных, включая реферат;

- документ, подтверждающий уплату государственной пошлины в установленном размере или наличие оснований для освобождения от уплаты государственной пошлины, либо для уменьшения ее размера, либо для отсрочки ее уплаты.

Документы и информация, необходимые для регистрации авторских прав на программы для ЭВМ и баз данных:

- Фрагменты исходного текста программы ЭВМ.
- Копии экранов программы (Скриншоты) программы для ЭВМ.
- Анкета для регистрации программы для ЭВМ.
- Данные об авторах программы для ЭВМ.
- Оплата пошлин за регистрацию программы для ЭВМ (реквизиты для уплаты предоставляются патентным бюро).

Фактически защита основывается на ответственности, предусмотренной за нарушение исключительных прав на программы ПЭВМ:

1. Уголовный Кодекс РФ. Статья 146. Нарушение авторских и смежных прав.
2. Кодекс РФ об административных правонарушениях Статья 7.12. Нарушение авторских и смежных прав, изобретательских и патентных прав.
3. Гражданский кодекс РФ Гражданско-правовая ответственность (ст. 12, 1250, 1252, 1253, 1301, 1302 ГК РФ).

### **3.14. Встроенные средства автоматического и полуавтоматического диагностирования и калибровки**

Техническая диагностика является составной частью технического обслуживания. Основной задачей технического диагностирования является сокращение затрат на техническое обслуживание объектов, и на уменьшение потерь от простоя в результате отказов [74].

Калибровка измерительных приборов заключается в установлении зависимости между показаниями прибора и размером измеряемой (входной) величины. Под калибровкой часто понимают процесс подстройки показаний выходной величины или индикации измерительного инструмента до достижения согласования между эталонной величиной на входе и результатом на выходе (с учётом оговоренной точности).

Поскольку сами имитаторы и их техническое обеспечение (аппаратные средства взаимодействия с пользователем или система формирования виртуальной реальности) являются достаточно сложными объектами, должны быть предусмотрены средства автоматического или полуавтоматического диагностирования и калибровки.

При этом, диагностирование может выполняться как в непрерывном режиме, так и в периодическом. В любом случае, средства диагностирования имитаторов должны обеспечивать вывод информации о техническом состоянии обслуживаемому персоналу.

Как правило, встроенные средства диагностирования имитаторов, выполняют следующие функции:

- загрузку диагностической информации;
- подачу тестовых воздействий на вход проверяемого блока (либо даются указания для выполнения необходимых воздействий на управляющие элементы);
- определение значений с выхода проверяемого блока;
- анализ, на основе сравнение полученных значений с эталонными;
- возможно, калибровка устройства и повторное диагностирование, анализ результатов калибровки
- вывод отчета о диагностировании.

Наиболее простым примером служит процедура калибровки джойстика для компьютерных игр. Потенциометры в джойстике из-за износа могут выдавать неверные данные, что требует проведения процедуры калибровки, как правило достаточно простой. Калибровка систем захвата движений, например, является значительно более сложной и длительной операцией.

#### **4. Определение и обоснование принципиального состава имитаторов и методы реализации составных элементов**

Данная глава посвящена определению и обоснованию принципиального состава имитаторов и реализацией составных элементов. Материал главы представляет интерес, в основном, для разработчиков, но отдельные разделы могут быть интересны и для других категорий пользователей, в т.ч. для заказчиков, обучаемых и инструкторов.

Для определения и обоснования принципиального состава имитаторов были изучены 50 технических заданий на разработку имитаторов, предоставленных Научно-исследовательским институтом электронных образовательных ресурсов ТюмГНГУ. Приведенные ниже имитаторы имеют различный тип, согласно классификации, имеют различные предметные области и сложность:

- Испытание материалов на ударную вязкость.
- Испытание материалов на растяжение.
- Испытание материалов на сжатие.
- Испытание образцов из различных материалов на кручение.
- Испытание на усталость образцов с тороидальной рабочей частью в условии изгиба с вращением, при низких температурах.
- Снятие внешних энергетических характеристик центробежных насосов (насос 1,5К6).
- Определение параметров рабочей точки системы центробежный насос-трубопровод.
- Регулирование режима работы центробежной насосной установки.
- Нормальные испытания центробежных насосов.
- Определение допустимой и фактической высоты всасывания центробежного насоса (насос 1,5К6).
- Последовательное и параллельное соединение насосов.
- Изучение конструкции погружного центробежного насоса.
- Изменение режима эксплуатации УШГН (изменение длины хода).
- Уравновешивание привода УШГН.
- Динамометрирование УШГН.
- Техническое обслуживание, текущий ремонт, подключение и настройка электропривода задвижки ЭПЦ-100.
- Определение длины световой волны при помощи дифракционной решетки.
- Изучение колебаний пружинного маятника.
- Изучение свободных затухающих колебаний физического маятника.
- Определение пористости горных пород.

- Экстрагирование образцов породы.
- Определение плотности породы методом гидростатического взвешивания.
- Определение коэффициента открытой пористости пород методом насыщения их при вакуумировании.
- Определение остаточной нефтенасыщенности горных пород.
- Определение коэффициента абсолютной проницаемости пород.
- и т.д.

Исследование указанных технических заданий на разработку имитаторов показало, что каждый из имитаторов имеет определенную внутреннюю структуру – эта структура меняется в зависимости от некоторого набора ограничений, накладываемых: техническим заданием, предметной областью и т.д. Кроме того, была выявлена возможность применения высокоуровневой архитектуры (HLA, главы 3.10, 4.6)) в качестве основы при построении всех исследованных имитаторов.

Для качественного проведения анализа было установлено, что архитектура имитаторов есть граф,  $G=(V, E)$ , где  $V$  – множество элементов модели;  $E$  – множество связей, демонстрирующих взаимоотношения элементов модели между собой.  $V=f+F'_d+F'_{d\ special}+M'+B'+A'$ , где  $f$  – федерация;  $F'_d$  – множество федератов;  $F'_{d\ special}$  – множество специальных федератов (пользователи, участники);  $M'$  – 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.

Рассмотрим структуру каждого элемента модели по результатам проведенного анализа.

Федерация:

$$f = \{ F_{d\ special} \cup F_d \}, \quad F_d = \bigcup_{i=1}^{n'} f_d, \quad F_{d\ special} = \bigcup_{i=1}^n f_{d\ special}$$

где  $f$  – федерация в общем виде;  $n'$  – количество федератов, входящих в текущую федерацию;  $n$  – количество специальных федератов, входящих в текущую федерацию;  $F_{d\ special}$  – множество специальных федератов (пользователей);  $f_{d\ special}$  – специальный федерат;  $F_d$  – множество федератов;  $f_d$  – федерат.

При этом, если  $F_{d\ special} = 0$  или  $F_d = 0$  - модель не имеет смысла (нет пользователей или нет объекта имитации);  $F_{d\ special} > 1$  — это многопользовательский имитатор;  $F_d > 1$  — это распределенный имитатор;  $F_d = \text{const}$  — статическая структура, иначе динамическая (рисунок 4.1).  
 Специальный федерат — федерат, отражающий взаимодействие пользователя (обучаемого, инструктора) с системой имитации. Как правило, функциями данного федерата являются синтезирование графики, звука, взаимодействие с устройствами ввода\вывода, обмен информации с LMS-системой и т.д.

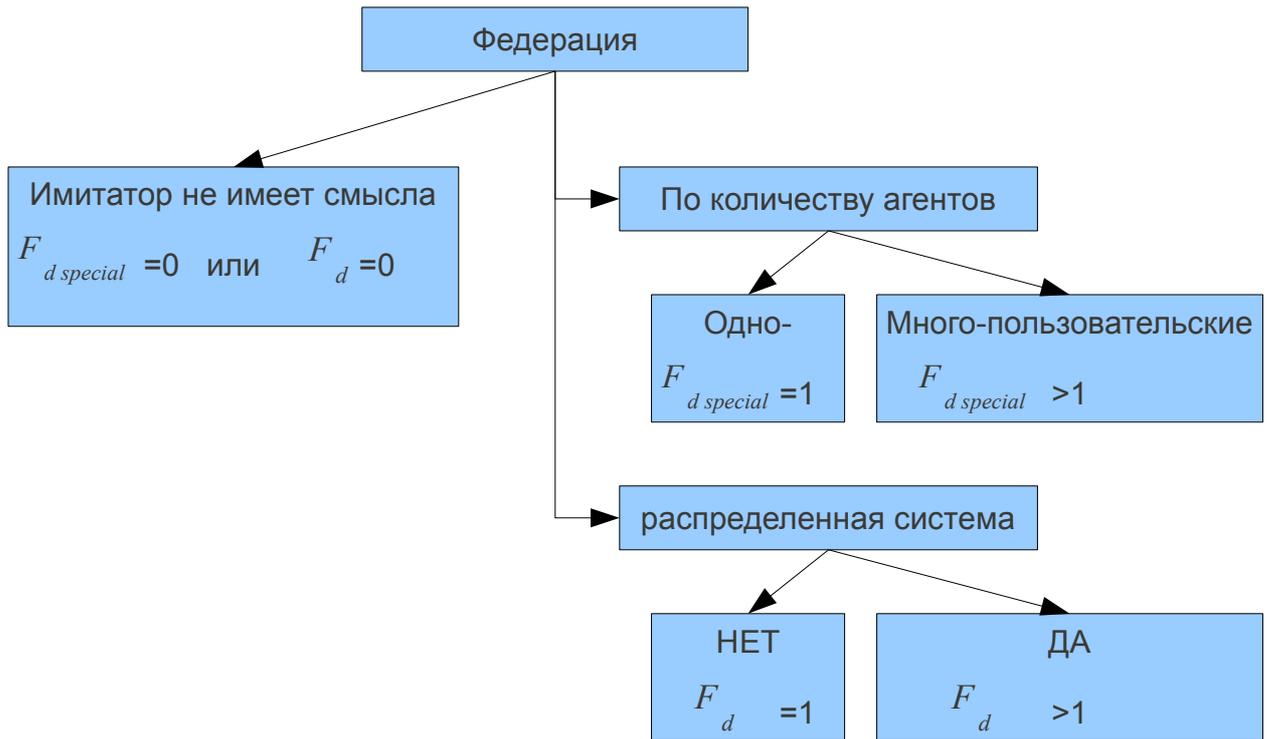


Рисунок 4.1. Классификация элемента HLA - федерации

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, иначе с мат. мод.;  $B_{ispecial} \neq 0$   $M_{special} \neq 0$  - специальный федерат (с заранее определенными объектами и специальной математической моделью);  $B_{ispecial} = 0$   $M_{special} = 0$  - обычный федерат (рисунок 4.2.).

Объекты:  $B = \{ B_1 \cup B_2 \cup B_3 \cup B_{ispecial} \}$ , 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;  $B_{ispecial}$  - 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.

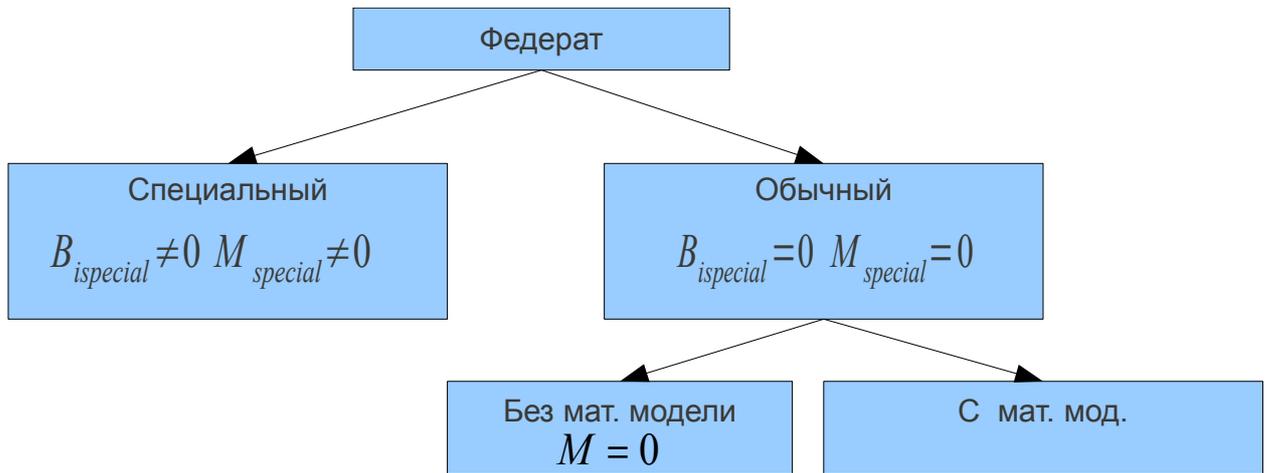


Рисунок 4.2. Классификация элемента HLA – федерата.

В результате получены промежуточные выводы:

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

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 имитатора;
- Перенаправляемые ребра ( $E_{var}$ ) – возникают, когда в процессе работы имитатора управление объектами переходит от одного федерата другому;
- Создаваемые ( $E_{make}$ ) – когда мощность множества федератов, входящих в федерацию, увеличивается в процессе функционирования имитатора.

Классификация множества вершин и множества ребер позволяет выполнить классификацию типов имитаторов (рисунок 4.3.).

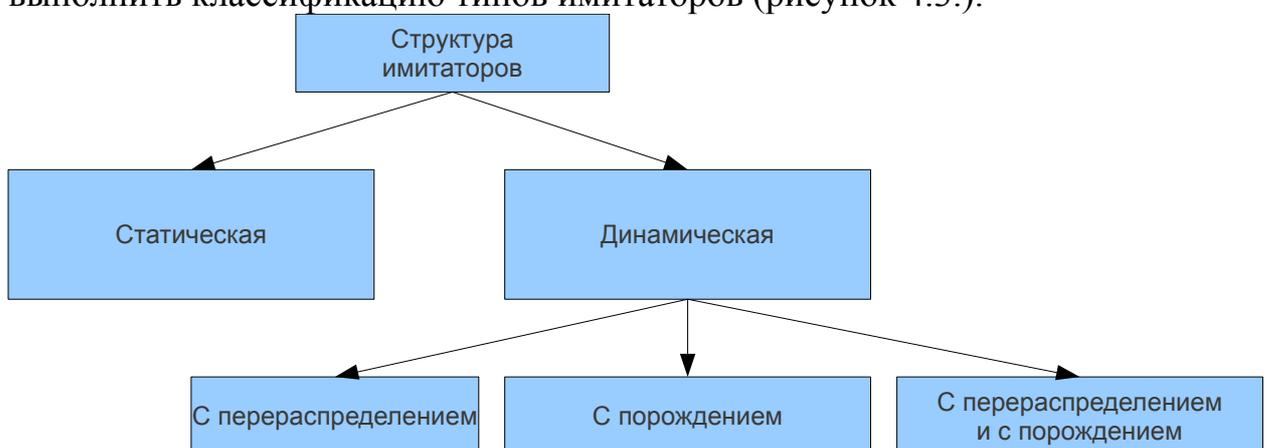


Рисунок 4.4. Структура имитаторов

В результате определена внутренняя структура имитаторов, построена модель, позволяющая создание класса типов имитаторов, которые, в свою очередь, позволяют сформулировать ограничение на процесс декомпозиции, выбрать направление декомпозиции и дают предпосылки для создания рекомендаций по созданию имитаторов.

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.

Определение и обоснование принципиального состава имитаторов позволяет перейти к методам реализации элементов. Методы реализации элементов имитаторов, в общем случае, включают:

- создание и реализация математической модели;
- формирование изображения (синтез изображения);
- формирование звукового окружения (синтез звука);
- реализация взаимодействия с пользователем;
- создание системы формирования виртуальной реальности;
- построение систем распределенной имитации;
- реализация возможности использования имитаторов в системах управления обучением.

## 4.1. Построение математической модели

Под математической моделью понимается система математических соотношений, описывающих с требуемой точностью изучаемый объект или процесс и его поведение. Математическая модель является самым важным элементом имитатора, так как целиком и полностью определяет реалистичное поведение всех происходящих и наблюдаемых в нем процессов.

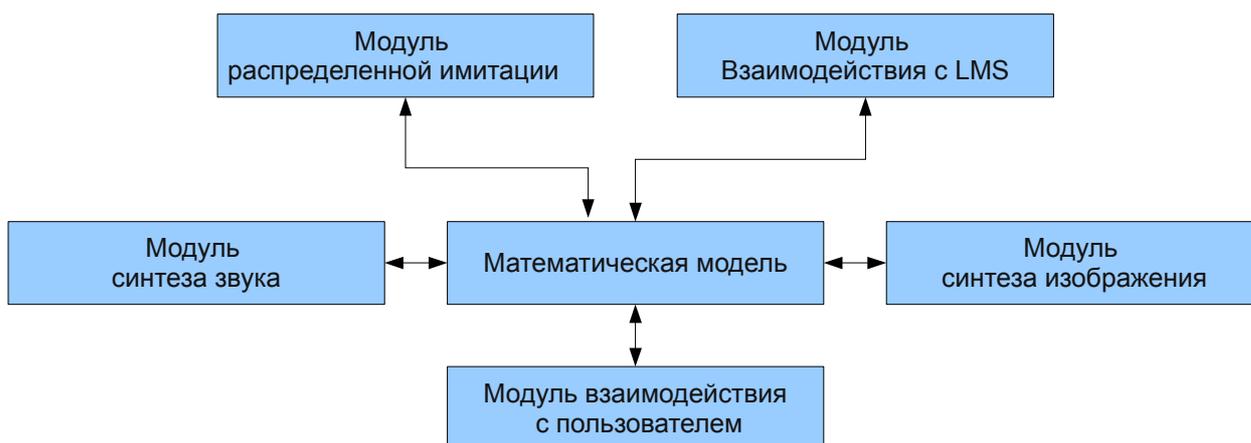


Рисунок 4.1.1. Связь математической модели с остальными системами

В процессе построения математической модели можно выделить 6 основных этапов:

1. содержательное описание имитируемого явления, процесса, объекта или системы;
2. построение формализованной схемы;
3. построение математической модели;
4. исследование, тестирование и корректировка математической модели;
5. программная реализация математической модели;
6. определение экономичности модели.

### 4.1.1. Содержательное описание объекта или процесса

Содержательное описание объекта или процесса обобщает все сведения о физической природе имитируемой системы, ее количественных характеристиках, характер взаимодействия, как между отдельными элементами, так и с внешней средой. Кроме этих сведений нужно в общем виде сформулировать постановку прикладной задачи и требуемую точность расчетов. На этапе содержательного описания постановка задачи может не иметь строгой математической формулировки, но она должна содержать полный перечень зависимостей, подлежащих оценке по результатам моделирования, должны быть определены требования и ограничения (см. главу 2.5.).

В качестве примера содержательного описания процесса рассмотрим следующий пример. *Необходимо создать математическую модель для имитатора стенда для проведения испытаний насосных установок. Для составления списка необходимых приборов и средств измерения, а также требований к испытаниям насосной техники был проведен анализ видов испытаний насосов, за основу был взят отечественный стандарт ГОСТ 6134-58 [19]. В результате исследования был получен список необходимых контрольно-измерительных приборов (ваттметр, вольтметр, амперметр, тахометр, барометр, манометр, вакуумметр, мановакуумметр, термометр, секундомер, ареометр), арматуры и инвентаря (вентили игольчатые высокого давления, вентили для манометров, задвижки), инструментов и материалов. Требования к точности математической модели — данные испытаний насоса Д200, полученные в ходе имитации, не должны отличаться от паспортных данных этого насоса более чем на 5 %, т. к. иначе у обучаемого может сложиться не правильное понимание. В качестве жидкости использовать воду с стандартной плотностью и т.д.*

#### **4.1.2. Построение формализованной схемы**

Следующий этап — построение формализованной схемы (основанной на точной математической формулировке задачи). Затруднения и ошибки при моделировании систем обычно возникают именно на этом этапе. Это объясняется участием в этом творческом процессе коллективов разных специальностей — специалистов в предметной области и специалистов в области моделирования. Эффективным средством для нахождения взаимопонимания между этими группами является язык математических схем, реализующий адекватный переход от содержательного описания системы к ее математической схеме. При проектировании сложных технических систем формализованная схема сопровождается графическим изображением системы в виде эквивалентных или структурных схем. К графическому построению формализованных схем прибегают в тех случаях, когда из-за сложности системы непосредственный переход от содержательного описания к математической модели может вызвать большие трудности. Значительный интерес представляют методологии IDEF, ICAM [42]. Также для построения формализованной схемы могут применяться унифицированные языки моделирования, такие как UML (язык графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения) и т.д.

Для разделения сложной проблемы на более простые, частные проблемы может быть выполнена декомпозиция модели. При создании математической модели имитаторов чаще всего применяют функциональную и структурную декомпозиция. Функциональная декомпозиция базируется на анализе функций системы. Основанием разбиения на функциональные подсистемы служит общность функций, выполняемых группами элементов.

Структурная декомпозиция основывается на другом признаке - на

связях между элементами, существующих в системе (информационных, логических, иерархических, энергетических и т.п.).

При создании математической модели сложного оборудования или процессов деление её алгоритма на подсистемы является первоочередной задачей, количество делений системы на подсистемы определяется ее сложностью. При декомпозиции необходимо выполнять следующие требования: существенности — в модель включаются только компоненты, существенные по отношению к целям анализа; элементарности — доведение декомпозиции до простого, понятного, реализуемого результата; постепенной детализации модели; интегративности — возможность введения новых элементов в основания и продолжение декомпозиции по ним.

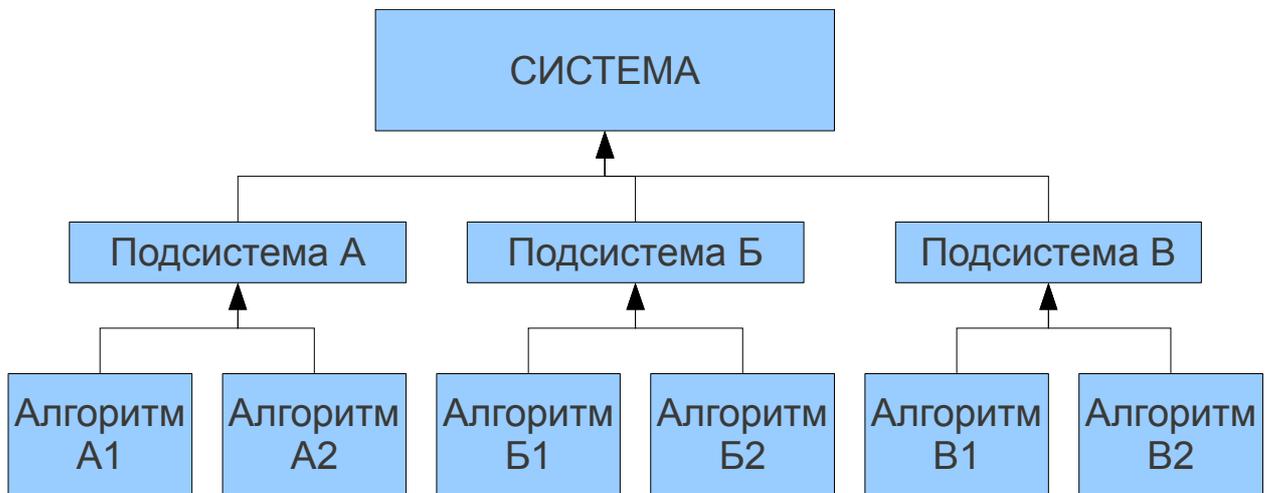


Рисунок 4.1.2. Декомпозиция системы

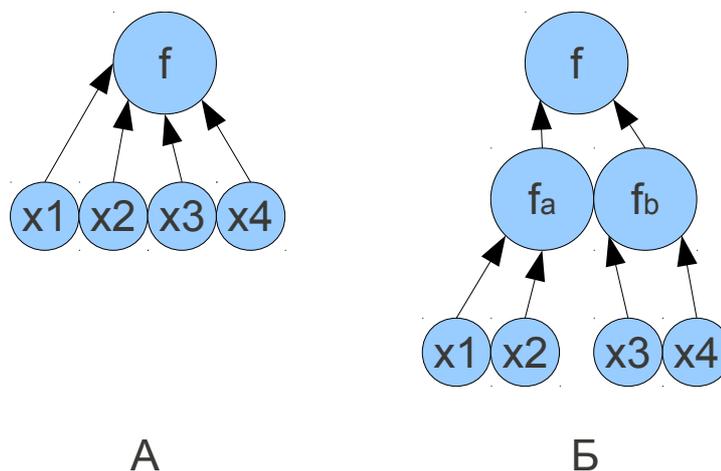


Рисунок 4.1.3. Исходная функция  $y = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$ , результат декомпозиции  $y = f(f_a(X_1, X_2), f_b(X_3, X_4))$

Ошибка в декомпозиции (слишком частое разделение) ведет к существенному увеличению количества связей между множеством подсистем, что делает модель (и программу на ее основе) практически «не

читаемой», что сильно затрудняет отладку и возможность дальнейшей модификации.

Для связи отдельных подсистем при декомпозиции сложной системы как правило применяются:

- последовательное (каскадное) соединение элементов;
- параллельное соединение элементов;
- соединение с помощью обратной связи.

Пример построения формализованной схемы. *Имитация процессов, происходящих при испытаниях насосов, фактически является имитацией следующей гидравлической схемы (рисунок 4.1.4), а также ранее указанных контрольно-измерительных приборов и вспомогательного оборудования:*

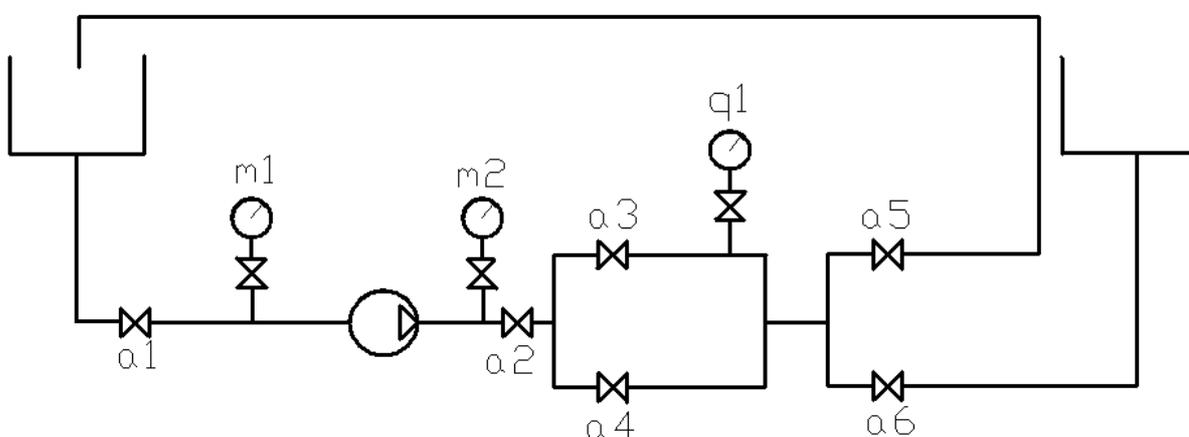


Рисунок 4.1.4. Гидравлическая схема, где  $a1, a2, a3, a4, a5, a6$  – задвижки;  $m1$  – мановакуумметр;  $m2$  – вакуумметр;  $q1$  – расходомер

Декомпозиция модели может быть произведена путем выделения в отдельные модели самого насоса Д200, трубопровода, контрольно-измерительных приборов.

#### 4.1.3. Построение математической модели

Переходя непосредственно к построению математической модели имитаторов, стоит отметить их специфику. Как правило, математические модели имитаторов отличаются тем, что результатом является не конечное состояние системы, а протекание процесса, при этом учитывается множество факторов, таких как износ оборудования, специально генерируемые аварии, ошибки датчиков, неточность измерительных приборов и т.д.

На сегодняшний день, существует огромное количество методов построения моделей, значительно различающихся, как по масштабу, так и по классу решаемых задач, и описать их все в рамках данной книги просто невозможно. Вместо этого предлагается рассмотрение моделей имитаторов с точки зрения масштаба (микро-, макро- и мета уровень) и класса решаемых

задач (деформация, теплоперенос, акустика, радиоволны, химия, электромагнитные процессы и т. д.).

Микро-уровень:

- Уровень элементарных частиц (нуклон,  $10^{-13}$  см и меньше) - Физика элементарных частиц, квантовая механика; квантовая теория поля; квантовая статистическая физика; квантовая теория; квантовая оптика и т. д.
- Уровень ядер ( $10^{-12}$  см) — Ядерная физика.
- Уровень атомов ( $10^{-8}$  см) — Атомная физика;
- Уровень молекул - Молекулярная физика.

Макро-уровень:

- Уровень «элементов» — например, метод дискретного элемента, метод конечных элементов и т.д.

Мета-уровень:

- Уровень системы (аналитические, статистические и т.д.).

Приведенная классификация не направлена на то, чтобы показать, что построение математической модели должно основываться на применении только одного из указанных типов моделей, наоборот, чаще всего применяются комбинация из разных моделей. Например, могут применяться модели различных уровней абстрагирования, мета-модели могут оперировать «показаниями» макро-моделей; макро-модели, в свою очередь, могут использовать результаты микромоделей; также в одном имитаторе могут одновременно присутствовать и детерминированные, и статистические модели.

В целом, с «увеличением масштаба» снижается универсальность, но также снижаются и требования к необходимым вычислительным ресурсам. Это тоже самое, что считать нагрев воды в чайнике по формулам 8 класса — мы никогда не получим «реальных» значений и не сможем оценить все факторы, влияющие на этот процесс в действительности. В тоже время выполнение расчета этой задачи на уровне элементарных частиц означает стрельбу из пушек по воробьям. В настоящее время наибольшее распространение в имитаторах получили аналитически-статистические модели уровня «системы» и модели, основанные на методе конечных элементов, конечных объемов и т. д. (рисунок 4.1.5.).



Рисунок 4.1.5. Условная демонстрация влияния «масштаба модели» на универсальность модели

Для демонстрации вышесказанного можно рассмотреть пример построения математической модели (фрагмент приложения 2) имитации гидравлической схемы (рисунок X).

На первом этапе рассчитывается суммарное перекрытие нагнетательного трубопровода  $\sum r = r_1 + r_2 + r_3$  где  $r_1$  - перекрытие в задвижке  $a_2$ ;  $r_2$  - перекрытие в задвижках  $a_3, a_4$ ;  $r_3$  - перекрытие в задвижках  $a_5, a_6$ . Суммарное перекрытие трубопровода задвижками  $a_3, a_4$  и  $a_5, a_6$  необходимо рассматривать как параллельное соединение трубопроводов:

$$r_1 = a_2;$$

$$r_2 = \left( \frac{1}{\sqrt{a_3}} + \frac{1}{\sqrt{a_4}} \right)^{-2};$$

$$r_3 = \left( \frac{1}{\sqrt{a_5}} + \frac{1}{\sqrt{a_6}} \right)^{-2};$$

$$\sum r = a_2 + \left( \frac{1}{\sqrt{a_3}} + \frac{1}{\sqrt{a_4}} \right)^{-2} + \left( \frac{1}{\sqrt{a_5}} + \frac{1}{\sqrt{a_6}} \right)^{-2}$$

Если сумма сопротивлений  $a_3$  ( $a_5$ ) и  $a_4$  ( $a_6$ ) меньше половины максимального перекрытия, то принять итоговое сопротивление участка равным 0. На втором этапе, зная подачу насоса (при полностью перекрытом нагнетательном трубопроводе подача равна 0, при полностью открытом - максимальна), по аппроксимированным кривым характеристик насоса (рисунок 4.1.б.) определяется напор, мощность, кпд и кавитационный запас. На третьем этапе, зная кавитационный запас и характер изменения манометрического и вакуумметрического давления, полученный в ходе эксперимента, определяются поправочные коэффициенты напора, кпд и

мощности. На четвертом этапе корректируются значения напора, кпд, мощности и т.д. с учетом полученных коэффициентов. Проверяется условие подачи насоса. На пятом этапе рассчитывается распределение потока жидкости (подачи) в гидросистеме. Например, для задвижек  $a_3$  и  $a_4$ , распределение потока жидкости рассчитывается по формуле из  $\frac{Q_2}{Q_3} = \sqrt{\frac{a_3}{a_4}}$ .

Расход жидкости в одной из ветвей гидравлической сети будет равен

$$Q_3 = \frac{Q}{1 + \sqrt{\frac{a_3}{a_4}}}$$

На шестом этапе изменяются показания виртуальных измерительных приборов. На седьмом этапе происходит обработка вторичных данных: изменение звукового сопровождения; расчет процессов, происходящих при пуске и остановке двигателя; определение  $I, U$ ; определение оборотов двигателя; определение возможности перелива жидкости из верхнего бака в нижний и т.д.

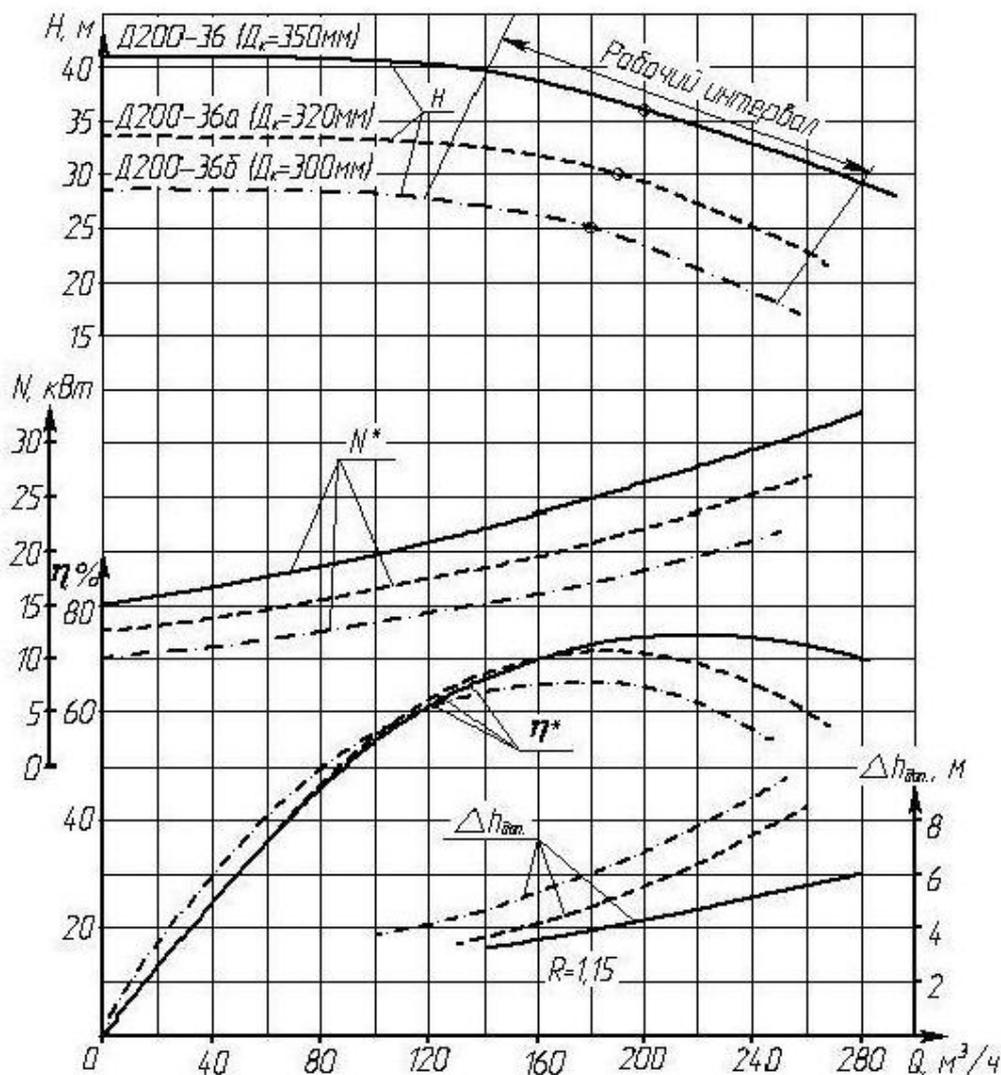


Рисунок 4.1.6. Характеристики насоса Д200-36. Частота вращения вала 1450 об/мин, жидкость — вода плотность 1000 кг/м<sup>3</sup>

Данный пример демонстрирует как достоинства, так и недостатки статистических и аналитических моделей уровня «системы». В качестве достоинства можно отметить быстроту построения (при наличии всех необходимых статистических данных), легкость последующей реализации и т.д. Говоря о недостатках можно привести следующее - нет так называемой «физики процесса», т.е. модель работает точно в пределах имеющихся статистических данных. Любое расширение универсальности модели, например, имитация гидроударов, учет примесей и вязкости, имитация вибрации, имитация химических и электрохимических реакций, усталостный износ и т.д., фактически заставит «подняться на уровень вверх» и перейти на моделирование на уровне «элементов». Такой переход очевиден, т.к. дальнейший учет различных факторов будет значительно увеличивать ее сложность, объем, а следовательно и стоимость. Условные точки А и Б на рисунке 4.1.7. показывают необходимость перехода на другой уровень при увеличении универсальности модели.

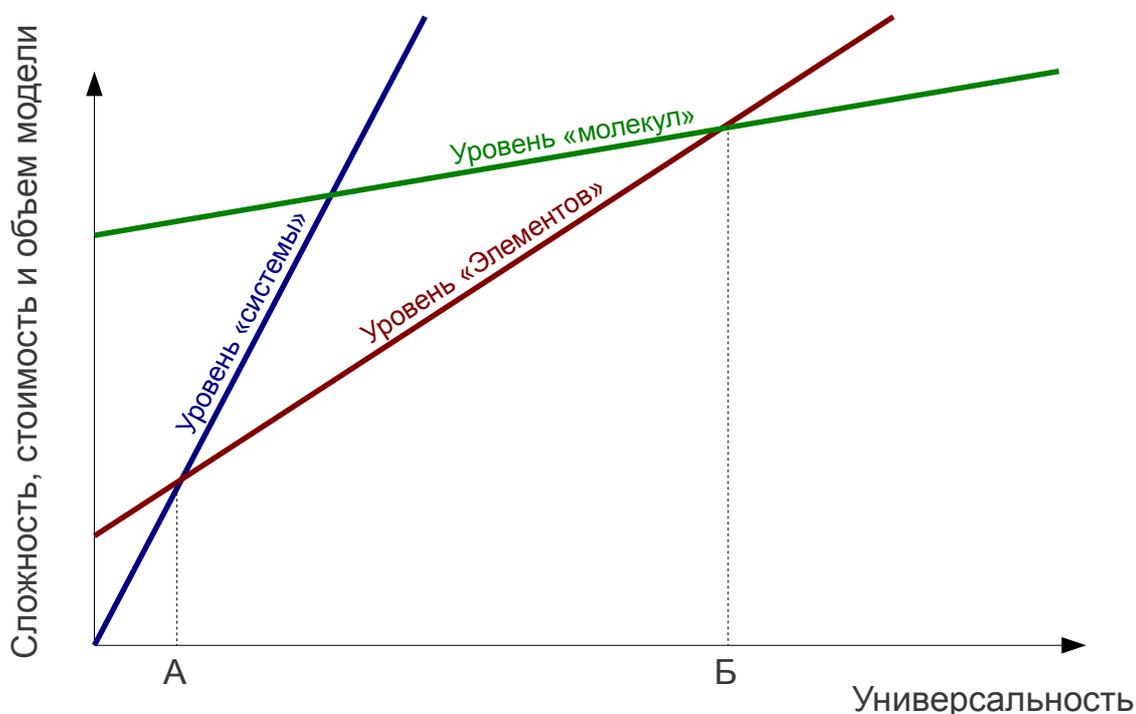


Рисунок 4.1.7. Условное изображение возрастания сложности модели от требуемой универсальности

Построение статистических и аналитических моделей уровня «системы» основано на применении имитационного моделирования, особенно таких его разделов как функциональные модели (отображающие физические и информационные процессы, происходящие в моделируемом объекте), структурные модели (отображающие геометрические свойства объекта) и коммутационные модели (отображающие соединения в моделируемом объекте.). Как правило, такие модели не являются универсальными и создаются под конкретный имитатор каждый раз заново, т. е. возможность повторного использования маловероятна.

Отдельного рассмотрения требуют модели уровня «элементов» как наиболее перспективные и универсальные на данный момент, допускающие повторное использование, т. е. могут быть использованы в процессе автоматизированного создания имитаторов. Стоит отметить, что модели уровня «элементы» могут быть естественным образом объединены для моделирования нескольких различных физико-химических механизмов в одной модели (в области физического моделирования имеется понятие (рубрика) — мультифизика). Частным случаем этого определения является система дифференциальных уравнений с более чем одной независимой переменной различных физических размерностей. Следует заметить, что до определённой степени понятие «мультифизика» является условным; возможны его разные трактовки [45].

Перечень классов задач, решаемых при помощи метода конечных элементов (МКЭ) с возможностью моделирования сразу нескольких различных физико-химических механизмов в одной модели, достаточно широк. Например, такие программы как COMSOL Multiphysics (Femlab) (пакет моделирования, который решает системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов в одном, двух и трех измерениях [95]), Ansys (универсальная программная система конечно-элементного анализа [90]), Elmer (Open Source Finite Element Software for Multiphysical Problems [97]) и другие уже на сегодняшний день позволяют решать следующие классы задач:

- Деформирование твёрдых тел (акустическое воздействие; устойчивость; упруго-пластический анализ; расчёт электромеханических устройств; механика разрушения; контакт; пьезоэлектрический эффект; механика полимеров; оптические эффекты при деформировании; трение с учётом температуры; термо-напряжённые конструкции; вязко-упругость и термическая ползучесть; вязкопластичность и т. д.).

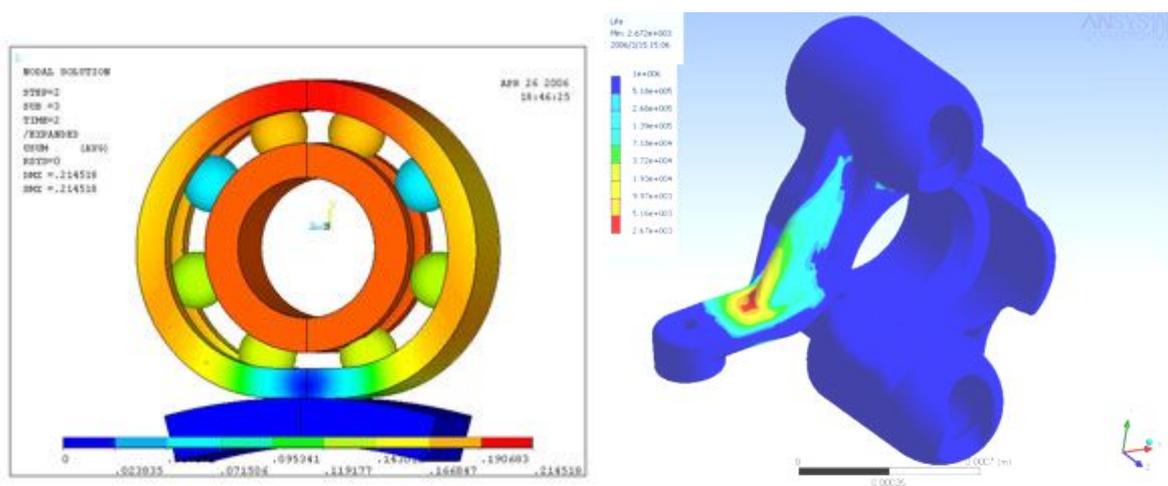


Рисунок 4.1.8. Суммарные перемещения деталей подшипника (перемещения увеличены), усталостная долговечность (изображения с сайта <http://www.ansyssolutions.ru>)

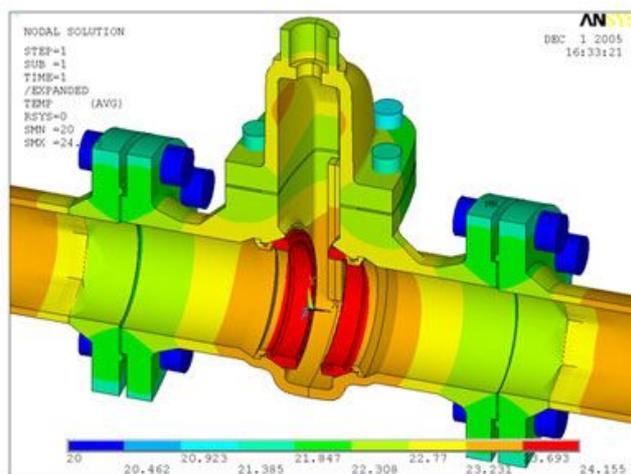


Рисунок 4.1.9. Оценка надежности трубопроводной арматуры (изображения с сайта <http://www.ansysolutions.ru>).

- Теплоперенос (теплопроводность, конвекция и излучение), литьё и другие термические процессы; конвекционное охлаждение в электронике и силовой электротехнике; сушка и сублимационная сушка; приготовление пищи, охлаждение и стерилизация; сварка трением; расчёт печей и горелок; расчёт теплообменников; обогрев, вентиляция и кондиционирование в строительстве; термообработка; расчёт тормозных дисков, рёбер охлаждения и выхлопных труб; процессы с излучением в вакууме; сварка.

- Моделирование акустических явлений (акустическое воздействие на конструкцию; аэроакустика; слуховые аппараты; громкоговорители и микрофоны; медицинский ультразвук и воздействие на ткани организма; акустические датчики; шумовые и вибрационные характеристики промышленных установок; уменьшение шумовыделения; неразрушающий контроль; звуковая локация).

- Моделирование химических реакций (аналитическая химия и криминалистика; каталитическое горение и реформинг нефтепродуктов; химия горения; химия атмосферы и окружающей среды; контроль выбросов; гомогенный и гетерогенный катализ; промышленная химия и технология; кинетика химических реакторов; химия материалов и твёрдых тел; петрохимия и каталитическое растрескивание; фармацевтический синтез; кинетика полимеризации и изготовления; изготовление полупроводников; кинетика химии поверхностей и адсорбция).

- Моделирование электромагнитных эффектов, включая электростатику, магнитостатику, электромагнитную квази-статику (конденсаторы, индукторы и резисторы; управление в цепях; электросварка и электрический разряд; электромагнитная совместимость и интерференция; преобразователи, датчики и трансформаторы; изоляция и проводимость; магнитостатическое и электромагнитное экранирование; моторы, генераторы и другие электромеханические машины; плазма и магнитная гидродинамика; распространение шума от электромагнитных устройств; микроволновый нагрев).

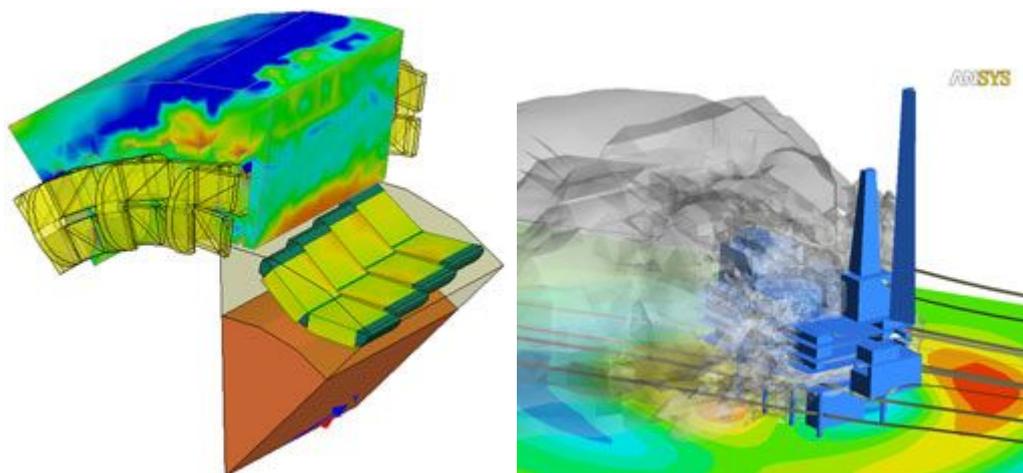


Рисунок 4.1.10. Трехмерный электромагнитный анализ электрического мотора, моделирование утечки газа и образования взрывоопасной смеси на морской нефтяной платформе (изображения с сайта <http://www.ansysolutions.ru>)

- Моделирование эффектов в диапазоне радиоволн (антенны, волноводы, объёмные резонаторы; антенные решётки Блоха-Флоке; циркуляторы и направленные ответвители; высокоскоростные коммутаторы; метаматериалы; микроволновый нагрев; микроволновое лечение рака; микроволновые устройства; микроволновое спекание; каротаж нефтяных скважин и морского дна; волновая дисперсия; оптические эффекты при механическом напряжении в волноводах и фототехнике; анализ S-параметра антенн; термомеханические эффекты в антеннах и волноводах; термическое воздействие на ткани организма от сотовых телефонов; линии электропередачи).

- Моделирование экосистем. Анализ подземных течений (течение, адвекция и диффузия в лиманах и прибрежных полосах; хранение газа; магнитогидродинамика магмы; механическая и гравитационная сушка пористых и волокнистых материалов; нефтедобыча; загрязнение под землёй, на поверхности земли и в атмосфере; уплотнение и осадка пористых упругих сред, их напряжённое состояние и разрушение; насыщенный и ненасыщенный поток в пористой среде; течение на мелководье и транспортировка осадков; одно- и многофазное течение сквозь пористую среду; анализ горизонта грунтовых вод и вторжение солёных вод; анализ устья скважины) и т. д.

К сожалению указанные программы имеют отличную от имитаторов направленность — они предназначены для исследования/оптимизации процессов и не направлены на задачи обучения персонала. Данные программы визуализируют результат, в лучшем случае, возможен экспорт статических данных расчета, т.е. получить готовую математическую модель, для последующего использования в имитаторе невозможно. Кроме того, требования к скорости вычислений в указанных программах не является такими критическими, как в задачах имитаторов. По этим причинам

разработчикам имитаторов необходимо создавать математические модели МКЭ самостоятельно.

В целом, суть метода конечных элементов (МКЭ) состоит в том, что любая непрерывная величина (например давление или температура, растяжение\сжатие и т.д.) аппроксимируется (заменяется) дискретной моделью, построение которой выполняется на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей.

Вопросам использования МКЭ посвящено достаточное количество специализированной литературы:

- Сегерлинд. "Применение метода конечных элементов" - Москва, издательство "Мир", 1979.
- Р. Галлагер Метод конечных элементов. Основы. М.: Мир, 1984. - 428 с.
- Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов. Пер. с англ., М.: "Мир", 1981-304с., ил.
- Сызранцев В.Н., Сызранцева К.В. Расчет напряженно-деформированного состояния деталей методами конечных и граничных элементов: Монография.- Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2000.- 111с.
- Метод конечных элементов для уравнений с частными производными / Э. Митчелл, Р. Уэйт ; Перевод с англ. В. Е. Кондрашова, В. Ф. Курякина, 216 с. ил. 21 см., М. Мир., 1981.
- Коннор, Дж. Метод конечных элементов в механике жидкости / Коннор Дж., Бреббиа К.; пер. с англ. Н. Б. Плисова, К.В. Рождественского. – Л.: Изд-во «Судостроение», 1979.
- и т. д.

В целях знакомства читателя с этим методом, в рамках данной главы демонстрируется математическая модель, реализующая МКЭ для решения частной задачи - расчет плоских ферм.

**Постановка задачи.** В качестве примера рассмотрим шарнирную ферму из элементов, которые воспринимают только продольную нагрузку, то есть могут только растягиваться или сжиматься (рисунок 4.1.11.).

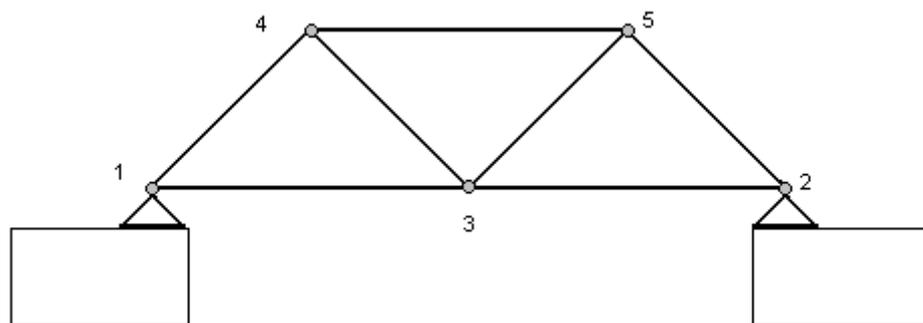


Рисунок 4.1.11. Пример шарнирной фермы

Часть узлов фермы закреплены (1,2), и не могут перемещаться. К некоторым узлам (3) приложена внешняя сила. Остальные узлы считаются свободными (4, 5). Требуется определить смещение узлов при воздействии на ферму всех указанных сил и найти реакцию опоры во всех фиксированных точках.

**Решение.** Ферма состоит из отдельных элементов, скрепленных между собой в узлах фермы. Также на элемент действует только продольные силы, значение которых положительно при растяжении элемента и отрицательно при сжатии. Считаем, что сила действует на элемент только в его узлах в виде проекций на оси координат (рисунок 4.1.12.).

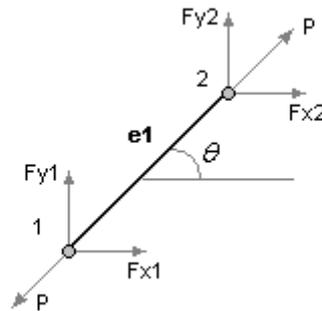


Рисунок 4.1.12. Элемент фермы

Если на элемент действует сила  $P$ , то нагрузка в его узлах будет равна  $F_1$  и  $F_2$ , соответственно. Тогда сила  $F^{e1}$ , действующая на элемент в целом, есть

$$F^{e1} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}^{e1} = \begin{bmatrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ F_{x2} \\ F_{y2} \end{bmatrix}^{e1} \quad (1)$$

Аналогично определяется и смещение узлов элемента под действием указанных сил:

$$\delta^{e1} = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{bmatrix}^{e1} = \begin{bmatrix} \delta_{x1} \\ \delta_{y1} \\ \delta_{x2} \\ \delta_{y2} \end{bmatrix}^{e1} \quad (2)$$

Индекс  $e1$  указывает на элемент, к которому приложены силы. Растяжение или сжатие стержня ненагруженной длины  $L$  определяется величиной  $(\delta_{x2} - \delta_{x1}) \cos \theta + (\delta_{y2} - \delta_{y1}) \sin \theta$ , а деформация элемента получается делением этой величины на  $L$ . Так как напряжение равно произведению модуля Юнга  $E$  на деформацию, то продольная сила определяется выражением

$$= (EA/L) [(\delta_{x2} - \delta_{x1}) \cos \theta + (\delta_{y2} - \delta_{y1}) \sin \theta], \quad (3)$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения стержня.

Компоненты продольной силы  $P$  могут быть представлены через компоненты шарнирных сил, следовательно, уравнение (1) можно записать так

$$F^{el} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}^{el} = \begin{bmatrix} -P \cos \theta \\ -P \sin \theta \\ P \cos \theta \\ P \sin \theta \end{bmatrix}^{el} \quad (4)$$

Подставив  $P$  из (3), перегруппировав члены и записав полученной выражение в матричной форме, получим

$$F_{x2} = (EA/L) \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin \theta \cos \theta & -\cos^2 \theta & -\sin \theta \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{x1} \\ \delta_{y1} \\ \delta_{x2} \\ \delta_{y2} \end{bmatrix}$$

Выражение для всех элементов будет выглядеть так

$$F^{el} = (EA/L) \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin \theta \cos \theta & -\cos^2 \theta & -\sin \theta \cos \theta \\ \sin \theta \cos \theta & \sin^2 \theta & -\sin \theta \cos \theta & -\sin^2 \theta \\ -\cos^2 \theta & -\sin \theta \cos \theta & \cos^2 \theta & \sin \theta \cos \theta \\ -\sin \theta \cos \theta & -\sin^2 \theta & \sin \theta \cos \theta & \sin^2 \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{x1} \\ \delta_{y1} \\ \delta_{x2} \\ \delta_{y2} \end{bmatrix} \quad (5)$$

А после занесения  $(EA/L)$  в матрицу, так

$$F^{el} = \begin{bmatrix} k_{x1,x1} & k_{x1,y1} & k_{x1,x2} & k_{x1,y2} \\ k_{y1,x1} & k_{y1,y1} & k_{y1,x2} & k_{y1,y2} \\ k_{x2,x1} & k_{x2,y1} & k_{x2,x2} & k_{x2,y2} \\ k_{y2,x1} & k_{y2,y1} & k_{y2,x2} & k_{y2,y2} \end{bmatrix}^{el} \begin{bmatrix} \delta_{x1} \\ \delta_{y1} \\ \delta_{x2} \\ \delta_{y2} \end{bmatrix}$$

Объединив компоненты элемента, получим

$$F^{el} = \begin{bmatrix} k_{11}^{el} & k_{12}^{el} \\ k_{21}^{el} & k_{22}^{el} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Уравнение (6) называется матричным уравнением для элемента, а матрица  $k$ , называется его матрицей жесткости.

Уравнение (6) можно расширить с тем, чтобы оно включало все смещения:

$$F^{el} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{11}^{el} & k_{12}^{el} & \dots & 0 \\ k_{21}^{el} & k_{22}^{el} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \dots \\ \delta_n \end{bmatrix},$$

при этом все коэффициенты  $k$  не принадлежащие элементу, приравнивают 0. Матрица коэффициентов  $k$ , в данном случае, называется расширенной матрицей жесткости, а  $\delta$  - вектор узловых смещений.

Внешние силы (реакции опор)  $R$  также могут быть выражены через  $x, y$  компоненты, а условие равновесия в узлах говорит о том, что реакция в опоре(узле) равна сумме сил в этой опоре (узле).

$$R_i = \sum_i F_i^e$$

В результате вектор реакций (внешних сил) выражается через сумму сил действующих на все узлы фермы.

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_n \end{bmatrix} = \sum_{e=i} \begin{bmatrix} F_1^e \\ F_2^e \\ \dots \\ F_n^e \end{bmatrix} = \sum_i F^{ei} \quad (7)$$

**Пример решения.** Пусть имеется шарнирная ферма (рисунок 4.1.13.). Узлы 1 и 4 зафиксированы, к узлу 3 приложена сила 1000 кГ, узел 2 свободен (приложенная сила есть 0). Все элементы фермы ( $e_1, e_2, e_3, e_4, e_5$ ) имеют сечение  $1 \text{ см}^2$  и начальную длину 1 м, угол  $\theta = 45^\circ$ . Модуль Юнга полагаем равным  $2 \cdot 10^6 \text{ кГ/см}^2$ .

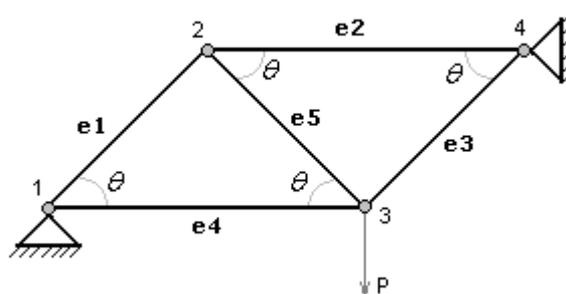


Рисунок 4.1.13. Пример фермы

**Важные замечания.** При нумерации узлов для расчета требуется нумеровать узлы в сторону узла, к которому приложена сила. То есть элемент  $e_3$  нужно нумеровать в обратном порядке. Это необходимо сделать для автоматического соблюдения знака при расчетах. Если сила не приложена ни к одному узлу или приложена сразу к обоим узлам элемента, порядок нумерации узлов не имеет значения.

Находим матрицу жесткости для каждого элемента, используя выражение (5):

$$F^{e1} = 2 * 10^4 \begin{bmatrix} 0.49 & 0.49 & -0.49 & -0.49 \\ 0.49 & 0.49 & -0.49 & -0.49 \\ -0.49 & -0.49 & 0.49 & 0.49 \\ -0.49 & -0.49 & 0.49 & 0.49 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{x1} \\ \delta_{y1} \\ \delta_{x2} \\ \delta_{y2} \end{bmatrix}$$

$$F^{e3} = 2 * 10^4 \begin{bmatrix} 0.49 & -0.49 & -0.49 & 0.49 \\ -0.49 & 0.49 & 0.49 & -0.49 \\ -0.49 & 0.49 & 0.49 & -0.49 \\ 0.49 & -0.49 & -0.49 & 0.49 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{x4} \\ \delta_{y4} \\ \delta_{x3} \\ \delta_{y3} \end{bmatrix},$$

локальный порядок узлов изменен к силе. Остальные матрицы жесткости рассчитываются аналогично и остаются для упражнения читателю.

Составим расширенные матрицы жесткости, перенумеровав предварительно локальные узлы в соответствии с глобальной нумерацией, простой перестановкой строк.

$$F^{e1} = 2 * 10^4 \begin{bmatrix} 0.49 & 0.49 & -0.49 & -0.49 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.49 & 0.49 & -0.49 & -0.49 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.49 & -0.49 & 0.49 & 0.49 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.49 & -0.49 & 0.49 & 0.49 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{x1} \\ \delta_{y1} \\ \delta_{x2} \\ \delta_{y2} \\ \delta_{x3} \\ \delta_{y3} \\ \delta_{x4} \\ \delta_{y4} \end{bmatrix}$$

Остальные матрицы жесткости рассчитываются аналогично.

Затем составляем матричное уравнение для расчета реакций опор, просуммировав все полученные выражения, используя (7).

Узлы 1 и 4, следовательно, их перемещения равны 0 и вектор перемещение имеет вид:

$$[0, 0, \delta_{x2}, \delta_{y2}, \delta_{x3}, \delta_{y3}, 0, 0]^{-1} \quad (8)$$

Учитывая это, получим систему линейных уравнений, в матричной форме имеющих вид

$$R = M * \delta, \quad (9)$$

где R – вектор реакций, M – сумма матриц жесткости всех элементов,  $\delta$  – вектор перемещений узлов (8).

Решаем систему в 2 этапа. Сначала находим неизвестные перемещения, используя известные силы. Это можно сделать, так как нам известна сила, приложенная в узлах 2 и 3:

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1000 * \sin(-90) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1000 \end{bmatrix}$$

Получаем  $\delta_{x2}=0,018 \text{ см}$ ,  $\delta_{y2}=-0,89 \text{ см}$ ,  $\delta_{x3}=0,02 \text{ см}$ ,  $\delta_{y3}=-0,11 \text{ см}$ . Подставив полученные значения выражения в (9), получаем  $R1=(3,2; 5,1)$ ,  $R4=(4,7; 9)$ .

#### 4.1.4. Исследование, тестирование и корректировка математической модели

После построения математической модели системы обычно выполняется ее предварительное изучение, выделение наиболее существенных характеристик, экспериментальный и теоретический анализ модели, сопоставление результатов решения с известными данными о системе, корректировка модели и т. д. Как было указано в главе 3.5., одним из главных требований к имитаторам является адекватность модели.

#### Пример оценки адекватности программной реализации модели тренажера станка-качалки

Например, математическую модель кинематики станка качалки можно проверить с использованием сразу трех теорий кинематики СК — упрощенной, уточненной и точной [81].

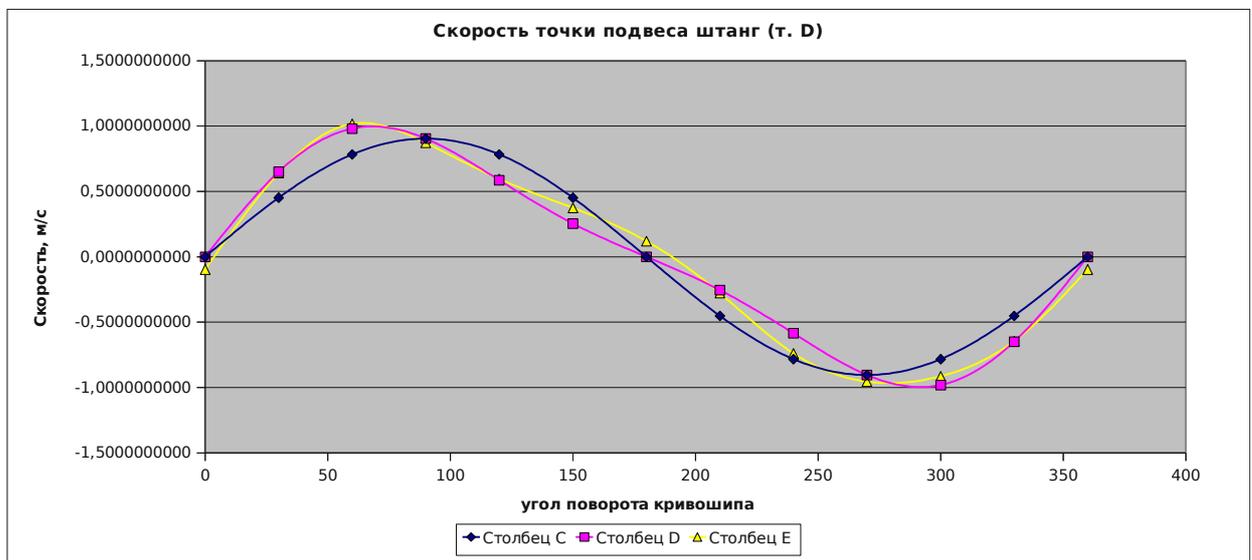


Рисунок 4.1.14. Диаграмма скорости точки подвеса штанг от угла поворота кривошипа

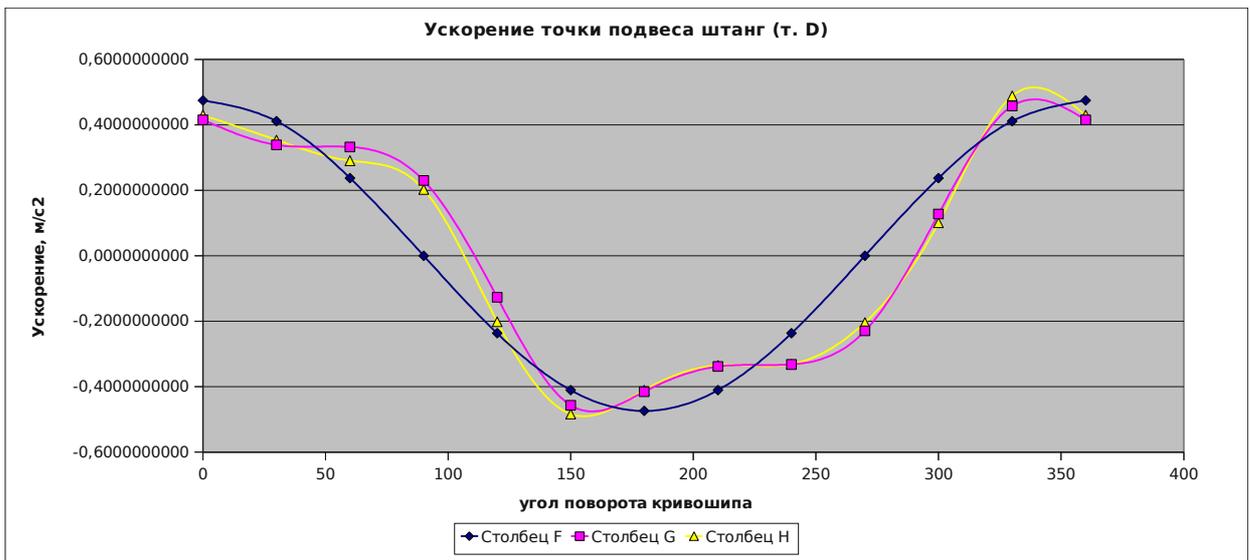


Рисунок 4.1.15. Диаграмма скорости точки подвеса штанг от угла поворота кривошипа

Таблица 4.1.1. Данные скорости точки подвеса штанг от угла поворота кривошипа

Угол поворота кривошипа	Скорость и ускорение точки подвеса штанг (точка D)					
	Скорость, м/с			Ускорение, м/с <sup>2</sup>		
	V upr	V utoch	V graph	W upr	W utoch	W graph
0	0,000000000	0,000000000	-0,0975396142	0,4744922049	0,4153104383	0,4295355964
30	0,4522593697	0,6499716055	0,6398330960	0,4109223033	0,3386562127	0,3534776585
60	0,7833362066	0,9810484423	1,0178502142	0,2372461025	0,3323474419	0,2903962583
90	0,9045187394	0,9045187394	0,8716458467	0,0000000000	0,2294778690	0,2024856153
120	0,7833362066	0,5856239708	0,5953970366	-0,2372461025	-0,1271111624	-0,2015000813
150	0,4522593697	0,2545471339	0,3744491913	-0,4109223033	-0,4571494339	-0,4839541943
180	0,0000000000	0,0000000000	0,1200782040	-0,4744922049	-0,4153104383	-0,4105026731
210	-0,4522593697	-0,2545471339	-0,2782017190	-0,4109223033	-0,3386562127	-0,3348220990
240	-0,7833362066	-0,5856239708	-0,7395526997	-0,2372461025	-0,3323474419	-0,3316260439
270	-0,9045187394	-0,9045187394	-0,9552989602	0,0000000000	-0,2294778690	-0,2041288451
300	-0,7833362066	-0,9810484423	-0,9141579304	0,2372461025	0,1271111624	0,1002220085
330	-0,4522593697	-0,6499716055	-0,6457499131	0,4109223033	0,4571494339	0,4880412042
360	0,0000000000	0,0000000000	-0,0975396142	0,4744922049	0,4153104383	0,4295355964

- средняя относительное отклонение,  $S_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i^{(\text{э})} - x_i^{(M)}}{x_i^{(M)}} \right|$  ;
- максимальная относительная ошибка (отклонение)  $S_2 = \max \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i^{(\text{э})} - x_i^{(M)}}{x_i^{(M)}} \right|$
- средняя квадратичная ошибка  $S_3 = \frac{1}{n} \left[ \sum_{i=1}^n \left[ \frac{x_i^{(\text{э})} - x_i^{(M)}}{x_i^{(M)}} \right]^2 \right]^{0.5}$  .

Таким-же образом можно определить адекватность динамограммы станка-качалки в заданных условиях

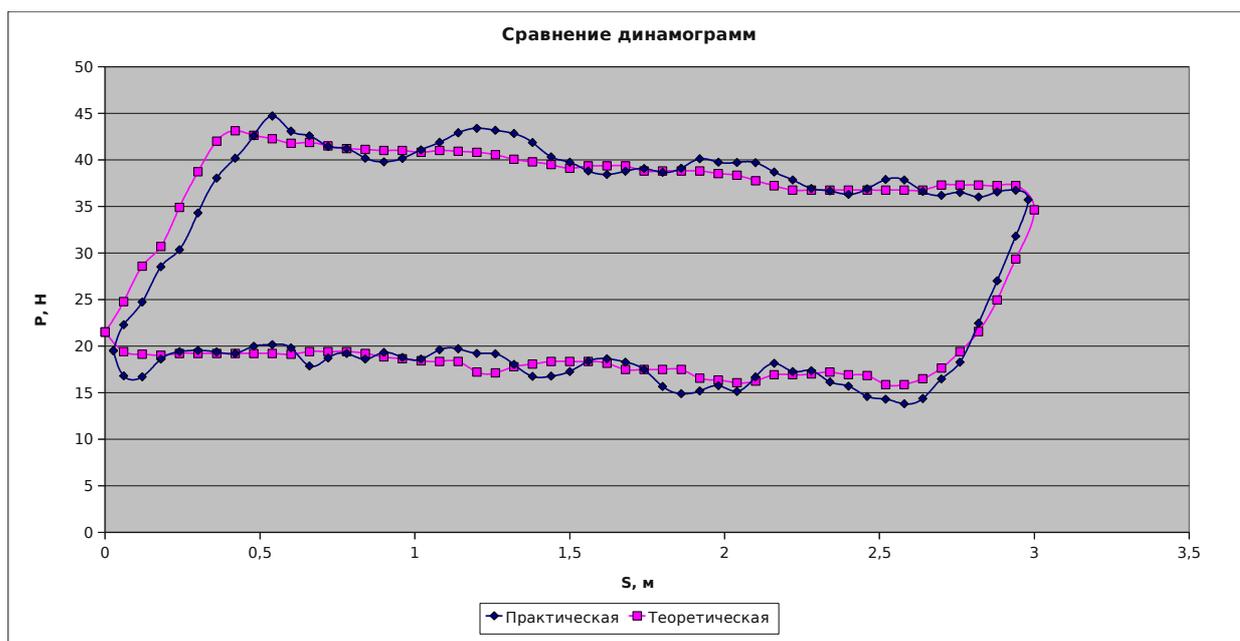


Рисунок 4.1.16. Сравнение эталонной и имитируемой динамограммы работы станка качалки

Таблица 4.1.2. Фрагмент данных эталонной и имитируемой динамограммы

№	Теоретическая		Практическая	
	Δ	P	Δ	P
0	0	0	0	0
1	0,03	19,5	0	21,51
2	0,06	22,28	0,06	19,41
3	0,12	24,73	0,12	19,12
4	0,18	28,52	0,18	19
5	0,24	30,35	0,24	19,22
6	0,3	34,30	0,3	19,22
7	0,36	38,04	0,36	19,22
8	0,42	40,17	0,42	19,22
9	0,48	42,59	0,48	19,22
10	0,54	44,71	0,54	19,22
.....				
100	0,06	16,8	0,06	24,78
101	0,03	19,5	0	21,51

- средняя относительное отклонение,  $S_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i^{(\text{э})} - x_i^{(\text{м})}}{x_i^{(\text{м})}} \right|$  ;
- максимальная относительное отклонение  $S_2 = \max \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i^{(\text{э})} - x_i^{(\text{м})}}{x_i^{(\text{м})}} \right|$  ;

- средняя квадратичная ошибка  $S_3 = \frac{1}{n} \left[ \sum_{i=1}^n \left[ \frac{x_i^{(э)} - x_i^{(м)}}{x_i^{(м)}} \right]^2 \right]^{0.5}$ .

#### 4.1.5. Программная реализация

После построения математической модели и проверки ее адекватности выполняется ее программная реализация. Программная реализация математической модели для имитаторов является не просто написанием эквивалента на одном из языков программирования. Обычно программная реализация выполняет массу функций, таких как связывание математических моделей (например, если используются кластерные вычисления или имеется инструктор), их порождение, перераспределение, синхронизация между собой, связь с модулями синтеза звука, изображения, взаимодействия с пользователем, LMS системой и т. д. Другими словами программная реализация — это не просто реализация математической модели на языке программирования, а еще и главное связующее звено между всеми модулями имитатора. Реализуемые функции:

1. Реализация математической модели на языке программирования.
2. Распределение вычислений.
3. Порождение, перераспределение, временная синхронизация имитаторов между собой.
4. Связь с модулем синтеза звука.
5. Связь с модулем синтеза изображения.
6. Связь с модулем взаимодействия с пользователем.
7. Связь с модулем взаимодействия с LMS системой.

Реализация математической модели на языке программирования сама по себе может быть достаточно тривиальной задачей, а может оказаться и достаточно сложной задачей. Это зависит от ряда факторов.

Если реализация не требует значительных вычислительных мощностей, имитатор является одно-пользовательским и не входит в распределенные системы имитации (т. е. нет других участников имитации, нет инструктора, нет связи с другими имитаторами и т. д.), то задача является тривиальной, можно использовать практически любой, удобный для разработчиков язык программирования.

Если установлено требование кроссплатформенности, выбор языка программирования значительно сужается. 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 имитаторов (по данным различных источников [23], JAVA имеет более чем в 10 раз меньшую скорость выполнения кода по сравнению с C++). Обеспечение работы имитатора на различных аппаратных и программных платформах с достаточной скоростью может быть достигнута при использовании языка C+. В настоящий момент переносимость программ на C++ на уровне кода обеспечивается для всех наиболее популярных операционных систем [70] – Microsoft Windows 2000/XP/Vista/7, Unix/Linux, MacOS и т.д. 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++.

Распределение вычислений сразу на множестве компьютеров необходимо в том случае, когда вычислительного ресурса одного компьютера бывает недостаточно даже при максимальной оптимизации модели (стоит учитывать, что вычислительный ресурс используется также для синтеза графики, звука и других функций). Для этого может быть использовано несколько способов: кластерные вычисления, использование вычислительных ресурсов современных графических процессоров, а также их комбинация.

Кластерные вычисления. Самым распространенным является использование программного интерфейса обмена сообщениями между процессами, выполняющими одну задачу - MPI [115]. MPI в настоящее время является самым распространенным средством программирования для кластеров. Существует множество библиотек, которые реализуют MPI, самой распространенной является MPICH2 [88].

Использование вычислительных ресурсов современных графических процессоров [87]. Для реализации данной возможности можно использовать открытый язык вычислений написания компьютерных программ, связанных с параллельными вычислениями на различных графических и центральных процессорах OpenCL [121] или «фирменную» технологию Nvidia CUDA [86]. Максимальную эффективность от данных технологий можно получить, если использовать специальные графические процессоры фирмы NVIDIA для высокопроизводительных вычислений Tesla [120].

Поскольку указанные способы не являются специфичными для имитаторов, более подробное их рассмотрение остается за рамками данной книги. Для примерной оценки этих возможностей этих вариантов можно использовать данные теста LINPACK (см. главу 2.5.2.).

Синхронизация имитаторов между собой, порождение, перераспределение, временная синхронизация. Если имитатор является многопользовательским или входит в состав распределенной системы имитации, при программной реализации модели необходимо решать ряд

дополнительных задач, тесно связанных с использованием стандарта IEEE 1516. В терминах этого стандарта отдельный имитатор называется федерат. Совокупность участвующих в имитации федератов образует федерацию. Федерат имеет в своем составе объекты, которые в свою очередь имеют свойства. Федераты могут публиковать свои свойства, делая их доступными для других федератов, а также могут подписываться на получения изменений других федератов. Логику этих взаимодействий должна определять программная реализация модели.

Кроме того, необходимо реагировать на такие события в федерации как порождение федератов (например, федерат вертолет выпустил ракету, ракета также может является федератом и иметь собственную модель), уничтожение федератов. Процесс перераспределения связан с изменением взаимодействия между федератами (например, федерат - летящий самолет, выходит из зоны одного диспетчера - федерата и входит в зону другого). Кроме этого, очень важным является временная синхронизация имитаторов, т. е. механизм регулирования общего времени.

Недоработки в реализации механизма поддержки «распределенности» могут привести к множеству ошибок, например, в один из имитаторов выпущена ракета, но имитатор ее «не видит», а, возможно, и не реагирует на ее попадание. Другой пример — нарушение временной синхронизации может вызвать эффект «матрицы» или «машины времени», когда один имитатор (самолет) уже давно пролетел аэропорт, но другой имитатор (диспетчер) даже еще не видит его на радаре и т. д. Данные вопросы использования стандарта IEEE 1516 являются специфичными для имитаторов, поэтому подробно рассматриваются в главе 4.6.

Связь с модулями синтеза изображения, звука, модулем взаимодействия с пользователем необходима для отражения изменений, произошедших в математической модели, а также для передачи действий пользователя в математическую модель. Данные вопросы являются специфичными для имитаторов, поэтому подробно рассматриваются в главах 4.2-4.

Связь с LMS системой необходима при запуске имитатора из системы управления обучением. В таком случае имитатор может передавать данные о процессе обучения, например: затраченное время, результат обучения (оценку) и т. д. Также имитатор может запрашивать определенные данные, например ФИО учащегося, ограничение обучения по времени и т.д. Данные вопросы являются специфичными для имитаторов, поэтому подробно рассматриваются в главе 4.7.

#### **4.1.6. Определение экономичности модели (вычислительные ресурсы)**

После выполнения программной реализации, как правило, определяют ее экономичность, т.е. необходимые для функционирования вычислительные

ресурсы. Методика приведена в главе 3.5.2. - «Требования к экономичности модели.»

Пример оценки затрат вычислительных ресурсов при расчете программной реализации модели тренажера станка-качалки. Результаты теста LINPACK для компьютера Intel Core 2 Quad Q8300 2.5 GHz равны 27.28 Gflops\с. Замеры времени выполнения модели представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.1.3. Замеры времени выполнения модели.

№ замера	Время выполнения, с
1	0,016000
2	0,015000
3	0,016000
4	0,015000
5	0,016000
6	0,016000
7	0,015000
8	0,016000
9	0,015000
10	0,016000
11	0,016000

$FLOPS_{2max} = (27.28 * 0,016000) = 0.43$  Gflops (количество операций для 1 полного просчета модели).

$F = 27.28 / 0.43 = 64.15$  (количество расчетов модели в секунду).

Например, заданная частота «реального времени» определена как 60 Hz, значит  $C = 64.15 / 60 = 1.07$

$C > 1$  означает, что модель является экономичной и может работать в заданных условиях «реального времени» на заданном оборудовании. Оптимизация модели не требуется. Допускается уменьшение вычислительной мощности компьютера на 7 %.

#### 4.1.7. Профилирование программы

Профилирование программы имитатора необходимо для обеспечения и контроля надежности программы, а также для определения узких мест в работе программы для последующей оптимизации. На первом этапе производится сбор и анализ информации, полученной во время выполнения программного кода имитатора, а именно:

- обнаружение утечек памяти;
- статистика эффективности кэша при выполнении программы;
- построение дерева вызовов функций (т. е. графическое представление потока исполнения приложения и помогает выявить критические функции и временные затраты в приложении) для последующего выявления и анализа узких мест в работе программы;
- обнаружение ошибок синхронизации в многопоточных приложениях;
- выявление неиспользуемых участков кода и т.д.

В настоящее время существует множество программ для профилирования, например:

- Valgrind
- Kcachegrind
- Parsoft Insure++
- Intel VTune Performance analyzer
- AMD CodeAnalyst Performance Analyzer

На рисунке 4.1.17. показано дерево вызовов имитатора, построенное программой kcachegrind по данным программы valgrind (valgrind --tool=callgrind programfile).

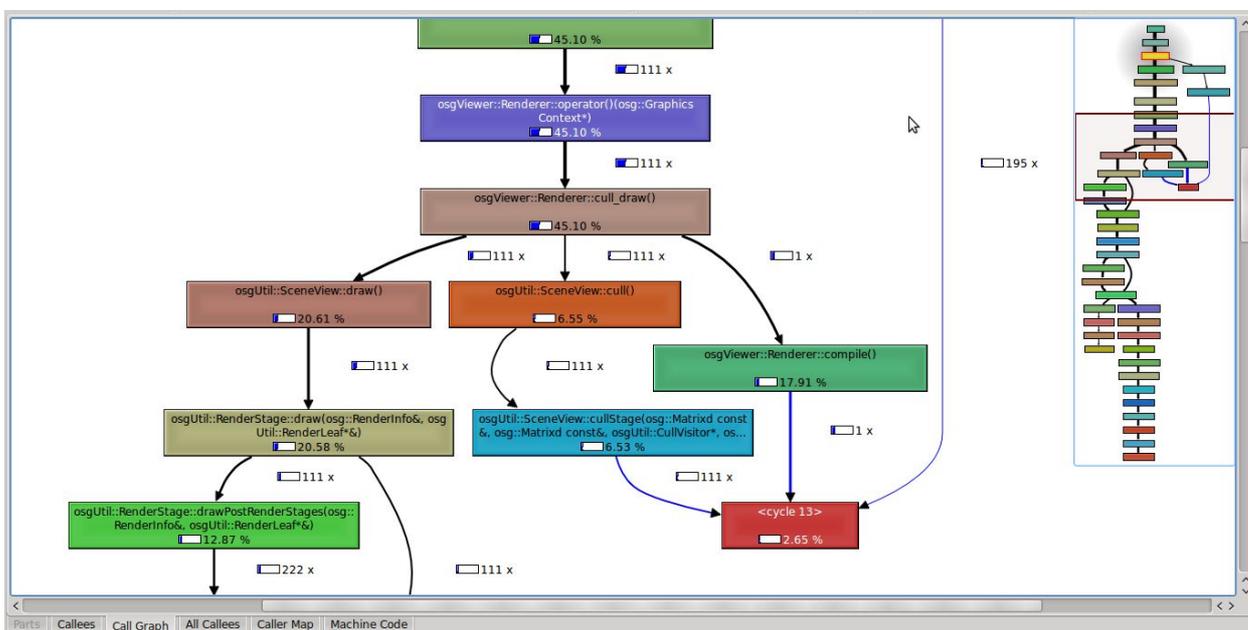


Рисунок 4.1.17. Пример дерева вызовов (kcachegrind)

## 4.2. Формирование изображения (синтез изображения)

**Трёхмерная графика** — раздел компьютерной графики, совокупность приемов и инструментов (как программных, так и аппаратных), предназначенных для изображения объёмных объектов. В имитаторах используются два вида представления моделей — полигональное и воксельное (voxel) [7]. Соответственно, полигональные модели определяются набором полигонов («сшиты» из плоских треугольников), а воксельные модели представлены трехмерным массивом элементов-кубиков. У каждого метода есть свои преимущества и недостатки. Например, воксельные модели требуют значительно больше памяти на хранение модели, чем полигональные, но содержат действительную информацию об объеме, а не о поверхности. На данный момент полигональные модели находят большее применение в игровых приложениях, а воксельные в научных и медицинских.

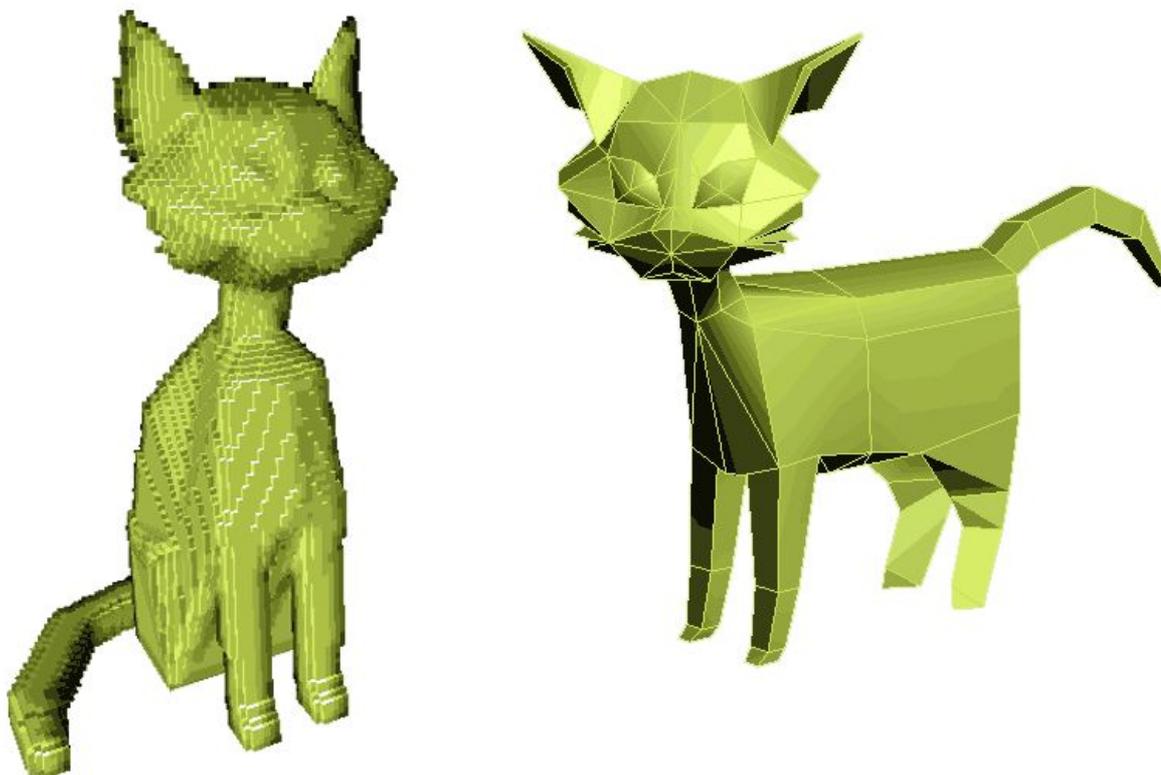


Рисунок 4.2.1. Изображение воксельной и полигональной модели (изображение с сайта <http://ru.wikipedia.org/wiki/ВОКСЕЛ>)

Как правило, применение двух разных представлений способно достаточно успешно взаимодополнять друг друга, так, например воксельные модели могут с успехом использоваться для представления сплошных сред (дым, атмосферные явления, жидкости и т. д.), а полигональные - для представления сложных объектов, которые можно представить поверхностью. Независимо от способа представления, для синтеза изображения в имитаторах выполняются следующие шаги:

1. Настройка геометрического описания объектов среды (изменение положения, поворот, масштаб, изменения полигональной модели и т.д.), настройка материалов (свойства «краски»), настройка источников света, настройка камеры.
2. Визуализация, т. е. получение проекции изображения.
3. Post-обработка изображения (имитация помех, «ночного видения» и т. д.).
4. Вывод на устройство отображения.

Существует несколько технологий рендеринга, часто комбинируемых вместе - сортировка по глубине (Z-буфер), метод трассировки лучей (raytrace, raycasting), глобальная иллюминация (global illumination, radiosity), методы для воксельных моделей.

Z-буфер (используется в OpenGL и DirectX) - для каждого получаемого пиксела, его удалённость просчитывается и записывается в ячейку Z-буфера. Если пикселы двух рисуемых объектов перекрываются, то их значения глубины сравниваются, и рисуется тот, который ближе, а его значение удалённости сохраняется в буфер. Данный метод отличается высокой скоростью, в силу чего находит большое применение при создании имитаторов. Недостатком метода является высокая трудоемкость получения реалистичного изображения, формирования теней, затенения, отражений и т.д.

Метод трассировки лучей (raytrace, raycasting) - метод рендеринга, при котором изображение строится на основе замеров пересечения лучей с визуализируемой поверхностью. Различают прямую и обратную трассировку.

Глобальная иллюминация (global illumination, radiosity) — метод использует математику конечных элементов, чтобы симулировать диффузное распространение света от поверхностей и при этом достигать эффектов «мягкости» освещения.

Воксельные модели также удобны тем, что простейший алгоритм отрисовки трехмерной модели достаточно очевиден. Для улучшения качества изображения используются более сложные алгоритмы отрисовки. Например, алгоритм «Marching Cubes» (бегущие кубики) строит изоповерхность, опираясь на данные вокселей. Обычная реализация алгоритма использует значения 8-и соседних вокселей, чтобы отрисовать полигон внутри куба образованного их координатами. Так как существует всего 256 возможных комбинаций, можно заранее их подготовить и использовать типовые «кирпичики» (уже в экранных координатах) для отрисовки больших объёмов данных в хорошем качестве. Для воксельной графики возможен прямой вывод на объёмные дисплеи (см главу 4.5.1.), получение проекции изображения в таком случае не нужно.

Методы трассировки лучей и глобальной иллюминации отличаются более высокой сложностью, и, соответственно, меньшей скоростью, в силу

чего находят большое применение в задачах формирования фото-реалистичного изображения с учетом теней, отражений, свойств материалов и т.д. Недостатками метода являются сложность реализации и низкая скорость.

При выборе метода необходимо найти компромисс между реалистичностью изображения и необходимым временем, затрачиваемым на его получение (рисунок 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4).

Методы реализации трассировки лучей, глобальной иллюминации и методы визуализации воксельных моделей подробно описаны в большом количестве специализированных источников, например, теория достаточно хорошо разобрана в [83], практическая реализация представлена в [28].



Рисунок 4.2.2. Фотография объекта

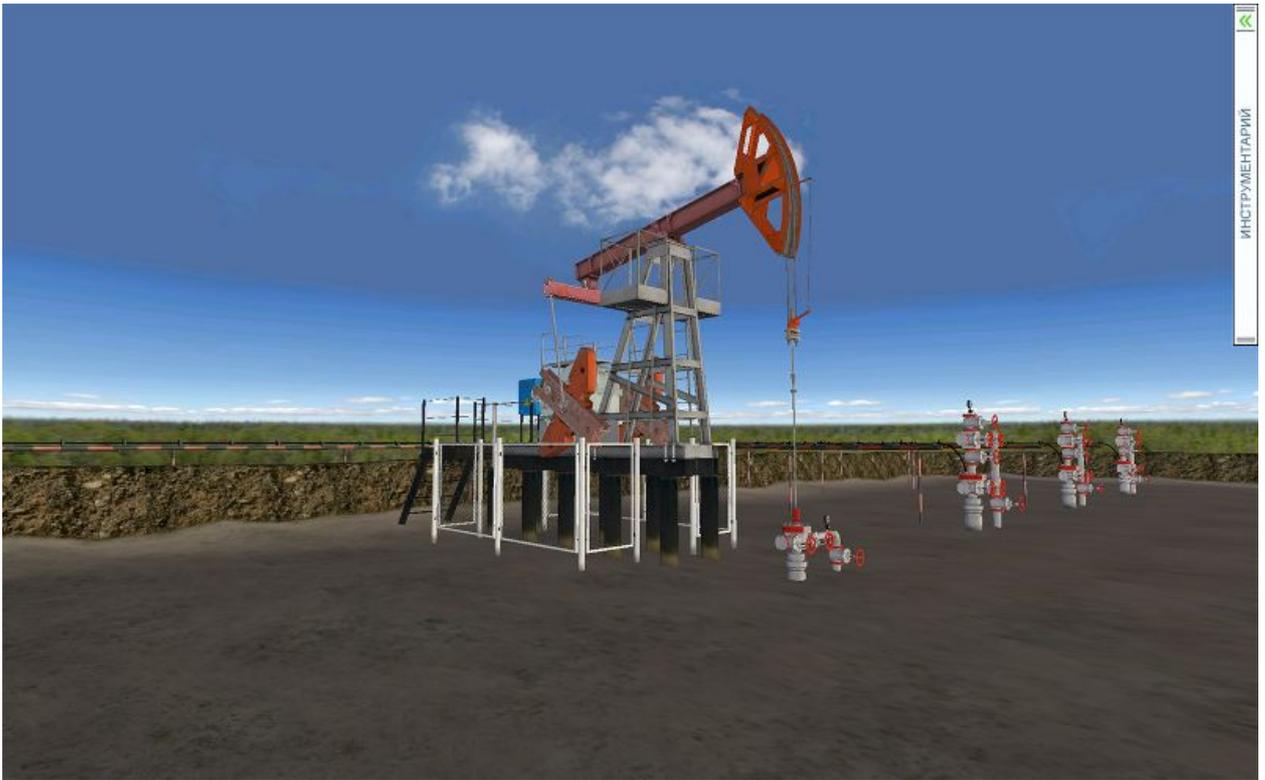


Рисунок 4.2.3. Визуализация объекта с применением стандартных средств OpenGL. Скорость синтеза составляет более 200 кадров в секунду



Рисунок 4.2.4. Визуализация объекта с применением метода global illumination. Скорость синтеза одного кадра составляет 9 минут 6 секунд

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 [8;79;83;59].

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 [53], посвященного профессиональным средствам визуальной имитации и индустрии образования (Visual Simulation & Training Industry), на март 2006 года самым популярным инструментарием является OpenSceneGraph (рисунок 4.2.5.). Судя по приведенным данным, практически все профессиональные средства имитации построены именно на базе OpenGL.

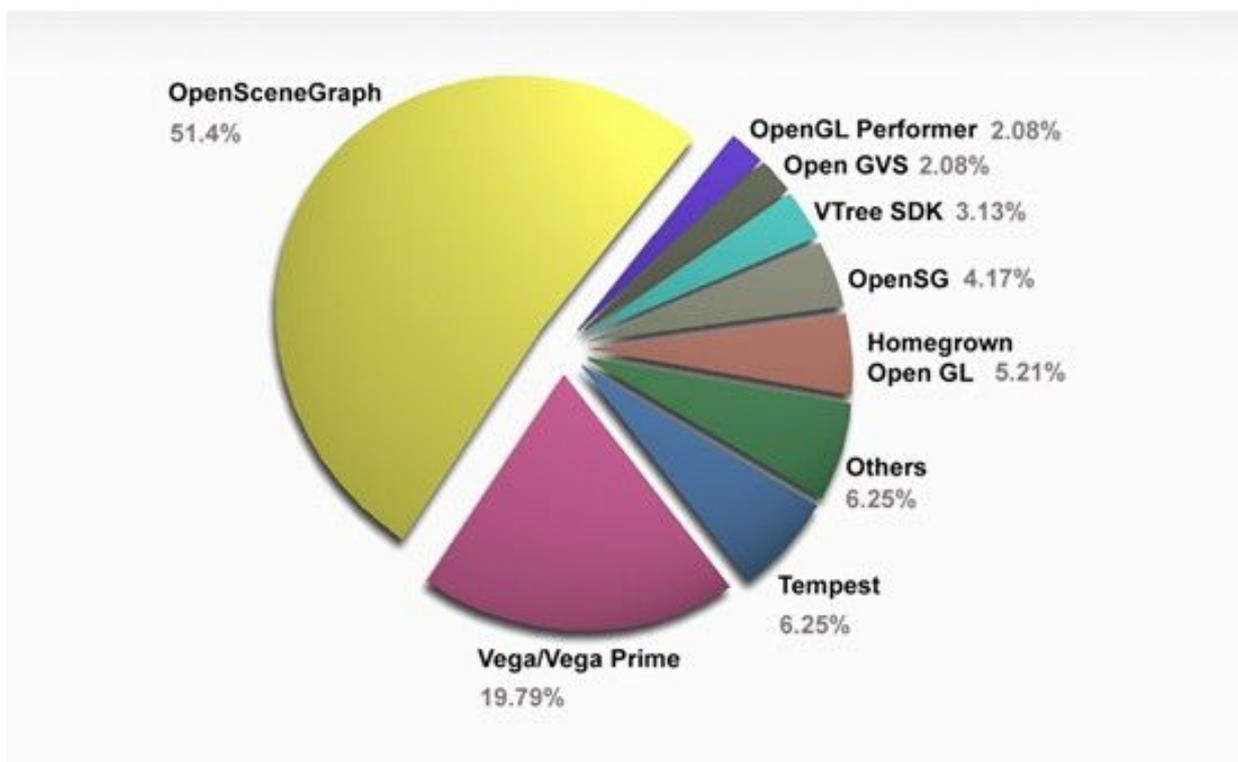


Рисунок 4.2.5. Диаграмма популярности различных графических «надстроек» над OpenGL

#### 4.2.1. Оптимизация

Методы оптимизации часто используются разработчиками имитаторов для снижения сложности графической сцены (количество треугольников, размер текстур, сложность текстурирования и т.д.), что необходимо для

увеличения производительности, т.е. количества синтезируемых кадров в секунду.

#### 4.2.1.1. Уровни детализации (LOD)

Уровни детализации (LOD, Levels Of Detail) — один из наиболее часто используемых методов оптимизации графики, используемый при создании имитаторов. Суть метода заключается в том, что нет смысла отображать высоко детализированные объекты, находящиеся на большом расстоянии, т. к. детали просто не различимы. Реализация метода заключается в создании нескольких вариантов одного объекта с различными степенями детализации, которые переключаются в зависимости от расстояния объекта до виртуальной камеры (рисунок 4.2.6.). Под «упрощением» модели понимается уменьшение количества треугольников, размера и количества текстур, снижение сложность текстурирования. Грамотное использование уровней детализации способно существенно повысить скорость синтеза изображения, что особенно важно при работе имитатора в реальном времени [78].

При близком расположении к камере используются модели с максимумом деталей (рисунок 4.2.10.), для максимально возможного качества картинки и наоборот, при удалении моделей от камеры используются модели с меньшим количеством треугольников (рисунок 4.2.7., 4.2.8., 4.2.9.) - для увеличения скорости рендеринга. Изменение сложности, в частности, количества треугольников в модели, может происходить автоматически на основе одной 3D модели максимальной сложности, путем ее «упрощения», а может - на основе нескольких заранее подготовленных моделей с разным уровнем детализации. Замена детализированного объекта похожим, но более простым объектом почти не ухудшает общую детализацию изображения, часто пользователи имитаторов даже не замечают подмены.

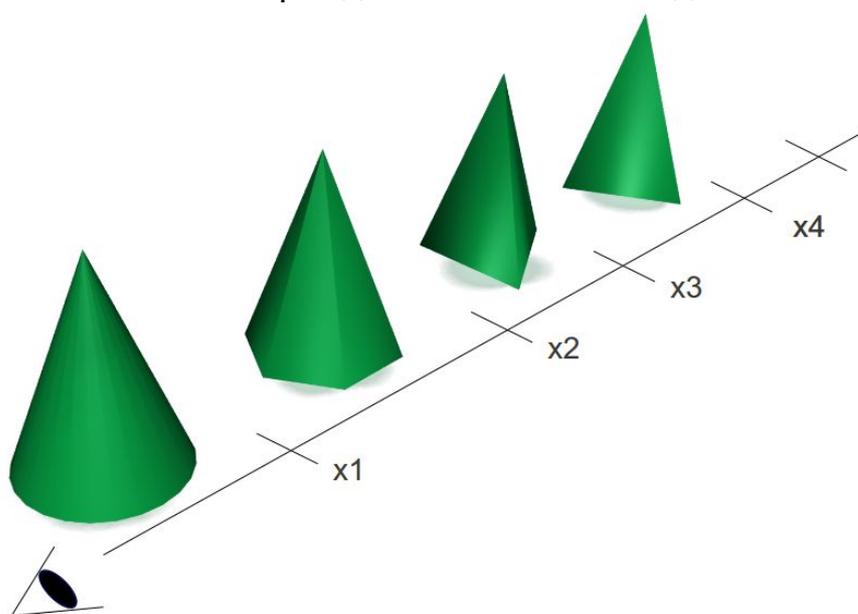


Рисунок 4.2.6. Пример использования уровней детализации

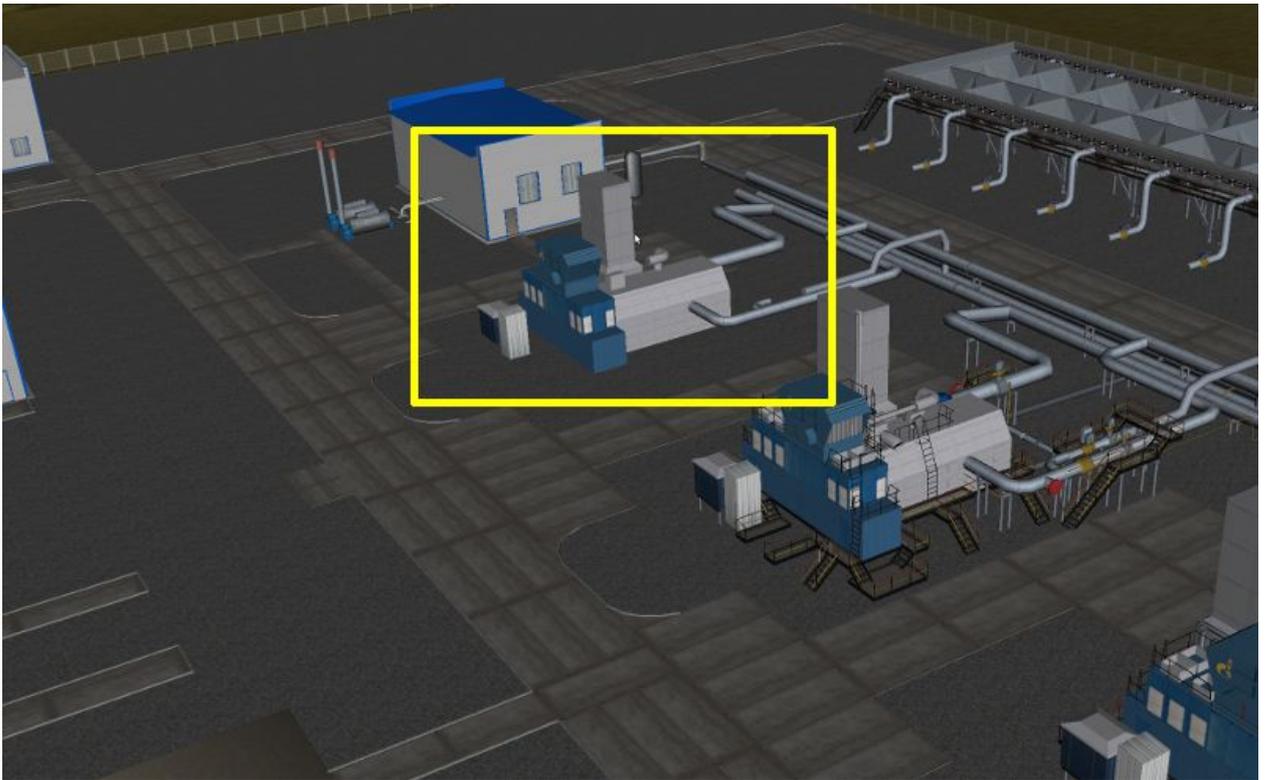


Рисунок 4.2.7. Минимальная детализация на большом расстоянии. Мелкие детали скрыты, текстурирование отсутствует

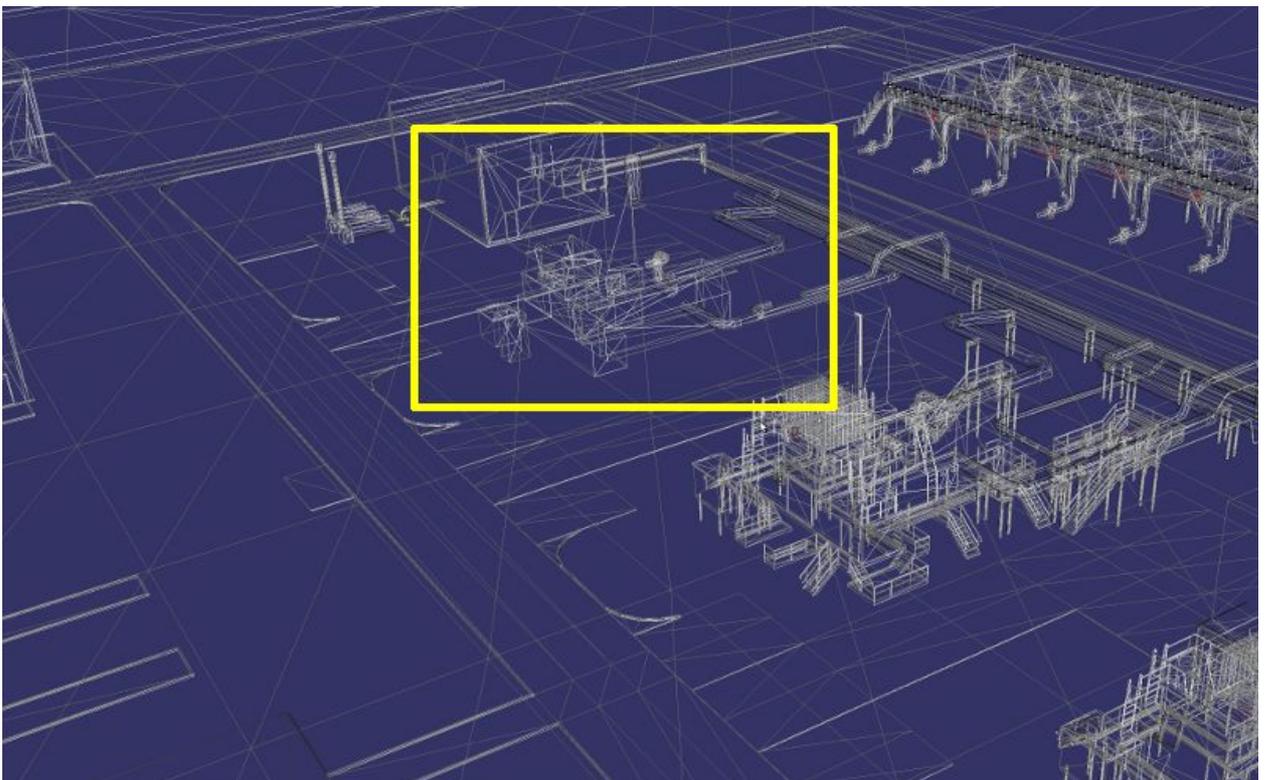


Рисунок 4.2.8. Сложность геометрии дальнего и ближнего объектов

Расстояние объекта до виртуальной камеры — это один из самых простых способов реализации переключения уровней детализации. Также могут использоваться и другие факторы, например, размер объекта на экране,

общее количество объектов на экране, скорость синтеза изображения (если скорость ниже необходимой, можно, например, адаптивно упростить часть объектов, пока скорость синтеза изображения не достигнет необходимого значения).

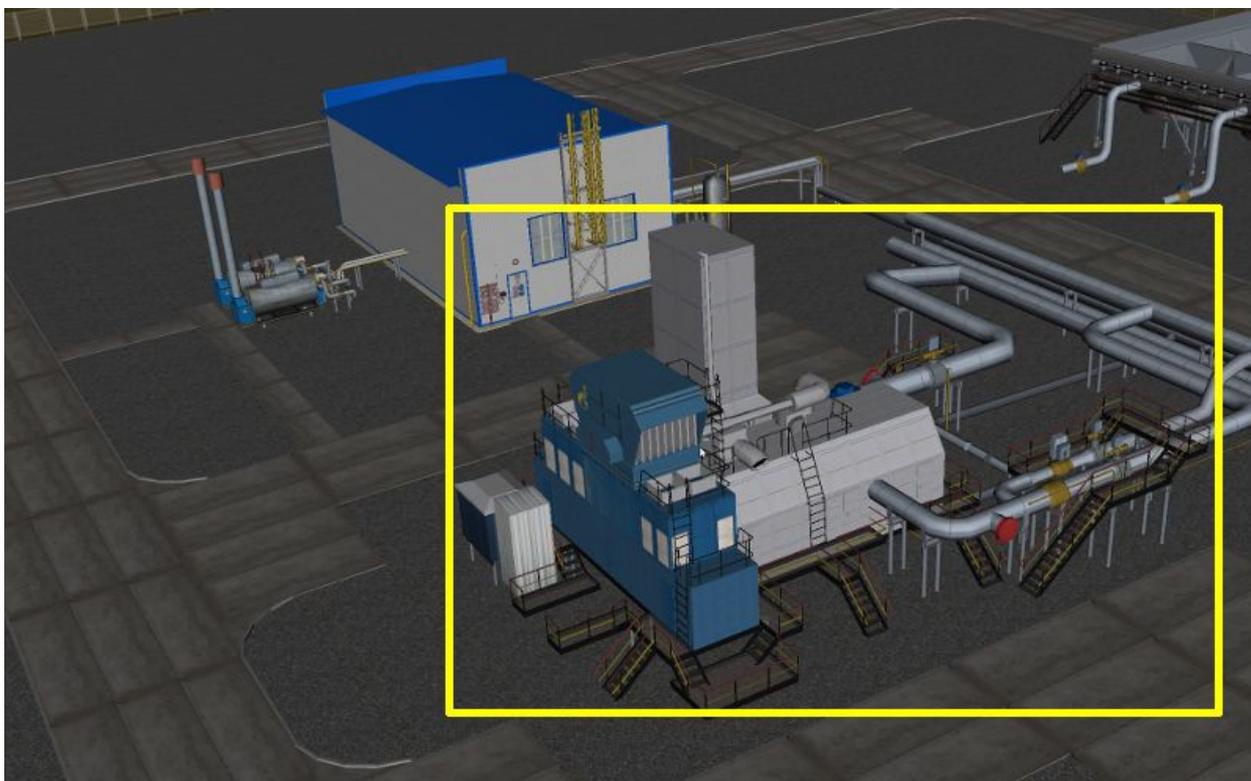


Рисунок 4.2.9. Средняя детализация (небольшие детали скрыты (болты, трубки и т.д.), используется частичное текстурирование)



Рисунок 4.2.10. Максимальная детализация

#### 4.2.1.2. Группы сглаживания (сглаживание нормалей)

Сглаживание нормалей позволяет «скрыть» резкие переходы в полигональных моделях. Это позволяет использовать значительно более простые полигональные модели без видимой потери качества (рисунок 4.2.11.).

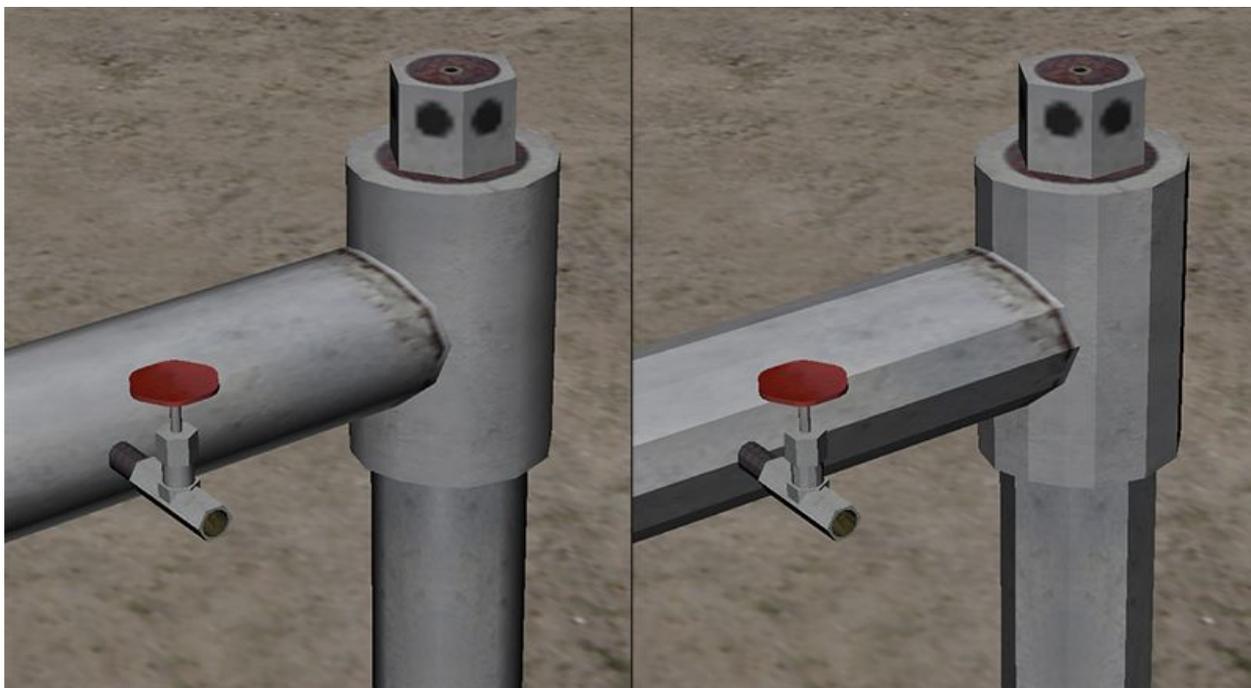


Рисунок 4.2.11. Полигональное изображение без сглаживания нормалей (справа) и со сглаживанием (слева)

#### 4.2.1.3. «Афиша» (Billboard)

«Афиша» (Billboard) представляет двухмерный многоугольник с текстурной картой, используемый для создания иллюзии того, что более сложный по своей структуре трехмерный объект занимает ту же самую область пространства (рисунок 4.2.12.).



Рисунок 4.2.12. Замена модели двумя перпендикулярными плоскостями

#### 4.2.1.4. «Обманщик» (Impostor)

«Обманщик» (Impostor), также как и Billboard, представляет из себя двухмерный многоугольник с текстурной картой, используемый для создания иллюзии того, что более сложный по своей структуре трехмерный объект занимает ту же самую область пространства. Отличие заключается в том, что Impostor производит рендеринг «заменяемого» объекта в зависимости от точки наблюдения пользователя (рисунок 4.2.13.). Как правило использование этой техники применяется для показа множества «одинаковых» объектов (например, множества однотипных строений), для возможности наблюдения объекта со всех сторон, или при наличии анимации (что невозможно посредством billboard'a).



Рисунок 4.2.13. Исходная полигональная модель (слева) и его замена плоским изображением - Impostor'ом (справа)

#### 4.2.1.5. Преграда (Occluder)

Оптимизация при помощи метода преграды (Occluder) заключается в следующем — если объект полностью закрыт от наблюдателя преградой (чаще всего используется плоскость), то объект не отображается (Рисунок 4.2.14.). Если хотя бы небольшая часть объекта видна из-за преграды, действие данного метода оптимизации прекращается. Для определения закрытия объекта необходимы дополнительные вычисления, но выигрыш, если метод срабатывает перекрывает затраты. Как правило, при использовании данного метода, все объекты описываются более простыми объемами, например, сферами, кубами, тетраэдрами и т. д. Анализ видимости, как правило выполняется именно по таким упрощенным описаниям.

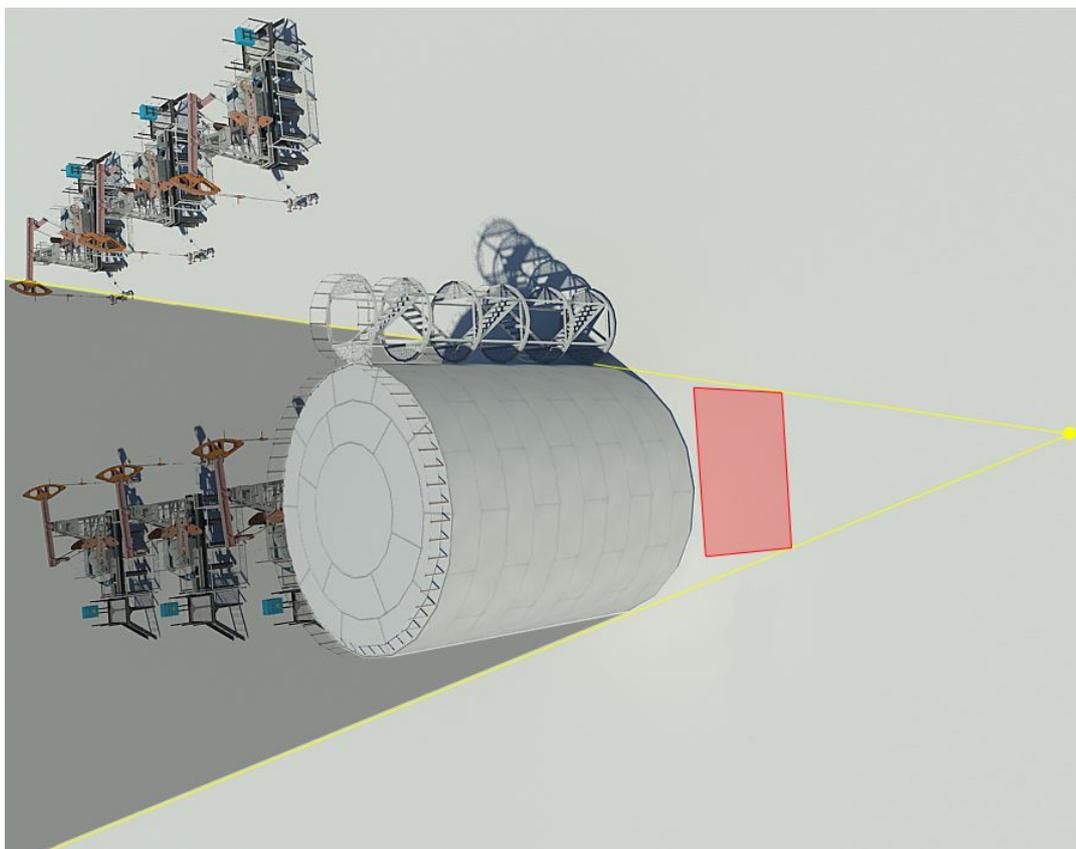


Рисунок 4.2.14. Оптимизация при помощи метода преграды. Объекты в тени «закрываются» преградой, поэтому могут быть скрыты

#### 4.2.1.6. Динамически загружаемый LOD (PagedLOD)

Данный метод достаточно похож на LOD. Отличительной особенностью является автоматическая загрузка объектов сцены, при приближении к ним наблюдателя и выгрузка из памяти загруженных объектов, находящихся на большом расстоянии от наблюдателя (рисунки 4.2.15 - 18), что позволяет визуализировать изображения по данным, которые существенно превосходят размер оперативной памяти компьютера.



Рисунок 4.2.15. Вид элемента местности с большого расстояния

Данная технология используется для показа очень больших графических сцен, например, ландшафтов. Как правило технология PagedLOD, комбинируется со всеми вышеуказанными методами, особенно часто используется вместе с Billboard и LOD.

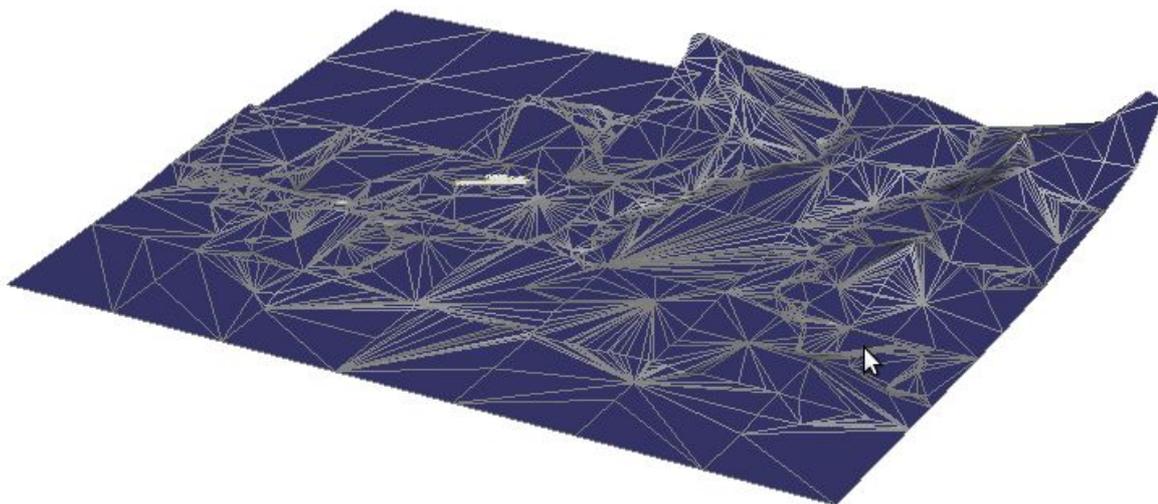


Рисунок 4.2.16. Вид геометрии элемента местности с большого расстояния



Рисунок 4.2.17. Увеличение детализации при приближении

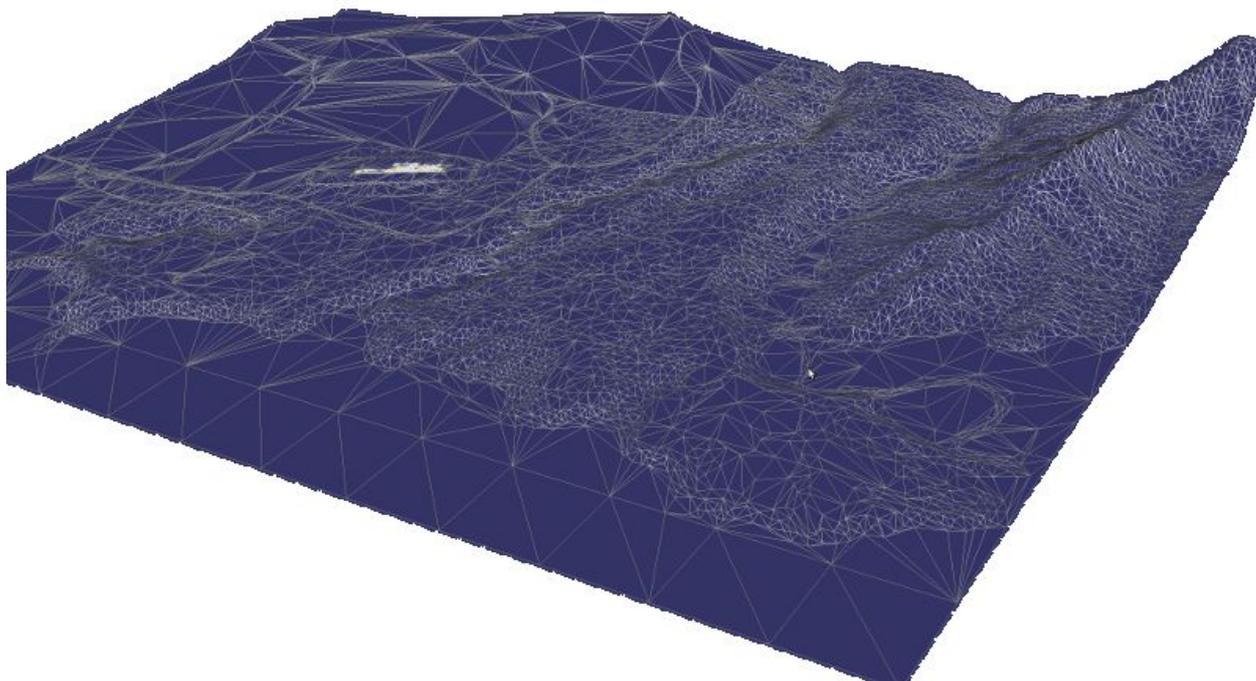


Рисунок 4.2.18. Увеличение детализации геометрии при приближении

Динамически загружаемый LOD может использоваться для предоставления геоинформационных данных о земной поверхности. Принцип построения точного представления поверхности земли основан на использовании следующих данных: карта высот территории, аэрофотосъемка или спутниковый снимок территории и цифровые карты территории (рисунок 4.2.19).

Для работы с растровыми географическими форматами файлов данных можно использовать существующие библиотеки. Наиболее популярной библиотекой на данный момент является библиотека GDAL (<http://www.gdal.org>). Связанная с GDAL библиотека OGR предоставляет развитые возможности для работы с векторными данными.

Данные о поверхности земли могут быть получены из различных открытых (свободных) и коммерческих источников и проектов, например:

- <http://www.maps-for-free.com/>
- Open-standards-based streaming terrain server VR-TheWorld (<http://www.vr-theworld.com/>)
- [http://www.cc.gatech.edu/projects/large\\_models/ps.html](http://www.cc.gatech.edu/projects/large_models/ps.html)
- NASA blue marble ([http://www.nasa.gov/vision/earth/features/blue\\_marble.html](http://www.nasa.gov/vision/earth/features/blue_marble.html))

Следует отметить тот факт, что полный размер наборов данных может иметь объем до 4 Терабайт и более.



Рисунок 4.2.19. представления поверхности земли.

#### 4.2.1.7. Имитация огня, дыма, брызг, искр и других эффектов

Для имитации огня, дыма, искр и других процессов, связанных с движением множества мелких частиц, применяется система частиц (генератор частиц, Particle System). Как правило, такая система состоит из излучателя (emitter) и, собственно, произведенных частиц.



Рисунок 4.2.20. Имитация огня и дыма при помощи системы частиц

Параметры излучателя определяют место появления новых частиц, их количество, форму, скорость и направление движения, длительность существования частиц и т. д. Как правило большинство параметров задается с некоторым разбросом, для того чтобы система не была слишком «правильной».

Частица представляет собой один из вариантов простых объектов, начиная от простейшего — треугольника и заканчивая низкополигональной сферой, часто используются текстурированные billboard'ы (рисунок 4.2.20.). Для придания реализма частицы могут менять цвет, могут использовать текстурирование, прозрачность и т. д.

#### 4.2.2. Post-обработка изображения

После получения имитируемого изображения достаточно часто применяется дополнительный этап - пост-обработка изображения. Пост-обработка представляет собой набор средств для создания специальных визуальных эффектов - эффекты применяются к уже готовому синтезированному изображению. Использование эффектов необходимо для решения таких задач как:

- имитация адаптации зрения человека при изменении условий освещения (например, взгляд на ярко освещенный объект после длительного нахождения в темном помещении);
- имитация приборов «ночного видения»;
- имитация глубины резкости оптических приборов (Depth Of Field);
- имитация погодных явлений (снег, дождь, гроза, лед и т.д.);
- имитация помех при отображении на камерах видео-наблюдения;
- имитация воздействия вибрации;
- и т. д.

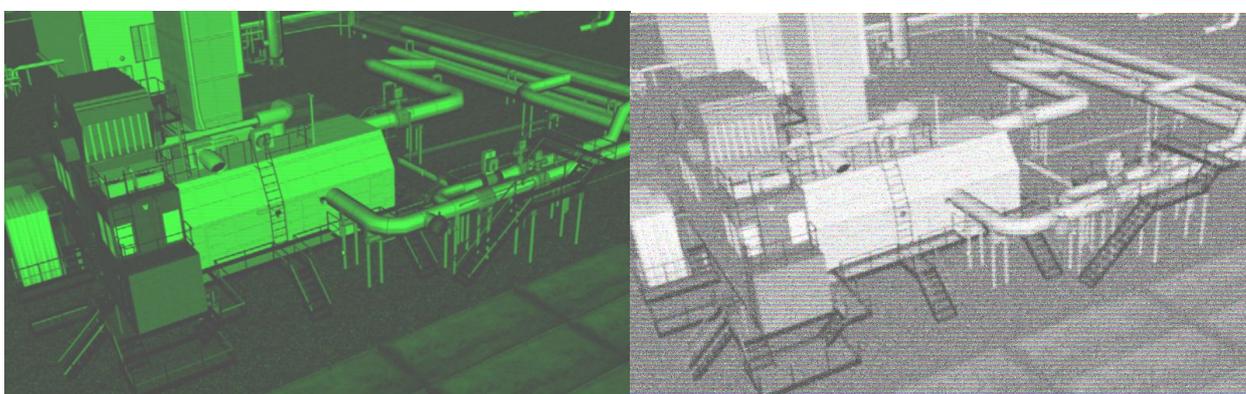


Рисунок 4.2.21. Имитация изображения, наблюдаемого через прибор ночного видения, имитация изображения камеры видео-наблюдения

### 4.2.3. Использование кластерных вычислений для синтеза изображения

Физические устройства вывода изображений для имитаторов могут состоять из одного монитора или проектора, а могут иметь более сложные конфигурации, такие как «стена» из проекторов (VR wall), «панорама» и др. Современные графические ускорители и специальное оборудование (например, Matrox Head2Go (рисунок 4.2.22)) позволяют реализовать такую возможность. Главной проблемой является увеличение затрат вычислительных ресурсов при синтезе «большого» изображения.



Рисунок 4.2.22. Вывод панорамного изображения на 3 монитора

Даже с использованием механизмов оптимизации, описанных в предыдущей главе, возможна ситуация, когда синтез сложного изображения в реальном времени невозможен с использованием одной графической станции. В этом случае используют возможность распределения вычислений между несколькими компьютерами, т.е. используют кластерные вычисления.

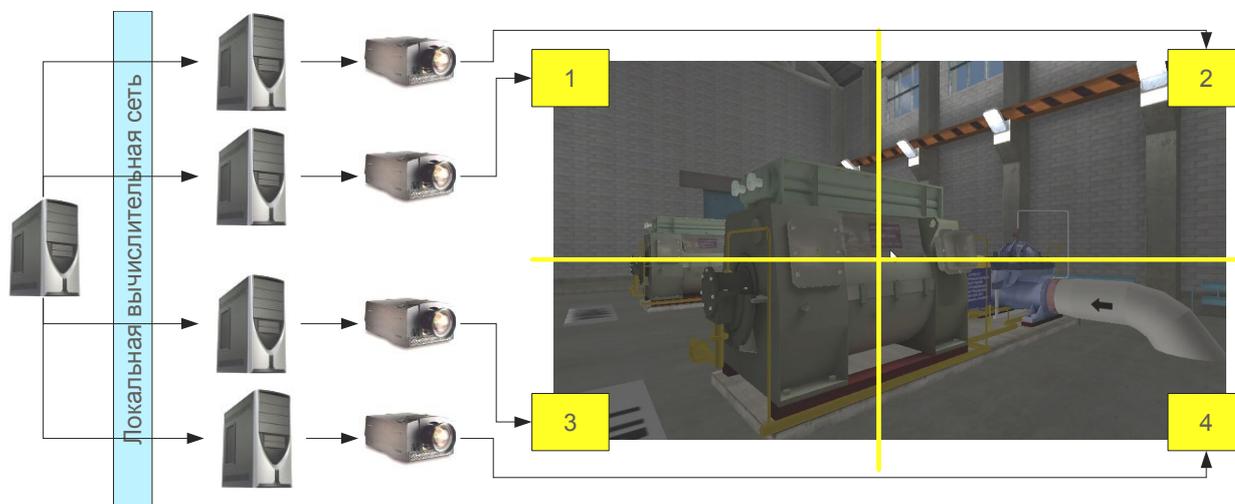


Рисунок 4.2.23. Четыре фрагмента одного изображения на одном экране

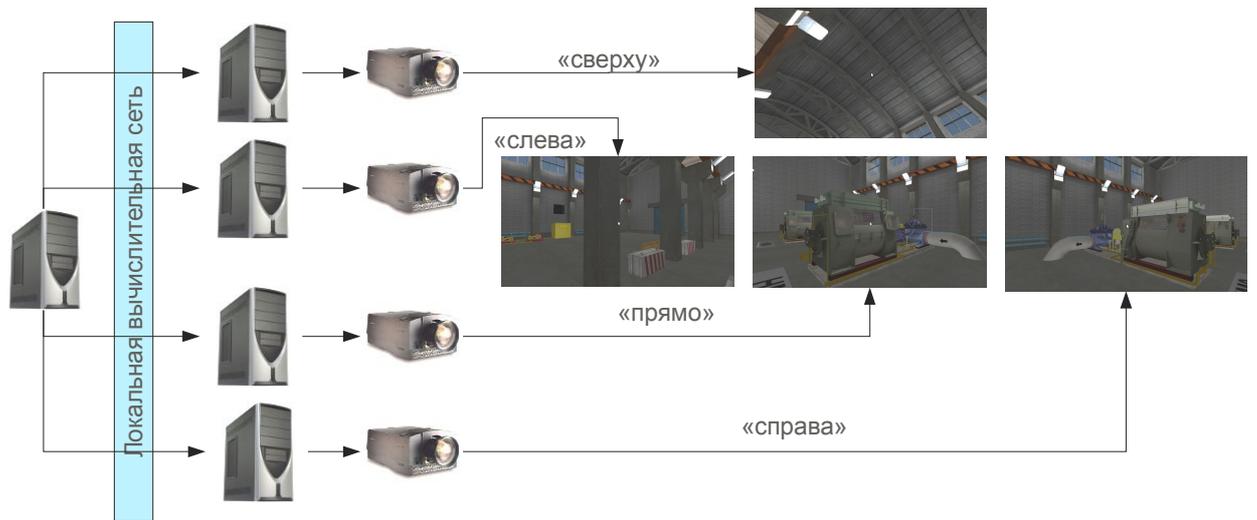


Рисунок 4.2.24. Различные изображения, соответствующие наблюдаемому пространству пользователя: прямо, слева, справа и сверху на нескольких экранах (соответственно расположенных)

При этом имеется три варианта использования кластерных вычислений для синтеза изображения:

1. Для визуализации одного сложного изображения на 1 плоскости (экране), путем его разбиения на части и отрисовкой каждой на отдельном компьютере (рисунок 4.2.23.).
2. Для визуализации различных изображений на нескольких плоскостях, например, «вид прямо», «слева», «справа», «сверху» и т. д. Часто используется для панорамных системы визуализации, проецирования на купол или сферу, а также для проецирования различные стены «комнаты» - от 2 до 6 (см. главу 4.5.). (рисунок 4.2.24-25.)
3. Комбинация пп. 1 и 2.



Рисунок 4.2.25. Варианты использования нескольких проекторов и мониторов в существующих атотренажерах



Рисунок 4.2.26. «стена» из проекторов (VR wall)

В любом случае необходимо реализовать механизм синхронизации показа изображений, иначе будет заметно фрагментарное строение изображения, что, в свою очередь, может вызвать значительный дискомфорт. Как правило, реализация механизма синхронизация вывода (показа) изображения не вызывает особых сложностей. Для этого используются функции синхронизации кадров (framelock) и синхронизации видеосигнала (genlock). С помощью функции framelock синхронизируется вывод графики между несколькими графическими картами (синхронизация смены буферов). Функция genlock выполняет аналогичную функцию, но использует внешний синхронизирующий сигнал, что позволяет синхронизировать вывод отдельных систем друг с другом. Примерами устройств с поддержкой framelock и genlock могут служить AMD/ATI FirePro S400 и NVIDIA Quadro G-Sync [119].

Также необходимо реализовать синхронизацию самих отображаемых данных, например, если в процессе работы имитатора какой-либо объект изменил свое месторасположение, все системы, параллельно синтезирующие фрагменты изображения, должны учитывать это. Реализация может быть выполнена двумя способами, если каждый отдельный компьютер использует свои данные для синтеза изображения — необходимо синхронизировать эти данные, если все компьютеры кластера обращаются к одним и тем же данным, необходимо реализовать механизм «перерисовки» кадра, если

информация изменилась во время синтеза изображения или начинать синтез кадра, когда получена команда, что данные достоверны и изменений больше не будет (такую проверку необходимо производить при синтезе каждого нового кадра).

### 4.3. Формирование звукового окружения (синтез звука)

По данным IASIG (Interactive Audio Special Interest Group) [61], 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 как DirectSound так и OpenAL.

В отличие от DirectSound, OpenAL является полностью кросс-платформенной библиотекой. Возможности воспроизведения пространственного звука, запись звука, возможность генерации звука, потоковое воспроизведение и т.д. позволяют использовать библиотеку OpenAL при разработке имитаторов. OpenAL [38] на данный момент активно поддерживается крупными производителями вычислительной техники (Creative Labs, NVIDIA, ASUS, Apple, Blue Ripple Sound и т.д.) в качестве альтернативы DirectSound.

В целом OpenAL описывает 3 базовых понятия. Слушатель (Listener) — характеризуется положением в пространстве  $(x,y,z)$ , ориентацией в пространстве (поворотом вокруг осей), вектором скорости и общей громкостью (master gain). Источник звука (source sound) — характеризуется позицией, вектором скорости, громкостью, расстоянием, далее которого уже не будет происходить дальнейшего ослабления звука, расстоянием, на котором сила звука уменьшается вдвое, коэффициентом кривизны затухания звука, конусом направленности звука и т.д. Источник звука использует данные из буфера, который характеризуется частотой, количеством бит на канал, количеством каналов, количеством звуковых данных и т.д.

В принципе программная реализация «простого» звукового сопровождения имитатора сводится к загрузке необходимых данных из файлов, помещения данных в буферы, создание источников звука и ассоциации их с буферами, настройке параметров источников и слушателя.

К сожалению, при разработке имитаторов, включающих большое количество источников звука, задача несколько усложняется. Во-первых, максимально возможное количество одновременно проигрываемых звуков ограничено числом 255, а часто и меньшим (это зависит от оборудования и настроек). Далее, если в имитаторе присутствует, например, 1000 источников звуков, то в 255 источниках остаются и воспроизводятся только те звуки, которые находятся ближе всех к слушателю. Остальные источники не воспроизводятся и называются «виртуальными». Для особенно важных звуков можно назначить приоритет, который препятствует, например, их переходу в состояние «виртуальных». Также возможна замена группы точечных источников на один эквивалентный точечный источник, расположенный в центре группы, если выполняются следующие условия - источники приблизительно равноценны по излучению и расположены примерно на одной высоте над землей, условия распространения звука от

источников до приемника одинаковые, расстояние от эквивалентного точечного источника до приемника больше удвоенного максимального размера группы источников.

### 4.3.1. Затухание звука

Для обеспечения «правдоподобного» звукового окружения необходимо учитывать затухание звука. OpenAL на текущий момент поддерживает несколько моделей для представления распространения звука в пространстве, включая модели IASIG I3DL2 (Interactive Audio Special Interest Group [109]).

Таблица 4.3.1. Модели затухания звука OpenAL

Название модели	Описание модели
NoAttenuation	Отсутствие затухания звука
InverseDistance	<p>Модель эквивалентна IASIG I3DL2, но без учета уровней ограничения громкости на расстоянии меньшем чем значение referenceDistance.</p> $gain = referenceDistance / (referenceDistance + rolloffFactor * (distance - referenceDistance))$ <p>REFERENCE_DISTANCE - расстояние, на котором слушатель воспринимает 100% громкость источника (опорное расстояние, по умолчанию 1.0, диапазон изменения [0.0 - +inf]). ROLLOFF_FACTOR - коэффициент кривизны затухания звука (по умолчанию 1.0, диапазон изменения [0.0 - +inf]).</p>
InverseDistanceClamped	<p>Модель похожа на InverseDistance, но учитывает ограничение громкости на расстоянии меньшем чем значение referenceDistance. Эта модель эквивалентна модели IASIG I3DL2.</p>
LinearDistance	<p>Линейная модель затухания звука без учета ограничения громкости на расстоянии меньшем чем значение referenceDistance.</p> $gain = (1 - rolloffFactor * (distance - referenceDistance) / (maxDistance - referenceDistance))$ <p>AL_MAX_DISTANCE - Максимальное расстояние, далее него уже не будет происходить дальнейшего ослабления звука (по умолчанию +inf)</p>
LinearDistanceClamped	<p>Модель похожа на LinearDistance, но учитывает ограничение громкости на расстоянии меньшем чем значение referenceDistance</p>
ExponentDistance	<p>Экспоненциальная модель затухания звука, моделирующая экспоненциальный спад громкости звука с увеличением расстояния между источником и слушателем. Без учета ограничения громкости на расстоянии меньшем чем значение referenceDistance.</p> $gain = (distance / referenceDistance) ^ (- rolloffFactor)$
ExponentDistanceClamped	<p>Модель похожа на ExponentDistance, но учитывает</p>

Название модели	Описание модели
	ограничение громкости на расстоянии меньшем чем значение referenceDistance

По умолчанию используется модель *AL\_INVERSE\_DISTANCE\_CLAMPED*. Демонстрация влияния указанных коэффициентов приведена на рисунке 4.3.1. Нижняя линия *REFERENCE\_DISTANCE=1*, *ROLLOFF\_FACTOR=1*, средняя линия *REFERENCE\_DISTANCE=4*, *ROLLOFF\_FACTOR=1*, верхняя линия *REFERENCE\_DISTANCE=1*, *ROLLOFF\_FACTOR=0.1*.

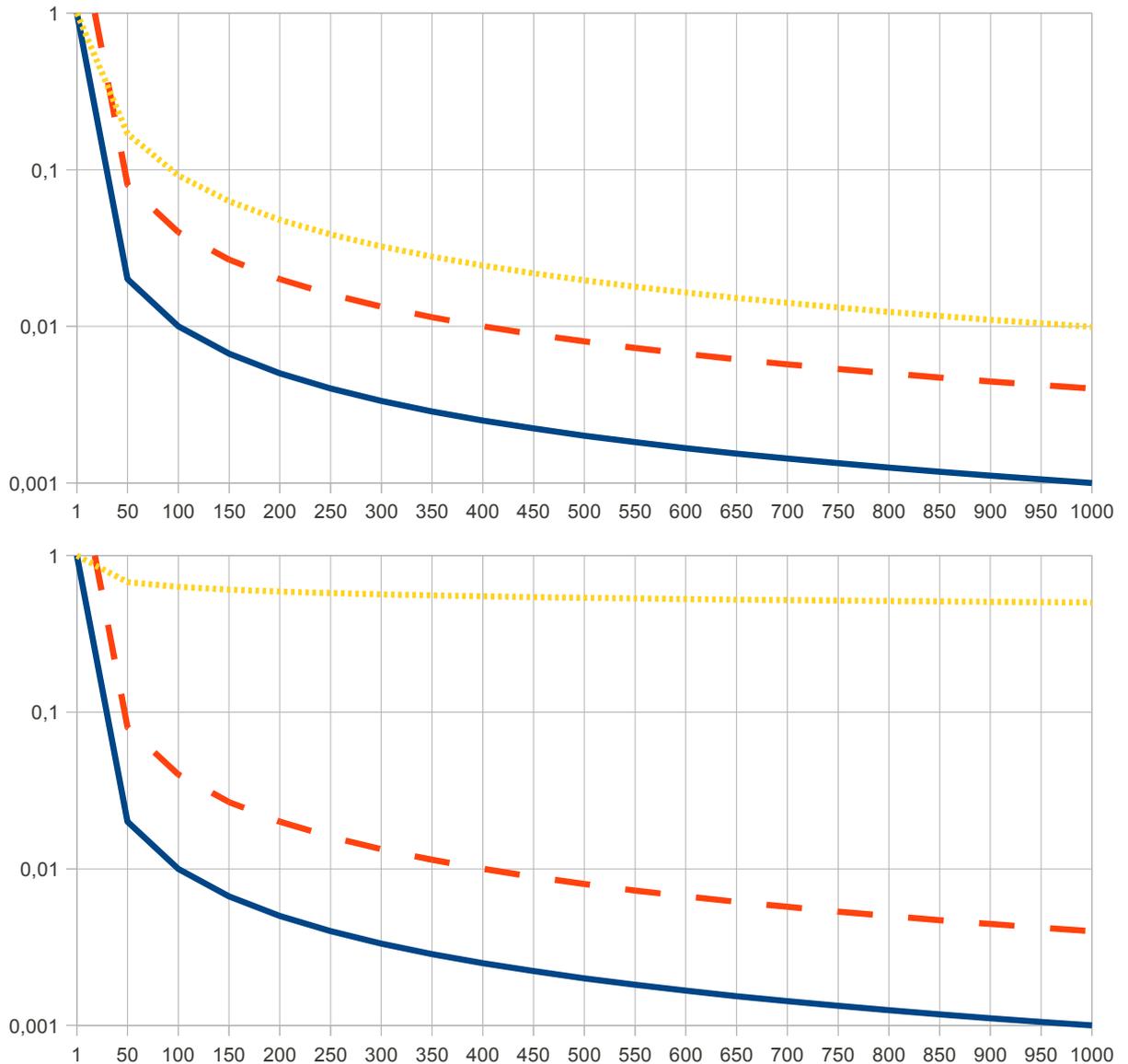


Рисунок 4.3.1. Условная демонстрация влияния коэффициентов *REFERENCE\_DISTANCE* и *ROLLOFF\_FACTOR* на графиках функций затухания по модели *AL\_INVERSE\_DISTANCE\_CLAMPED* (сверху) и по модели *AL\_EXPONENT\_DISTANCE\_CLAMPED* (снизу)

Естественно, что каждый объект уникален в плане затухания производимого звука, зависит от частоты и мощности, кроме того

значительное влияние на затухание имеет среда и наличие препятствий. Для примерной оценки и подбора необходимых коэффициентов при распространении звука вне помещения можно воспользоваться методикой, описанной в следующих документах:

- ISO 9613-1:1993 Акустика. Ослабление звука при его распространении вне помещения. Часть 1. Вычисление поглощения звука атмосферой.
- ISO 9613-2:1996 Акустика. Ослабление звука при его распространении вне помещений. Часть 2. Общий метод вычисления.

Расчетные формулы указанных стандартов справедливы для затухания звука от точечного источника (что очень хорошо согласуется с OpenAL). Протяженные источники шума, такие как автомобильный поток, поезда на железной дороге или предприятие, на котором может быть несколько установок могут быть представлены совокупностью единичных источников шума (частей, секций и т.д.), каждый из которых имеет известные звуковую мощность и показатель направленности.

Затухание рассчитывают по формуле (ISO 9613-2:1996 Часть 2) :

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}, \text{ где}$$

- $A_{div}$  - затухание из-за геометрической дивергенции (из-за расхождения энергии при излучении в свободное пространство) по 7.1 стандарта ;
- $A_{atm}$  - затухание из-за звукопоглощения атмосферой по 7.2 стандарта;
- $A_{gr}$  - затухание из-за влияния земли по 7.3 стандарта;
- $A_{bar}$  - затухание из-за экранирования по 7.4 стандарта;
- $A_{misc}$  - затухание из-за влияния прочих эффектов (см. приложении А стандарта).

Использование расчетных формул стандарта ISO 9613 позволяет учитывать огромное количество факторов, таких как, затухания из-за экранирования, затухание при распространении звука через листву, затухание при распространении звука в промышленных зонах, затухание при распространении звука в жилых массивах, метеорологические условия (температура, относительная влажность, атмосферное давление), свойства грунта и т.д.). Такая возможность позволяет достаточно достоверно формировать звуковую картину имитатора.

Для примерной оценки и подбора необходимых коэффициентов при распространении звука внутри помещения можно воспользоваться методикой, описанной в ГОСТ Р 52797.3 - 2007 (ИСО/ТО 11690-3:1997) Акустика. Рекомендуемые методы проектирования малозумных рабочих мест производственных помещений. Часть 3. Распространение звука в производственных помещениях и прогнозирование шума.

В силу достаточно большого объема изложения расчетных формул стандартов в данной работе приведены только практические исследования коэффициентов затухания различных источников звука (как в помещении, так

и вне помещения), использование которых может помочь при разработке имитаторов. Для определения реального коэффициента затухания необходимо проведение эксперимента. Для этого необходимо произвести запись звука на различном расстоянии (например с помощью диктофона) и затем произвести необходимые замеры для нужных частот при помощи любого звукового редактора на компьютере. Также можно использовать анализатор спектра (например, Phonic PAA2) для получения данных «на месте».

Таблица 4.3.2. Пример результатов экспериментальных замеров (на примере динамиков сотового телефона)

Удаление от источника звука, см	Снижение громкости, дБл							
	0	50	100	200	300	400	500	600
500 kHz (в помещении)	-9	-23	-29	-36	-40	-41	-46	-
1000 kHz (в помещении)	-2,7	-14,3	-18,4	-22	-28	-29	-33	-
500 kHz (вне помещения)	-12	-26	-36	-42	-43	-46	-49	-49
1000 kHz (вне помещения)	-2	-10,6	-19	-28	-28	-28	-32	-32

Для примерного расчета кривой затухания звука можно воспользоваться следующими формулами. Затухание из-за геометрической дивергенции (из-за расхождения энергии при излучении в свободное пространство) определяется как:  $L_2 = L_1 - 20 \cdot \lg \frac{r_2}{r_1}$ , где  $L_1$  — громкость (дБл) на расстоянии  $r_1$  (метры);  $L_2$  — громкость на расстоянии  $r_2$ . Затухание из-за звукопоглощения атмосферой определяется как:  $L_2 = L_1 - \alpha \cdot d / 1000$ , где  $\alpha$  — коэффициент затухания звука в октановой полосе частот в атмосфере (таблица 4.3.3.).

Для пересчета значения *gain* [0..1] применяемого в OpenAL в dB можно применить следующую формулу:  $\text{dB} = L_1 + \text{Log}_{10}(\text{gain}) \cdot 20$ . Таким образом величина *gain* равная 0,5 означает снижение громкости звука на 6 dB что эквивалентно снижению воспринимаемой человеком громкости в 2 раза.

К сожалению модель затухания звука, применяемая в OpenAL по умолчанию не является физически точной, т.к. не учитывает звукопоглощение атмосферой (что особенно ощутимо для звуков высокой частоты, рисунок 4.3.2.), что требует настройки параметров *REFERENCE\_DISTANCE* и *ROLLOFF\_FACTOR* для более менее приемлемого результата. Также возможно применение модели *AL\_EXPONENT\_DISTANCE\_CLAMPED*.

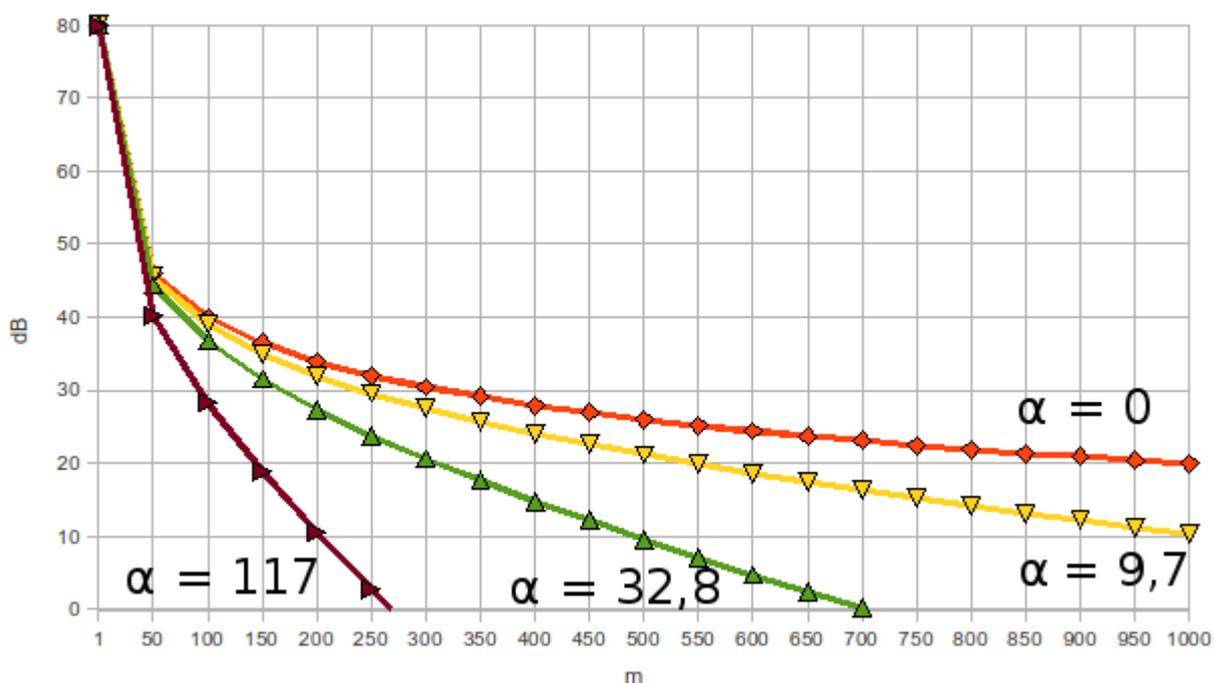


Рисунок 4.3.2. Затухание звука без учета коэффициента затухания ( $\alpha=0$ ) и с его учетом ( $\alpha=9.7$ ,  $\alpha=32.8$ ,  $\alpha=117$ )

Таблица 4.3.3. Коэффициент затухания звука в атмосфере  $\alpha$  октавных полосах частот

Температура, °C	Относительная влажность, %	Коэффициент затухания звука в атмосфере $\alpha$ , дБ/км, в октавных полосах со среднегеометрической частотой, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0,1	0,4	1	1,9	3,7	9,7	32,8	117
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5	9	22,9	76,6
30	70	0,1	0,3	1	3,1	7,4	12,7	23,7	59,3
15	20	0,3	0,6	1,2	2,7	8,2	28,2	88,8	202
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36,2	129
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	82,8

Таблица 4.3.4. Эквивалентные уровни звука бытовых шумов

Источник звука	Уровни звука, дБ	доминирующая частота, кГц
Реактивный двигатель самолета	170	4
Взлет реактивного самолета	150	0,45
Большой центробежный вентилятор	140	0,26
Взлет турбовинтового самолета	140	0,16
Пулемет	130	0,16
Большой Орган	130	1,1
Большой отбойный молоток	120	1,7
Гром	120	0,14
Ускорение мотоцикла	110	0,47
Heavy Metal, Hard Rock музыка	110	2

Источник звука	Уровни звука, дБ	доминирующая частота, кГц
Цепная пила		0,53
Деревообрабатывающий цех		2
Колеса поезда в метро	100	1
Утечка газа высокого давления		8,8
Удар в стальной лист		0,81
Двигатель автомобиля		0,12
Автомобиль на высокой скорости		1
Вентилятор		0,14
Воздушный компрессор		0,11
Вертолет		0,21
Шлифовальный станок	90	0,28
Тяжелый дизельный автомобиль		0,74
Городской трафик		0,64
Газонокосилка		0,18
В кабине самолета при нормальном полете		0,27
Миксер		8
Будильник	80	8
Посудомоечная машина		0,32
Смыв воды	70	0,27
Печатный станок		0,9
Внутри вагона		0,65
Шумный офис		0,85
Внутри автомобиля		0,22
Большой универмаг	60	1
Занятый ресторан или столовая		0,55
Фен		0,23
Комната с оконным кондиционером	50	0,11
Тихий офис		0,3
Тихая улица		0,6
Голос, тихий	40	0,28
Электрические часы		2,7
Холодильник		0,04
Пение птиц		5,8
Тихий разговор	30	0,28
Шелест листьев	20	6,4
Шепот		0,92
Сельское окружение		5,2
Дыхание человека	10	1,3

#### 4.3.1. Звуковые эффекты окружающей среды

Согласно спецификации OpenAL 1.1 компании Creative, новые разработки должны использовать интерфейс OpenAL EFX, который более плотно интегрирован со всей средой OpenAL. Расширение ALC\_EXT\_EFX добавляет в OpenAL поддержку звуковых фильтров и эффектов для выводимого звука.

К любому источнику звука можно добавить фильтр или определенный звуковой эффект, преобразующий звуковые данные. За счет использования звуковых фильтров и эффектов появилась возможность моделировать звуковое окружение для слушателя. Так можно задать обработку звука, моделирующую пространство определенного помещения (ангара, холла и т.п.). В реальной жизни подобные эффекты окружения получаются за счет многократного отражения и поглощения (а также рассеивания) звука стенами (а также полом и потолком) помещения. Если источник звука находится внутри помещения, то будет происходить многочисленные переотражения звука от стен, пола и потолка. При этом, как размер помещения, так и материал, из которого изготовлены его стены, пол и потолок, будут оказывать сильное влияние на то, как воспринимается слушателем итоговый звук. По замыслу разработчиков OpenAL каждый эффект соответствует определенному помещению (environment), а используемые фильтры позволяют более точно учитывать особенности распространения и отражения звука, за счет расчета акустической среды окружения и ее взаимодействия с источниками звука. На рисунке 4.3.3. наглядно продемонстрировано распространение звука. По мере распространения звука, звуковые волны вступают во взаимодействие со средой, в которой распространяются.

При распространении звуковые волны достигают слушателя различными путями: прямой путь к слушателю, первичные отражения, вторичные отражения, прохождение сквозь препятствия. Прохождение препятствий, как правило, моделируется тремя эффектами (рисунок 4.3.4.) - эффект окклюзии (occlusion — преграждение), возникающий при прохождении звука через препятствие; Obstruction (помеха, препятствие); Exclusions (исключение), когда источник и слушатель находятся в разных комнатах, но между ними есть прямая видимость, и, как следствие, звук полностью попадает к слушателю, а отраженный звук пройдет через проем в стене не весь и исказится.

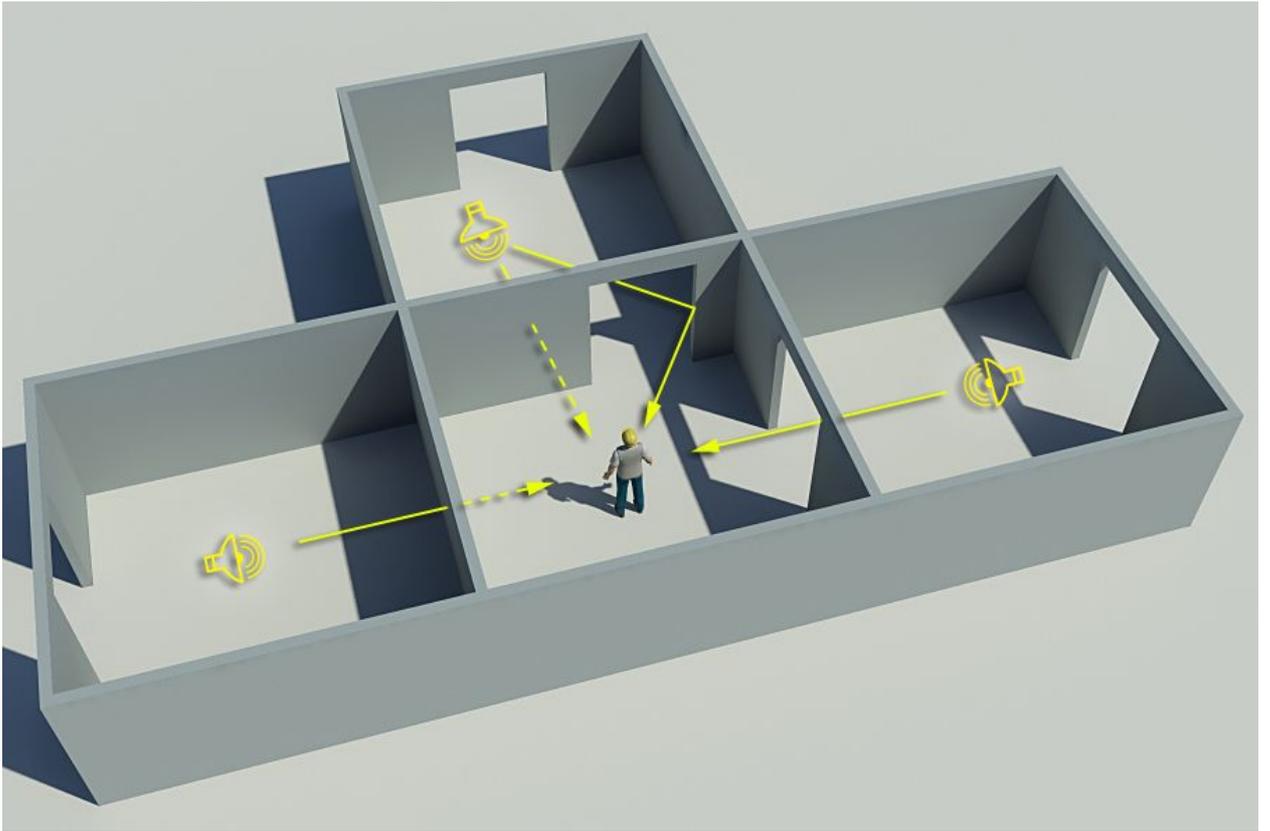


Рисунок 4.3.3. Эффект occlusion (преграждение), obstruction (помеха, препятствие) и exclusions (исключение)

Для более точного моделирования распространения звука можно использовать метод конечных элементов или метод трассировки (по аналогии с построением изображения методом трассировки лучей). Это гарантирует высокую точность, но потребует достаточно больших вычислительных ресурсов (рисунок 4.3.5, 4.3.6).

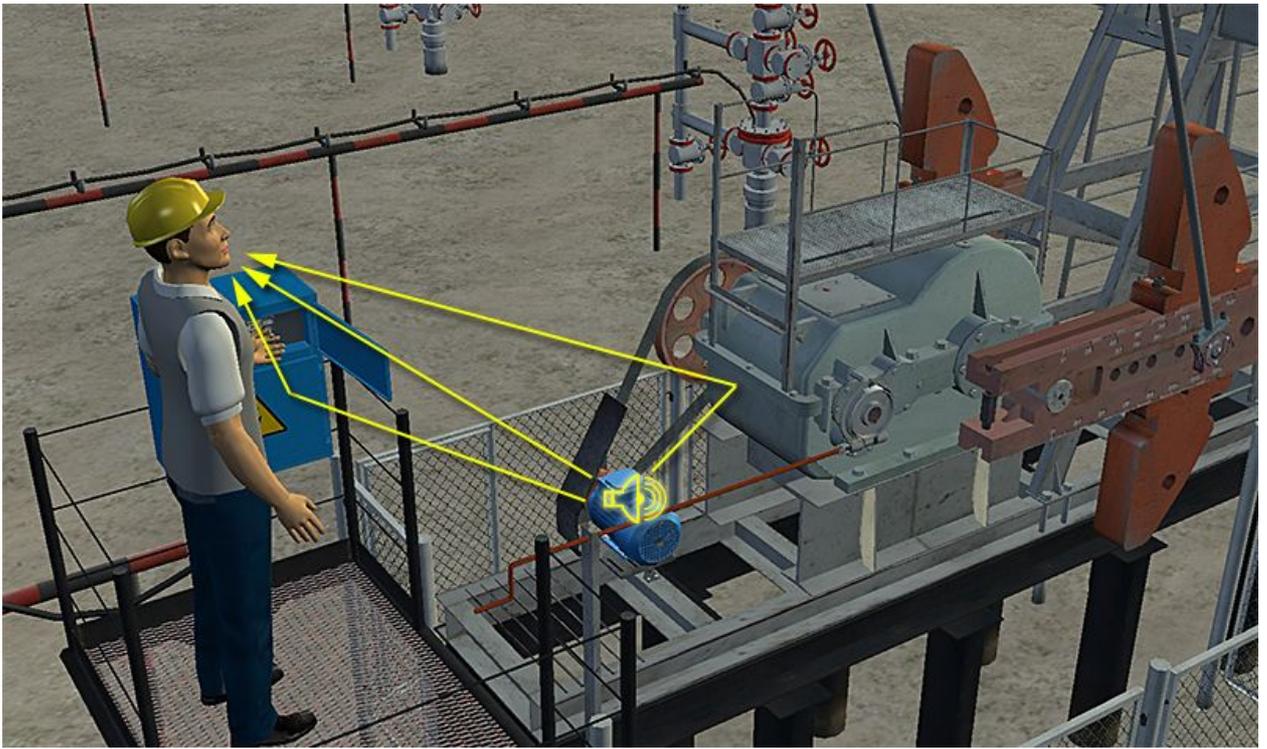


Рисунок 4.3.4. Пример распространения звука

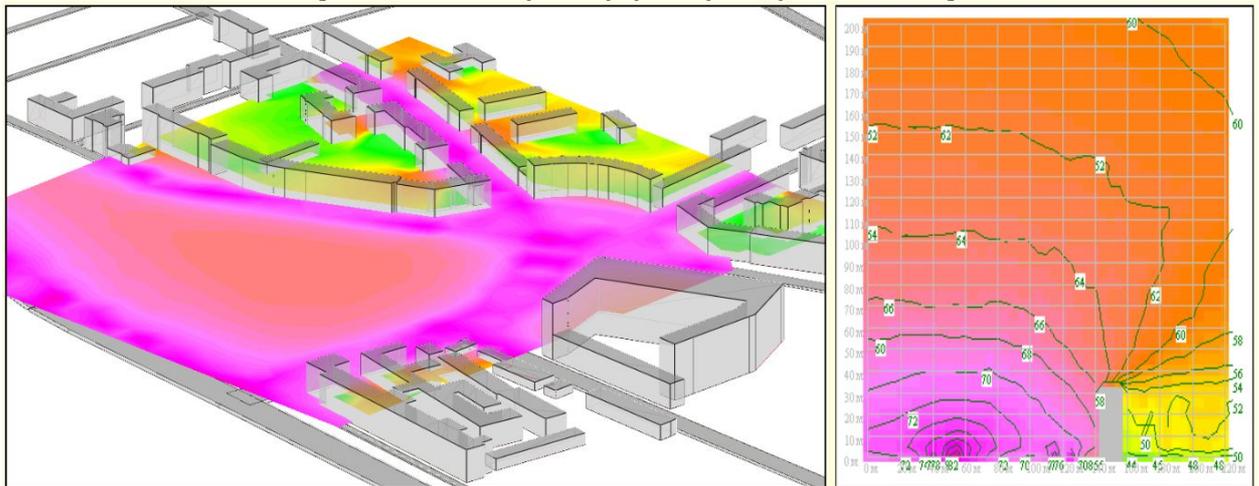


Рисунок 4.3.5. Визуализация уровней звукового давления (АРМ «Акустика» [65])

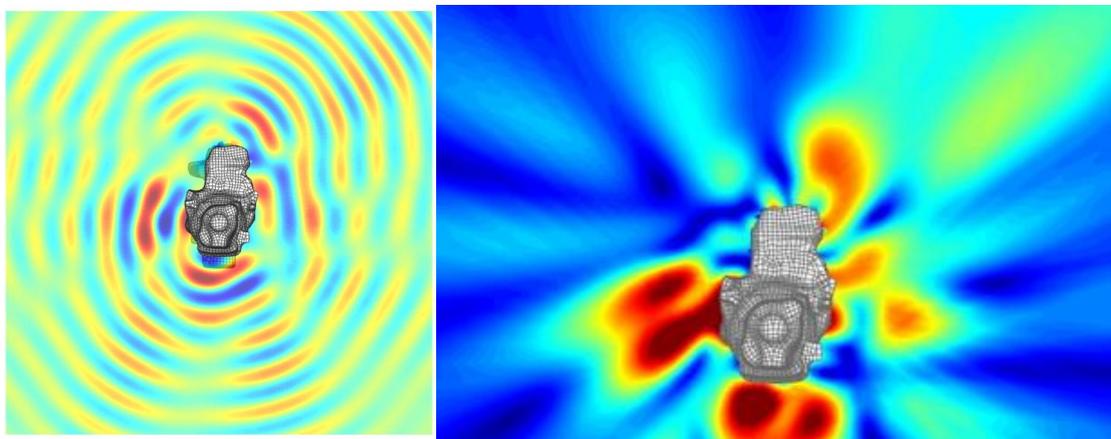


Рисунок 4.3.6. Уровни звукового давления (ACSTRAN Acoustics [101])

## 4.4. Реализация механизмов взаимодействия между пользователем и имитатором

Реализация взаимодействия с пользователем должна учитывать ранее определенные требования, приведенные в главе 2.4. Как указано в главе 2.4., взаимодействие может быть реализовано:

1. на основе стандартных средств ввода\вывода;
2. в виде полной или частичной копии рабочего места «в железе» (полномасштабные модели щитов управления и т.д.);
3. на основе систем формирования виртуальной реальности.

Реализации взаимодействия с применением стандартных средств ввода\вывода (клавиатура, мышь, сенсорные панели и т.д.) возможна с помощью стандартных средств операционных систем. Например, большинство имитаторов для проведения лабораторных работ, созданных НИИ ЭОР ТюмГНГУ, использует следующий стандартный механизм управления. В лабораторных работах применяются следующие клавиши: W, S, A, D – для перемещения в пространстве; F2, E – аналог средней клавиши манипулятора (при первом нажатии берется объект, при последующем – ставится); Z - визуальное увеличение; Shift - присесть; F10 – выход из программы. Функции манипулятора «мышь»: левая клавиша мыши (1) - при нажатии и удерживании обрабатывается (поворачивается, переключается) тот или иной объект; средняя клавиша (2) - при первом нажатии (прокрутка не используется) берется объект, при последующем – ставится. Правая клавиша (3) - появляется курсор–указатель (при повторном исчезает). При появившемся курсоре невозможно перевести взгляд вверх и стороны.



Рисунок. 4.4.1. Активные клавиши клавиатуры и функции манипулятора

В целом задача реализации взаимодействия с применением стандартных средств ввода\вывода является достаточно тривиальной, за одним возможным исключением - процесс управления объектом в 3D

пространстве, особенно если объект имеет 3 степени свободы при помощи манипулятора мышь (2 степени свободы), вызывает большие затруднения и требует оригинального решения для каждого конкретного случая.

Кроме того, управление с помощью манипулятора мышь устройством (в имитаторе), имеющим 2 степени свободы, также бывает затруднено. Пример, показанный на рисунке 4.4.3., наглядно демонстрирует такую ситуацию. Для управления «элементом» используется следующая стратегия. Если пользователь нажимает на элемент и ведет мышь вверх, это означает отклонение рычага в противоположную сторону, если вниз, то «на себя», если влево, то влево и т. д. Казалось бы, все просто, но если пользователь обойдет объект с другой стороны, такие действия будут совершенно неестественными (т. е. при «перетаскивании» элемента налево, он будет отклоняться направо и т.д.). В таком случае можно усложнить управление, путем учета расположения пользователя или использовать другую стратегию управления (например, использование дополнительных объектов в виде стрелок, как показано на рисунке 4.4.2.). В любом случае, такое управление является не естественным, и обучаемый чувствует разницу между действиями, производимыми при управлении реальным объектом и действиями, совершаемыми им для решения тех же задач в имитаторе.



Рисунок 4.4.2. Использование дополнительных объектов-стрелок.

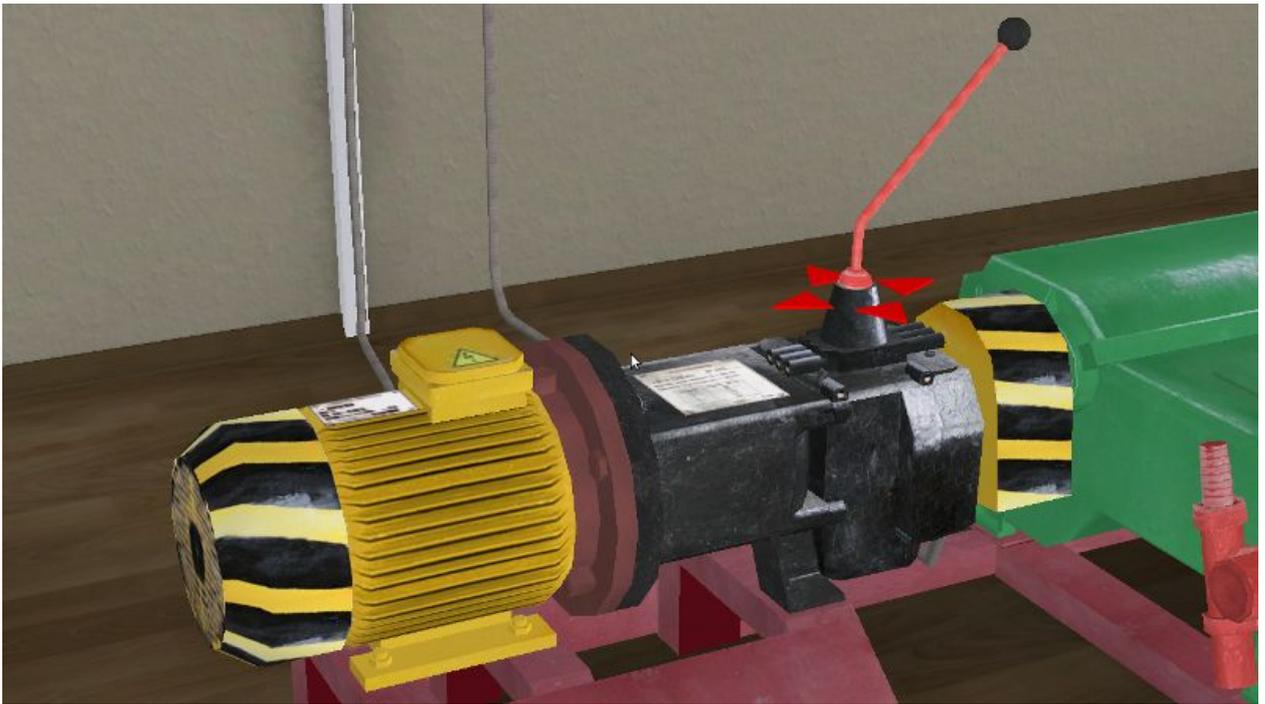


Рисунок 4.4.3. Управление перемещением элемента при помощи дополнительных объектов-стрелок

Реализация механизма взаимодействия в виде копии рабочего места строго регламентировано для тренажеров в различных областях промышленности. В НИИ ЭОР ТюмГНГУ для реализации данного вида взаимодействия (т. е. для реализации щитов управления, приборов и других необходимых механизмов управления и индикации) используется аппаратная платформа CompactRIO фирмы National Instruments. Высокая точность и скорость измерений, модульность исполнения позволяет гибко менять конфигурацию в зависимости от решаемой задачи.



Рисунок 4.4.4. Платформа CompactRIO, устройство сбора данных NI USB-6008/6009

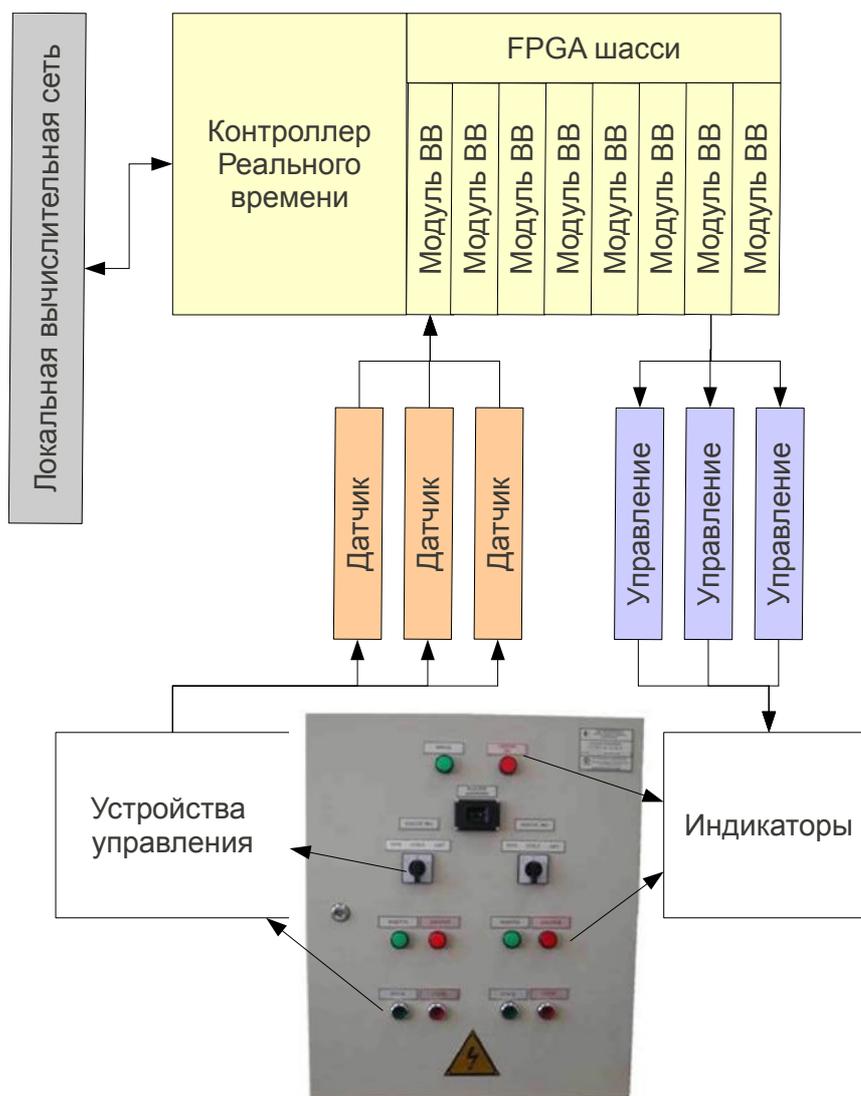


Рисунок 4.4.5. функциональная схема.

Желтым цветом выделена платформа CompactRIO, которая состоит из трех основных частей:

- Модули ВВ (ввода/вывода) – нормализуют и преобразуют сигналы. Модули ввода содержат АЦП (аналогово-цифровой преобразователь) и преобразуют сигналы в цифровой вид, а модули вывода содержат ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь) и преобразуют цифровое значение сигнала в напряжение или ток.
- FPGA (Field programmable gateway array) шасси – обеспечивает сбор результатов измерений с модулей ввода/вывода, их первоначальную обработку, выполнение простейших алгоритмов. Основное преимущество – обработка сигналов и выполнение алгоритмов производится аппаратно.
- Контроллер реального времени – обеспечивает обработку полученных от FPGA шасси результатов измерений, выполнение алгоритмов любой сложности, передачу данных по локальной вычислительной сети на рабочие станции.

Остальные составляющие комплекса:

- Датчики – отвечают за преобразование физических величин (давление, температура и т.д.) в электрический сигнал. Использоваться могут как штатные датчики щитов управления, так и любые другие, на выходе которых формируется электрический сигнал.
- Управление — отвечают за преобразование значение сигнала (напряжение или ток) в движение стрелочных приборов, изменение значений индикаторов, включение ламп и т.д.
- Локальная вычислительная сеть Ethernet – средство передачи данных между имитатором и CompactRIO.

Если число устройств управления и индикации не велико, можно использовать более «доступные» решения, такие как Low-cost National Instruments USB data acquisition. Например устройство сбора данных NI USB-6008/6009 (рисунок 4.4.4., справа) присоединяется к компьютеру посредством интерфейса USB и содержит восемь каналов ввода аналоговых сигналов, два канала генерации аналоговых сигналов, 12 каналов цифрового ввода/вывода и 32-разрядный счетчик.

Реализация взаимодействия при помощи технологии формирования виртуальной реальности является эффективным и перспективным способом. Отличительной особенностью является возможность использования всех органов восприятия пользователя (зрительных, слуховых, тактильных, обонятельных). Более подробно указанные средства рассматриваются в главе 4.5., целиком посвященной системам формирования виртуальной реальности.

## 4.5. Создание системы формирования виртуальной и смешанной реальности

Формирование виртуальной реальности – это новая область применения компьютерных средств. В настоящее время в мире существует более ста крупномасштабных установок виртуальной реальности [5], 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 имитаторы с использованием элементов виртуальной реальности реализованы для армейской и гражданской сферы. 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, виртуальная реальность – модельная трехмерная (3D) окружающая среда, создаваемая компьютерными средствами и реалистично реагирующая на взаимодействие с пользователями [6], а система формирования виртуальной реальности – это система, обеспечивающая генерацию модели реальности в соответствии с математической моделью этой реальности при помощи программных средств [66]. Суть заключается в том, что при подаче на основные органы восприятия пользователя (зрительные, слуховые, тактильные, обонятельные) программно управляемых воздействий, а также при 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 (т.е. пользователь не ощущает разницы между действиями в реальности и действиями, выполняемые в системе VR). 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 [134]. Это и другие качества систем VR имеют большую значимость при создании имитаторов. Кроме того, доклады консалтинговых компаний, например, Insight Media [89;49] относительно ситуации на рынке VR уверенно подтверждают стремительные темпы развития данного направления (рисунок 4.5.1.).

Для оценки существующего состояния такой быстро развивающейся области как формирование виртуальной реальности были изучены работы

Луценко Е.В., Иванова В.П. и других [39;28;47;56]. 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 [62], InterSence [110], eMagin [63], Sensics [69], NaturalPoint) используют отличные друг от друга интерфейсы, а также собственные API. Фактически, это означает необходимость поддержки каждого из устройств VR отдельно, что ведет к значительному усложнению программного и технологического обеспечения создаваемых имитаторов.

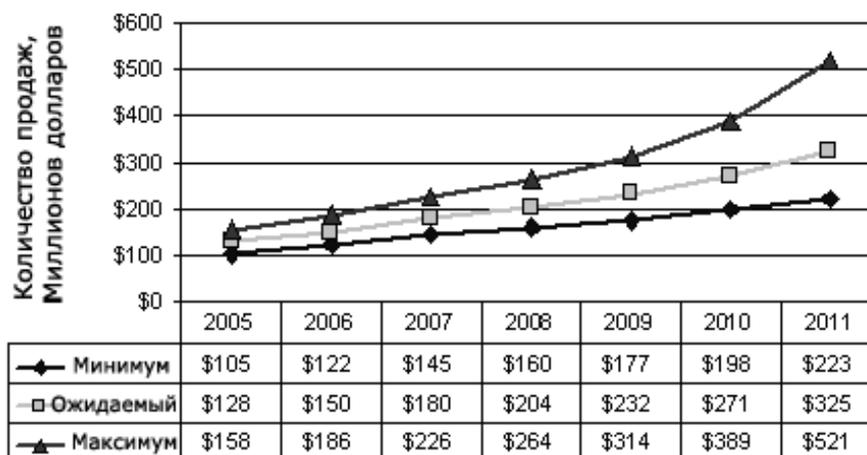


Рисунок 4.5.1. Данные консалтинговой компании Insight Media

В результате дальнейшего изучения указанных источников было установлено, что система формирования виртуальной реальности, в общем случае, состоит из следующих составляющих систем: вычислительной, объемной (чаще бинокулярной) визуализации, формирования звуковой картины, позиционирования и имитации воздействия среды [44;82;30]. Классификация систем VR показана на рисунке 4.5.3.

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. Стереобразание - это, по сути, два изображения, 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.

#### 4.5.1. Объемная визуализация

Объемная визуализация позволяет воспринимать большее количество информации по сравнению с плоским изображением. Объемное изображение содержит информацию не только об типе, цвете, форме, освещении и других свойствах объекта, которые удастся передать и на плоском изображении, но и целый ряд других характеристик, например, структура материалов, влажность поверхности и т.д.

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), например дисплей Perspecta volumetric.

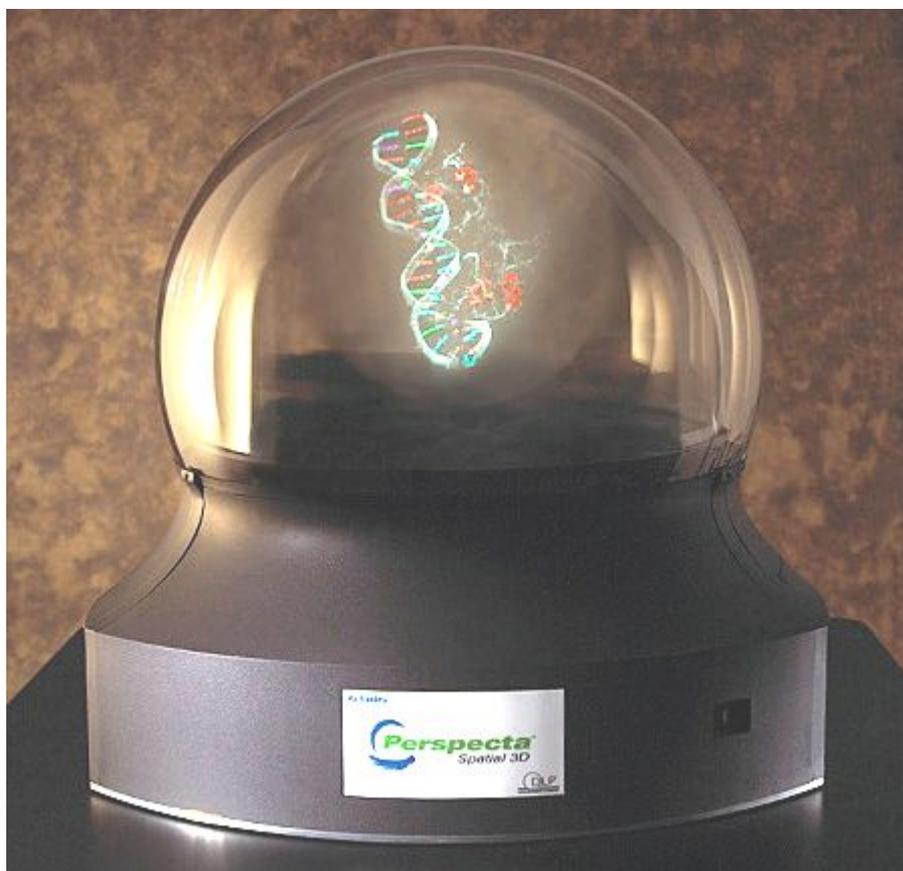


Рисунок 4.5.2. Объемный дисплей Perspecta volumetric

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.). 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.) [21;22]. 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 программном и техническом обеспечении современных имитаторов.

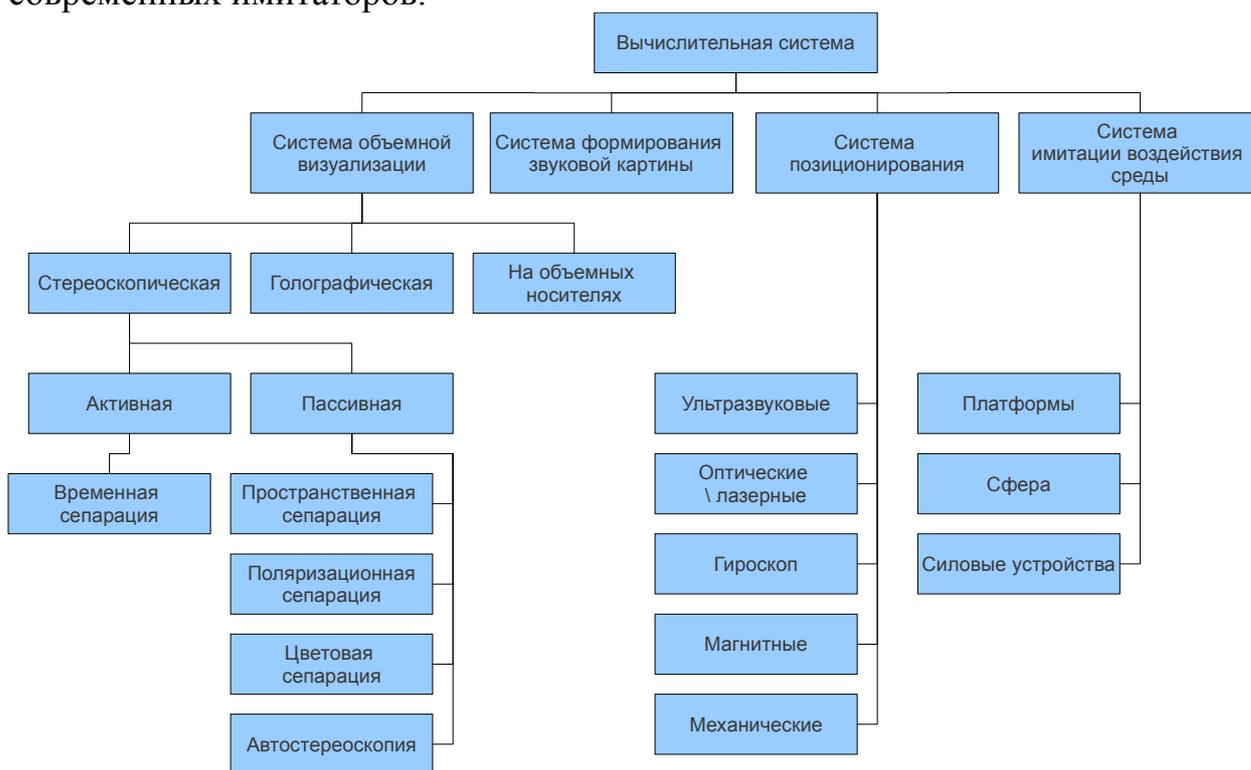


Рисунок 4.5.3. Классификация систем формирования виртуальной реальности

#### 4.5.2. Стереоскопическая визуализация

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 [40].

Глаза человека видят не одинаково. Если поочередно смотреть левым и правым глазом на близко расположенный предмет, то будет заметна разница восприятия объекта, т. е. объект будет визуально смещаться влево и вправо. Точно также любая наблюдаемая точка на объекте воспринимается зрительным аппаратом в виде пары точек. Видимость двух точек может расцениваться по разному — или как две разных точки (объекта) или как одна точка. При фиксации зрения на одну реальную точку видимые глазами пара точек расцениваются как одна реальная. Ощущая мышечное усилие, необходимое для поворота глаз, можно определить угол, под которым пересекаются визирные оси глаз при «совмещении» точек. Обычно угол пересечения зрительных осей называется стереоскопическим параллаксом или углом конвергенции. При взгляде на бесконечно удаленные объекты угол конвергенции равен 0, при чтении книги (20-30 см.), угол составляет примерно 15 градусов. Изображения полученные с помощью виртуальных камер (имитирующих бинокулярное наблюдение) в пакете трехмерного моделирования, представленные на рисунке 4.5.4., показывают разницу проекции для левой и правой камеры, при этом различие увеличивается при приближении камер к объекту съемки.

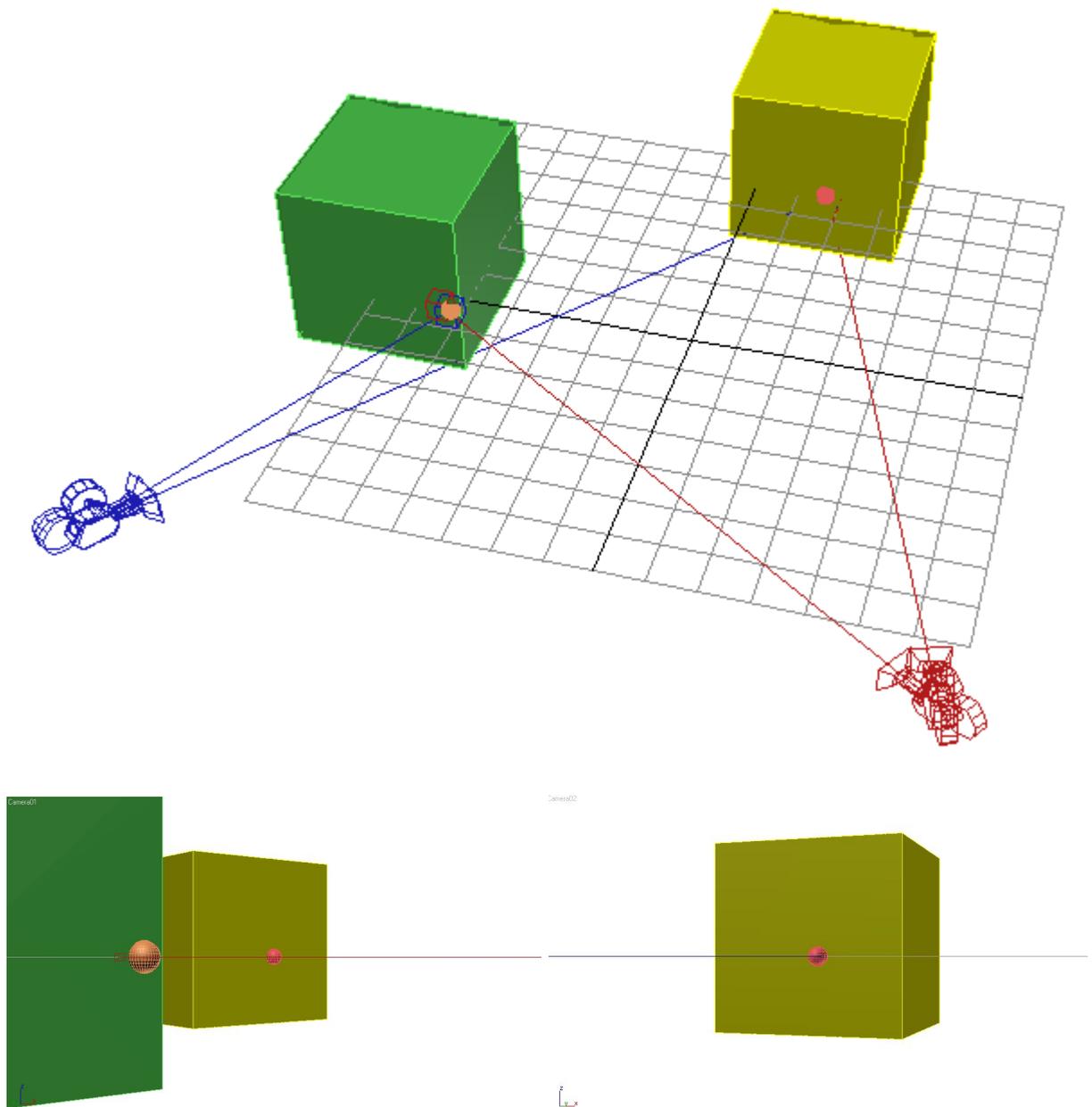


Рисунок 4.5.4. Конвергенция зрительных осей: перевод взгляда с желтого куба на зеленый.

Механизм восприятия стереоскопического изображения несколько отличается от механизма бинокулярного зрительного аппарата. Зрительный аппарат человека видит изображения с левого и правого глаза на конвергированных осях, т.е. глаза направлены на определенную точку на объекте. При естественном бинокулярном наблюдении мозг корректирует искажения, вызванные различным расстоянием от левого и правого глаза до объекта, но при просмотре искусственно синтезируемого стереоскопического изображения механизм коррекции отсутствует. По этой причине, при синтезе стереоскопического изображения «камеры» должны быть расположены на параллельных осях, а не на конвергированных (рисунок 4.5.5.).

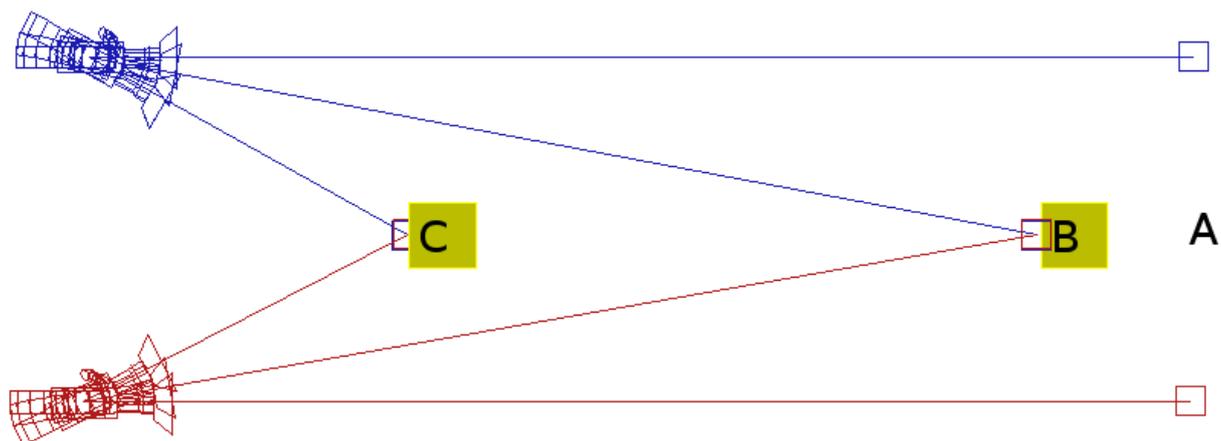


Рисунок 4.5.5. Съемка на параллельных осях (точка А в бесконечности).

Также стоит обратить внимание на расстояние между объективами виртуальных камер (базис съемки). Мнение о том, что это расстояние всегда должно быть равно расстоянию между глазами наблюдателя является ошибочным. Дело в том, что синтезированное изображение, наблюдаемое, например при помощи проектора или на мониторе, сильно отличаются масштабом. Если не учитывать масштаб наблюдаемого стереоскопического изображения, иначе если изображение больше или меньше реального, соответственно объемное изображение кажется слишком миниатюрным или, наоборот, огромным. Для учета масштаба изображения, предоставляемого наблюдателю, необходимо корректировать расстояние между объективами виртуальных камер — с увеличением масштаба необходимо уменьшать расстояние между камерами.

Учет указанных отличий восприятия стереоскопического изображения от естественного бинокулярного механизма восприятия позволяет обеспечить комфортное восприятие объема. Более подробную информацию, а также точные расчеты параметров стереокиносъемки на параллельных осях для проекции на экран (справедливо и для шлем-дисплейных систем), можно найти в специальной литературе и справочниках по стереоскопической съемке [69;60;31;4]. В России научные исследования стереоскопического восприятия проводятся ОАО «НИКФИ» (<http://www.nikfi.ru/>).

При совмещении изображения для левого и правого глаза точки объекта имеют горизонтальный сдвиг - горизонтальные параллаксы. Наличие горизонтальных параллаксов являются причиной конвергенции зрительных осей при наблюдении изображения, что и создает объемное восприятие (подобно бинокулярному). Наличие вертикального параллакса крайне нежелательно и приводит к сильной утомляемости наблюдателя.

Горизонтальный параллакс может быть «нулевым», «положительным» или «отрицательным». Если точка левого изображения на экране расположена левее одноименной точки правого изображения, то такой параллакс будет положительным. Если же точка левого изображения

расположена правее одноименной точки правого изображения – такой параллакс будет отрицательным. Знак параллакса влияет на то, где будет восприниматься точка, перед экраном или за ним. Объект с положительным параллаксом воспринимается в пространстве «за экраном», а точки с отрицательным параллаксом будут восприниматься как-бы перед экраном. Точки не имеющие параллакса воспринимаются на плоскости экрана.

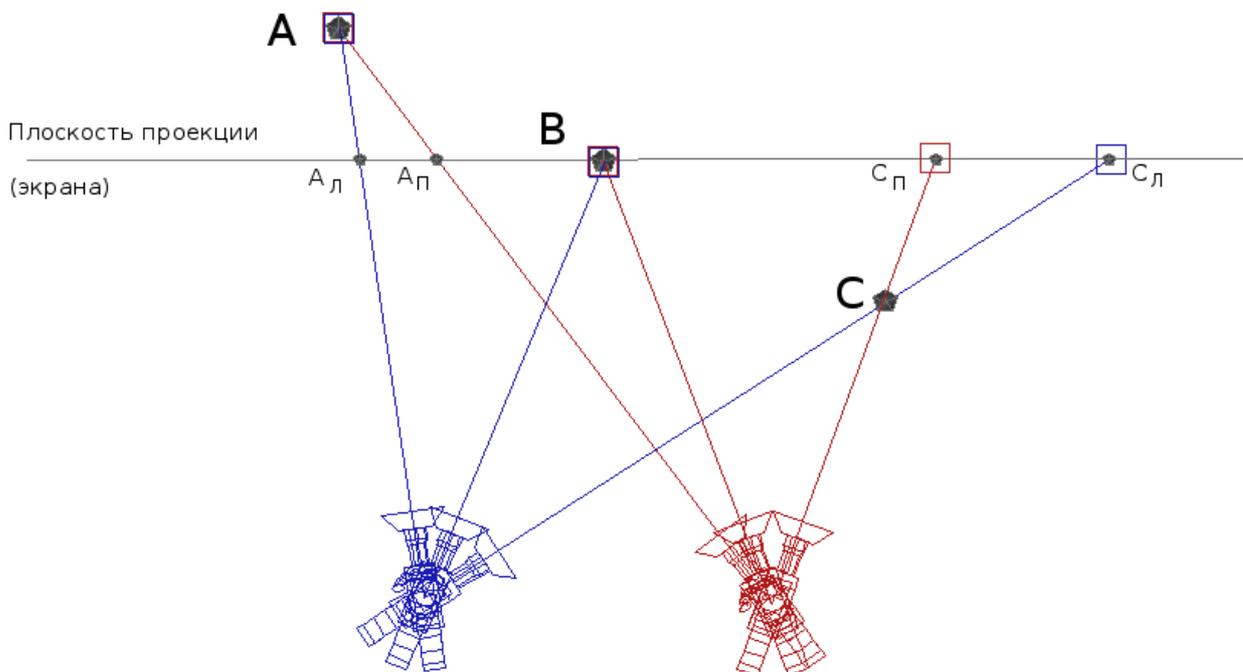


Рисунок 4.5.6. Влияние знака параллакса на пространственное восприятие элементов изображения. А, В, С – воспринимаемые изображения точек.

При синтезе стереоскопического изображения нужно учитывать, что удаленные объекты должны наблюдаться на параллельных зрительных осях, т. е. в естественных условиях механизм бинакулярного зрения «работает» на расстоянии примерно 90 – 40 метров (более далекие планы оцениваются за счет анализа перспективы). Несоблюдение этого правила приводит к расхождению (дивергенции) зрительных осей и вызывает сильную утомляемость и головные боли при работе с имитатором.

Также необходимо учитывать допустимую глубину пространства. Также как в фотографии, допустимая глубина пространства зависит от расстояния до объекта и фокусного расстояния объектива камеры. Чем ближе объект — тем меньше глубина пространства; чем больше фокусное расстояние объектива, тем глубина пространства меньше, и наоборот (по аналогии с глубиной резкости). «Неестественная» глубина пространства также вызывает расхождение (дивергенцию) зрительных осей. Примерные значения оптимальных величин базисов при синтезе изображения виртуальными камерами и соответствующих им глубин стереоскопического восприятия приведены в таблице 4.5.7. [69]. Для расчета параметров «камер» существует множество специализированного ПО, например Inition StereoBrain Calculator компании Inition [108].

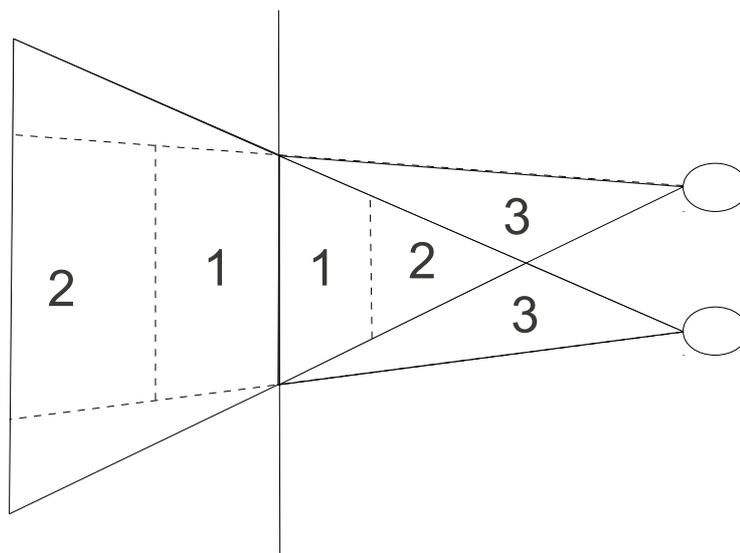


Рисунок 4.5.7. Границы воспринимаемого пространства (глубина) и границы комфортного просмотра (3 — нет эффекта; 1 — комфортный просмотр; 2 — не комфортный просмотр)

Общим выводом является тот факт, что система формирования стереоскопического изображения должна учитывать множество параметров для возможности точной настройки.

Таблица 4.5.1. Значения оптимальных величин базиса съемки при синтезе стереоскопического изображения

Величина базиса съемки, см.	Зона оптимального воспринимаемого пространства, м.	Граница еще хорошо воспринимаемого пространства, м.
6,5	От 3 до 11	22,0
10	От 5 до 17	34,0
15	От 7,5 до 24	51,0
20	От 10 до 33	68,0
30	От 15 до 51	102,0
40	От 20 до 69	135,0
50	От 25 до 85	170,0
100	От 50 до 170	340,0
200	От 100 до 340	680,0
500	От 250 до 850	1700,0
1000	От 500 до 1700	3400,0
2000	От 1000 до 3400	6800,0

#### 4.5.3. Техническая реализация стереоскопического метода

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).

#### 4.5.3.1. Цветовая сепарация

Самой простой и доступной технологией получения стереоизображения является цветовое разделение. Для объяснения принципа данного метода можно представить рисунок, состоящий из красных и синих полос на черном фоне, красные полосы исчезают, если смотреть на них сквозь синий светофильтр, а синие полосы исчезают если смотреть сквозь красный светофильтр. Специальные очки для просмотра данного типа стереоизображения имеют соответствующие светофильтры (красный и синий), обычно для левого изображения используется красный цвет, для правого – синий. Преимущества метода цветового разделения - низкая стоимость, простота реализации (не требуется специального оборудования). Недостатки - искажения в отображении цветов, плохое качество стереоскопии (часть изображения, предназначенного для одного глаза, становится видимой для другого), и следовательно, быстрая утомляемость.



Рисунок 4.5.8. Очки для цветовой сепарации изображения

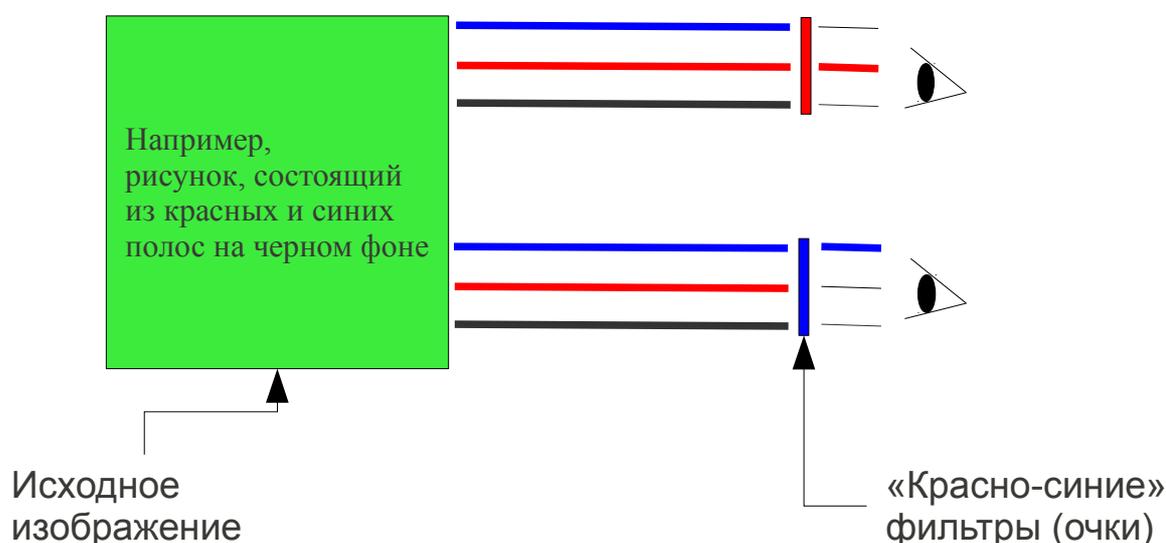


Рисунок 4.5.9. Принцип цветовой сепарации изображения

### 4.5.3.2. Шлем-дисплейные системы (пространственная сепарация)

Самым известным устройством, в котором используется пространственная сепарация, являются 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 (рисунок 4.5.10).

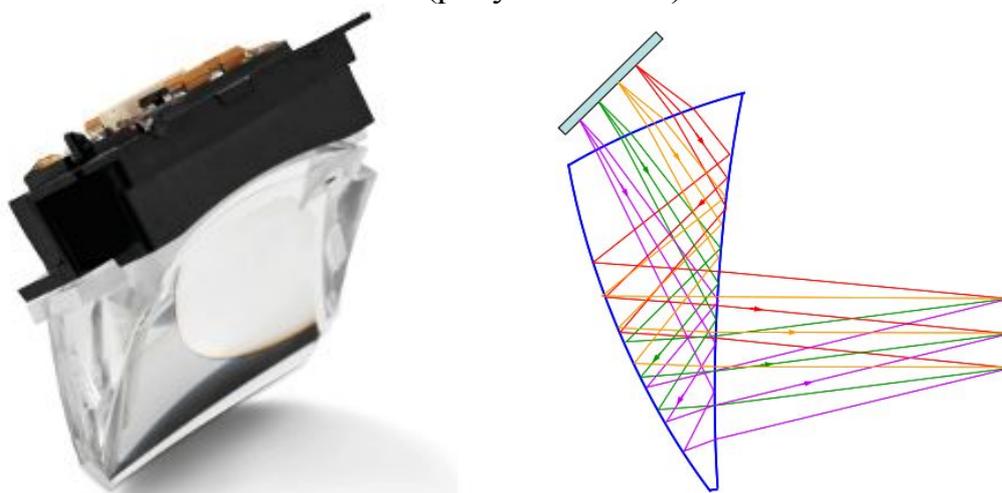


Рисунок 4.5.10. Вариант линзовой системы (Emagin)

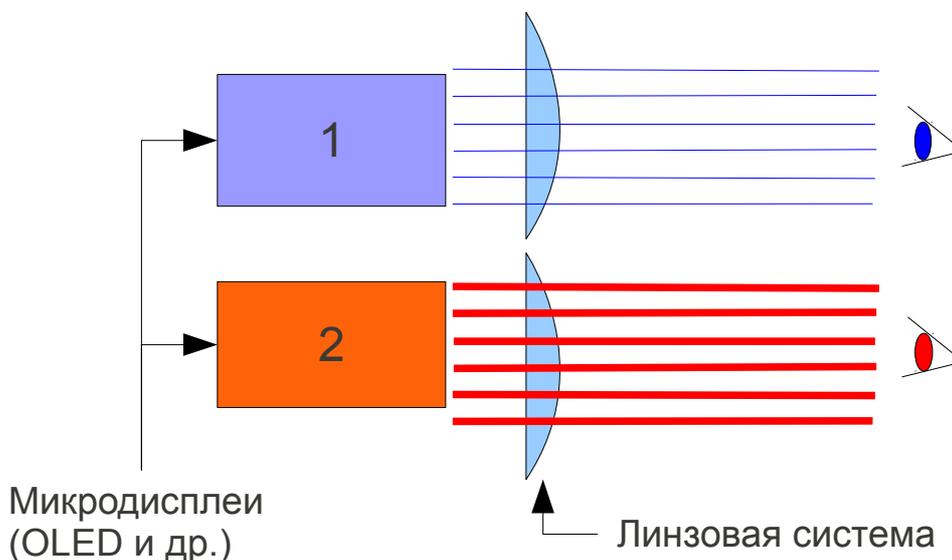


Рисунок 4.5.11. Принцип пространственной сепарации изображения



Рисунок 4.5.12. piSight (вариант с 24 микродисплеями)

Шлем-дисплейные системы также отличаются значением охватываемого поля зрения (FOV). Этот показатель используется для определения, какую часть поля зрения человека занимает формируемое изображение. Охватываемое зрительное поле человека составляет примерно 200 градусов по горизонтали на 150 градусов по вертикали. Для шлем-дисплейных систем обычно указывается показатель FOV по диагонали, т. е. угол по диагонали. Показатели FOV (по диагонали) современных шлемов составляют от 26 до более 100 градусов. Для сравнения, промышленные авиатренажеры имеют fields-of-view до 220° по горизонтали и до 80° по вертикали (CAE Tropos-6000).



Рисунок 4.5.13. Шлем VR eMagin Z800 3D Visor

Шлем Z800 3D Visor производства компании eMagin имеет в своем составе 2 OLED-микродисплея с разрешающей способностью 800x600 каждый и меньшее поле видимости. Достаточно интересным примером является шлем виртуальной реальности piSight производства компании sensics [128]. Данное устройство содержит 24 SVGA микродисплея, каждый из которых имеет разрешающую способность 800x600 пикселей (3200\*1800 на каждый глаз). Для работы указанного устройства необходимо обеспечить подачу видеосигнала на каждый дисплей по отдельности, т. е. необходимо использовать два компьютера, имеющие по 12 видео-выходов или 6 компьютеров имеющих по 4 видеовыхода и т. д. Кроме высокой детализации изображения данный шлем отличается большим полем видимости, практически совпадающим с полем зрения человека, даже с учетом периферийного зрения.

#### 4.5.3.3. Временная сепарация

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, т. е. при формировании на экране монитора изображения правого кадра, затемняется левое поле зрения, при воспроизведении левого кадра затемняется правое поле. Для перекрытия используются высокоскоростные оптические затворы, чаще всего жидкокристаллические, размещенные в очковой оправе. Для синхронизации применяется специальная электронная или электронно-оптическая схема. Основным недостатком 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. 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.

На текущий момент на рынке доступно множество устройств, использующих метод временной сепарации. Например, затворные стереочки производства компании NVIDIA, рассчитанные на использование со 120-Гц мониторами, телевизорами или проекторами (рисунок 4.5.15). Похожими очками комплектуются многие современные телевизоры и плазменные

панели. Также существуют и другие конструкции, например, shutter-очки “Панорама” производства корпорации СТЕЛ [3] (рисунок 4.5.14).



Рисунок 4.5.14. shutter-очки “Панорама”



Рисунок 4.5.15. Shutter-очки NVidia 3D Vision

#### 4.5.3.4. Поляризационная сепарация

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 сторону 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 деполаризующих свойствах экрана, которые могут быть уменьшены, но не устранены полностью.

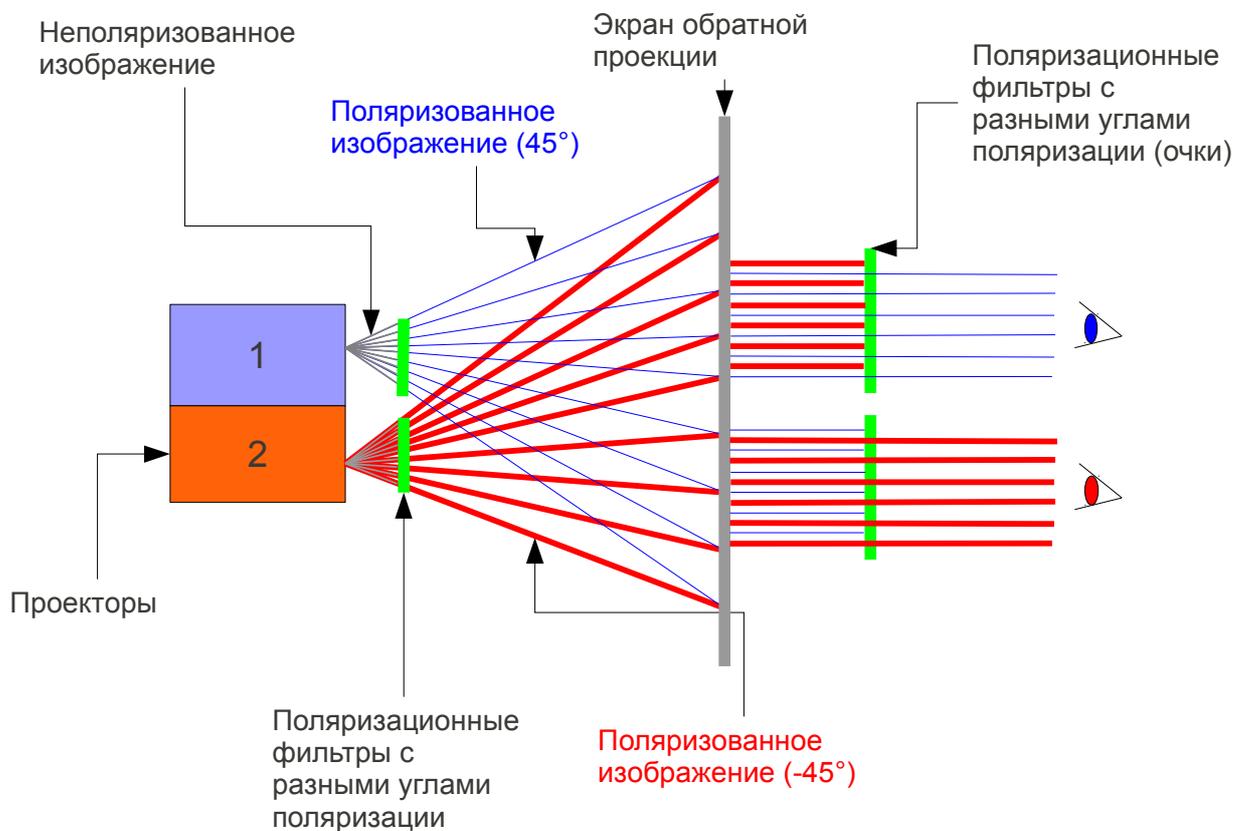


Рисунок 4.5.16. Принцип поляризационной сепарации изображения



Рисунок 4.5.17. Внешний вид стойки проекторов (фильтры в объективе) и экрана обратной проекции

Способность проекционных систем для формирования изображения на больших экранах часто используется для создания более сложных конфигураций чем один проекционный экран [117;124;114]:

- панорамные системы визуализации (рисунок 4.5.18.), имеющие охват до 180 градусов (позволяет задействовать периферийное зрение);
- системы для проецирования на купол или сферу (рисунок 4.5.19.);
- так называемые «комнаты» (cave) — проецирование осуществляется на различные стены «комнаты» - от 2 до 6 (рисунок 4.5.20.);
- так называемые «стены» (VR wall) — проекция осуществляется на плоскость, состоящую из большого числа фрагментов — экранов обратной проекции или панелей (рисунок 4.2.23.). Позволяет увеличивать размер изображения без потери качества (разрешающей способности изображения).

Как правило, для синтеза изображений для сложных систем используются кластерные вычисления и методы, описанные в главе 4.2.3.



Рисунок 4.5.18. Панорамные системы визуализации на примере тренажера диспетчера аэропорта (projector system by Mersive [117])



Рисунок 4.5.19. Системы проецирования на купол или сферу [117]

Стоит отметить доступность подобных решений, в т.ч. в России, например <http://stereokino.ru/digital.htm#digital3D>

Также стоит отметить возможность использования зеркального сведения ракурсов при помощи полупрозрачного зеркала. В основу метода

положен тот факт, что изображение современных мониторов является поляризованным (обычно угол поляризации составляет 45 градусов), это дает возможность использовать полупрозрачное зеркало для сведения двух ракурсов изображения (с двух мониторов), при этом изображения для левого и правого глаза имеют различные углы поляризации, что, в свою очередь, дает возможность использования очков с поляризационными фильтрами для обеспечения условий объемного восприятия. Данный принцип используется в продукции фирмы Planar [131] и StereoPixel [27]. В принципе, данная возможность позволяет создавать и более сложные конструкции с большим количеством граней.

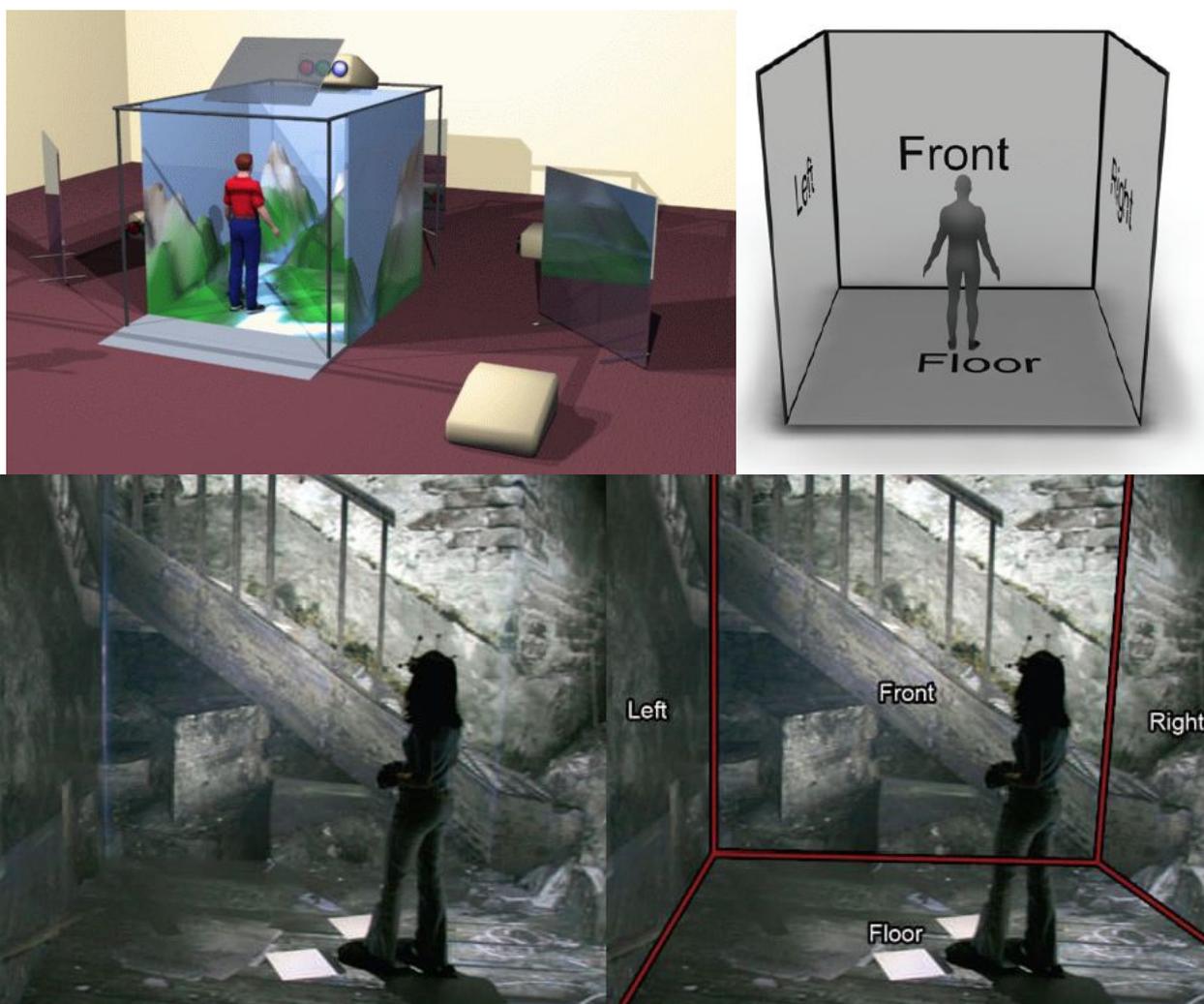


Рисунок 4.5.20. Система визуализации в виде «комнаты» (cave) (University of Michigan 3D Lab , [135])

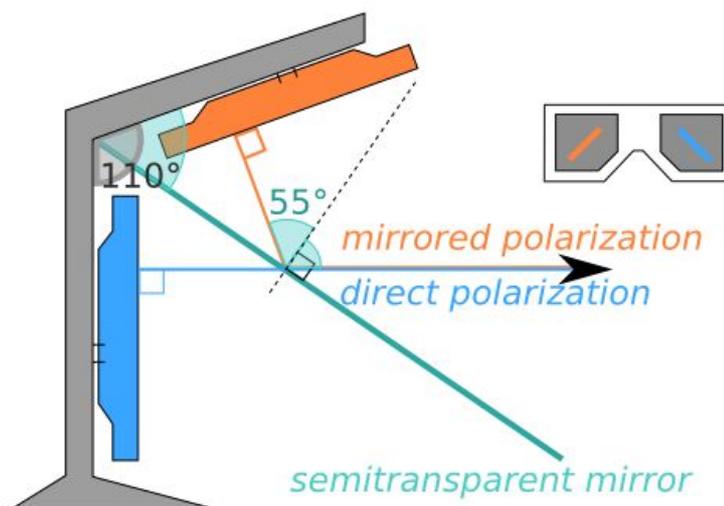


Рисунок 4.5.21. Принцип зеркального сведения ракурсов



Рисунок 4.5.22. Расположение мониторов спереди и сверху (Planar), монитор располагается снизу (StereoPixel)

#### 4.5.3.5. Цветовая сепарация

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, образующих 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 [134].

#### 4.5.3.6. Автостереоскопические системы

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.Окиси [31;4]. 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 находиться в строго определенном месте перед экраном. Именно по этой причине сейчас разрабатываются технологии, обеспечивающие правильное восприятие стереоизображения для зрителей, находящихся в различных позициях относительно экрана (как правило за счет формирования нескольких пар изображений для разных зрителей на одном экране, но потерей разрешающей способности)

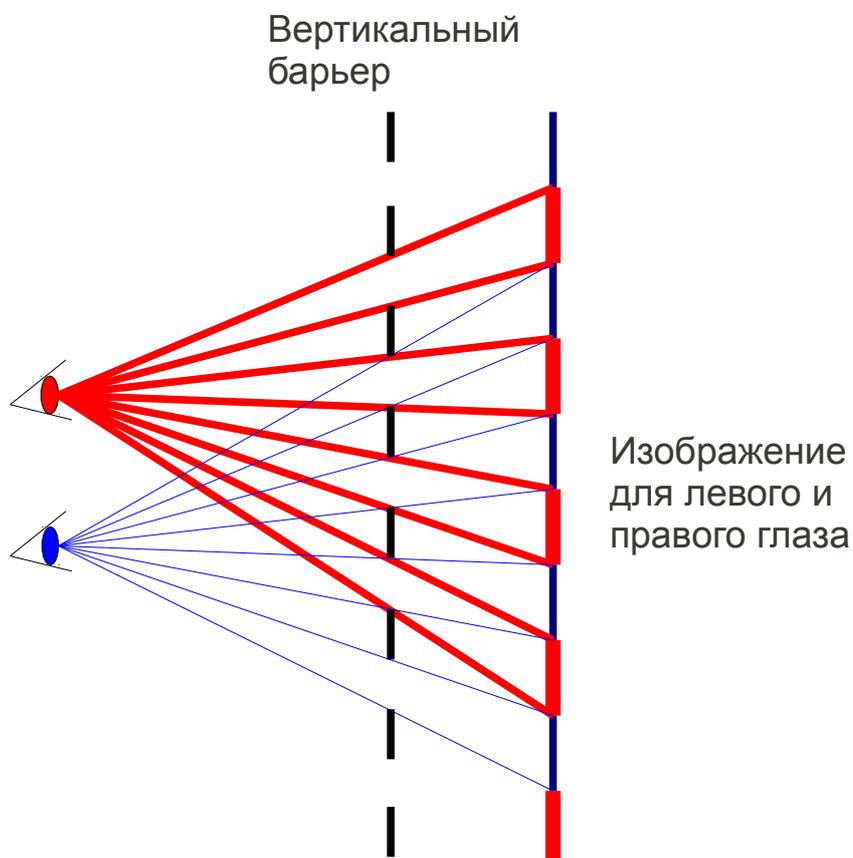


Рисунок 4.5.23. Вариант автостереоскопической системы

#### **4.5.4. Объемное звуковое сопровождение**

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 [68]. 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.

#### **4.5.5. Система позиционирования**

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 [126;99;116]. Использование каждого из перечисленных подходов имеет, как свои преимущества, так и недостатки, в зависимости от заданных условий эксплуатации.

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). Также можно отметить, что практически все существующие системы позиционирования могут быть встроены в состав таких устройств, как виртуальные перчатки, шлемы и т.д.

##### **4.5.5.1. Оптические системы захвата движения**

Существуют две основные технологии, используемые в оптических системах захвата движения: пассивные системы, использующие светоотражающие маркеры и активные системы, использующие импульсные светодиоды.

Пассивные системы оптического захвата движения используют специальные камеры, зафиксированные по периметру зоны захвата, и маркеры из светоотражающего материала, прикрепленные к определенным местам тела человека. Маркеры, как правило, крепятся непосредственно к коже или к облегающему тело костюму. Изображение, зафиксированное камерами с различных позиций, проходит специальную обработку для выявления позиции маркеров в изображении, и посредством триангуляции рассчитывается позиция каждого маркера в трехмерном пространстве. Особенности камер заключаются в наличии инфракрасных светодиодов, установленных вокруг объектива камеры, а также инфракрасных-фильтров, размещённых перед матрицей (рисунок 4.5.24.), что в совокупности позволяет работать камерам даже в темном помещении. Обычно, пассивные системы захвата движения имеют в своем составе от 6 до 24 камер.

Каждый отдельный маркер дает информацию только о позиции, для получения информации о повороте или наклоне частей тела используются соединения трех или более маркеров. Стоит отметить возможность захвата мимики лица с использованием специальных миниатюрных маркеров.

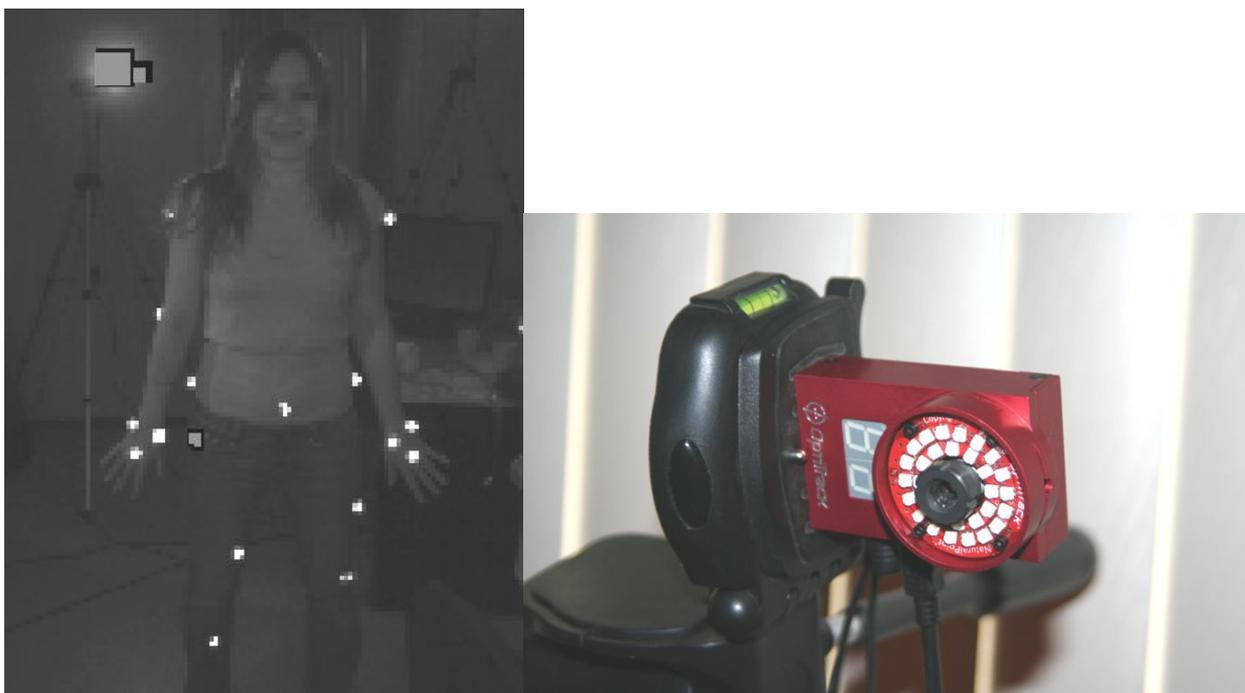


Рисунок 4.5.24. Внешний вид камеры и получаемое изображение

Активные оптические системы оптического захвата движения используют другой принцип, основанный не на отражении света обратно, а на свечении самих маркеров [108]. Мощность свечения активных маркеров снижается на  $1/4$  при удаленности маркера в два раза, что и используется при расчетах его положения. Активные системы, по сравнению с пассивными, обладают большей точностью и возможностью охвата большей рабочей зоны, кроме того, светодиоды могут быть импульсными, что дает возможность захвата большего количества маркеров, расположенных ближе друг к другу.

Современные оптические системы захвата характеризуются высокой точностью (разрешение камер более 12 мегапикселей) и скоростью (до 480 кадров в секунду и выше) [122].

Новые методы и исследования в области компьютерного зрения приводят к быстрому развитию безмаркерных технологий для захвата движения. Такие системы не требуют маркеров и специального оборудования. Специальные алгоритмы позволяют системе анализировать несколько потоков изображения и определять формы человека, движения частей тела.

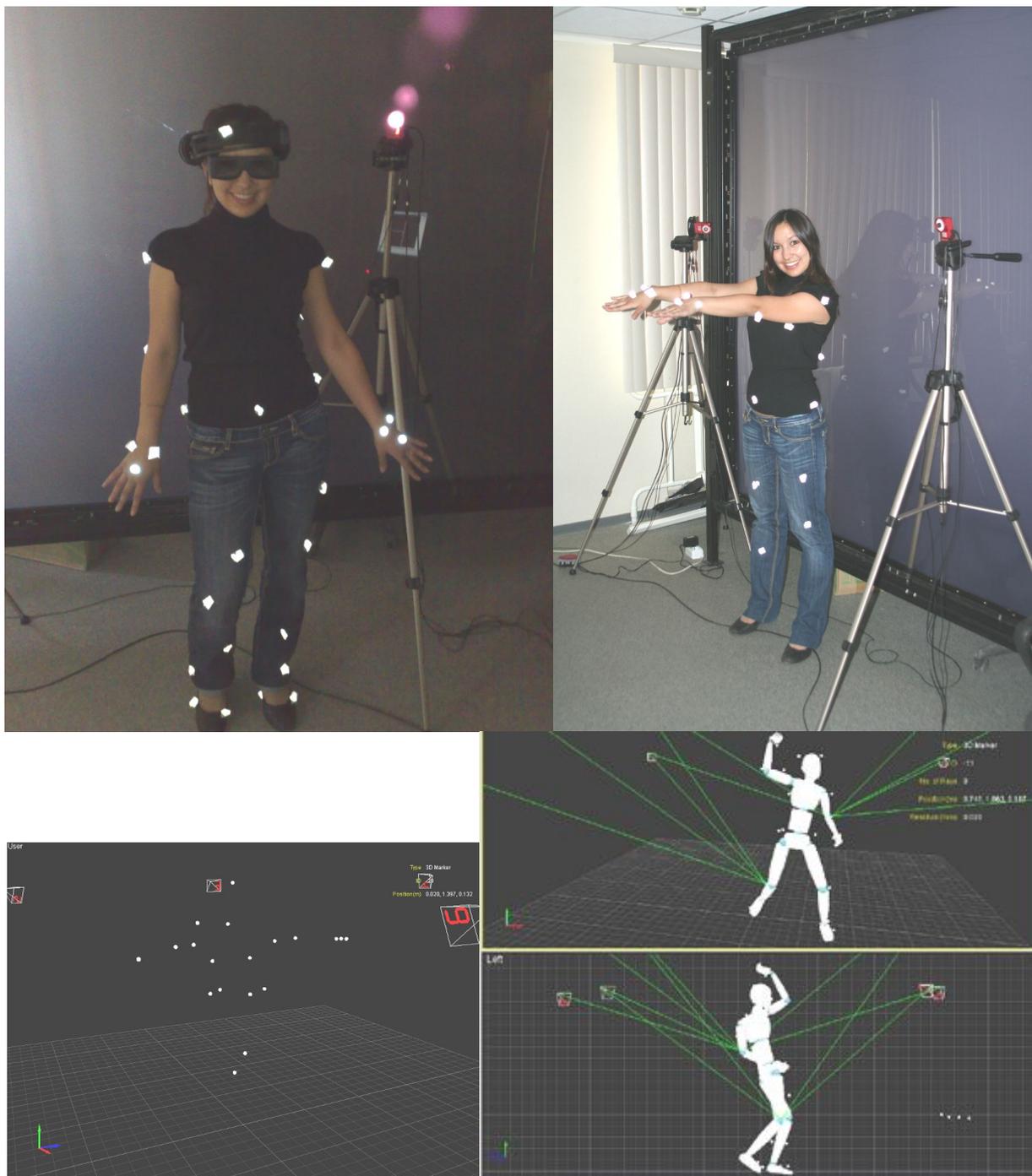


Рисунок 4.4.25. Система захвата движения NaturalPoint OptiTrack

#### 4.5.5.2. Инерциальные системы захвата движения

Инерциальные системы захвата движения используют технологию основанную на использовании миниатюрных инерционных датчиков. Большинство инерциальных систем используют гироскопы для измерения вращательного номера, такие системы позволяют отслеживать шесть степеней свободы движения тела человека в режиме реального времени. Преимуществами инерционных систем являются возможностью охвата большой рабочей зоны для перемещений. К недостаткам можно отнести низкую точность позиционирования и позиционные сбои.

#### 4.5.5.3. Механические системы захвата движения

Механические системы захвата движения непосредственно отслеживают движения тела, посредством так называемого экзо-скелета. Такие системы захвата движения при использовании беспроводной передачи данных имеют неограниченный объем захвата. Как правило, они используют жесткие структурные соединения пластмассовых или металлических стержней, соединенных с потенциометрами, что позволяет отслеживать повороты суставов тела.



Рисунок 4.5.26. Механические системы захвата движения - экзо-скелет



Рисунок 4.5.27. Механические системы захвата движения - перчатка системы VR



Рисунок 4.5.28. Инерциальные системы захвата движения - Intersense InertiaCube

#### 4.5.5.4. Магнитные системы захвата движения

Магнитные системы вычисляют положение и ориентацию датчика относительно магнитного потока при помощи трех ортогональных катушек. Величина напряжения или тока в катушках позволяет этим системам рассчитывать дальность и ориентацию датчиков. Преимуществом таких систем является использование одного датчика для получения сразу шести степеней свободы (позиция и ориентация в пространстве). Недостатками являются чувствительность к магнитным и электромагнитным помехам.



Рисунок 4.5.29. Магнитная система захвата движения Ascension Flock of Birds

#### 4.5.6. Система имитации воздействия среды (осязания)

Система имитации воздействия среды (осязания) обеспечивает имитацию силового сопротивления (необходимость приложения силы) при взаимодействии с виртуальными объектами. Устройства имитации осязания могут быть представлены, как простой перчаткой с сенсорным контактом, так и полной моделью, обеспечивающей силовое сопротивление во всех суставах рук или ног [67].



Рисунок 4.5.30. Система имитации воздействия CyberGlove Haptic

При создании имитаторов движущейся техники (машины, самолеты, вертолеты и т. д.) применяются силовые платформы (рисунок 4.5.31). Такие

силовые платформы обеспечивают 6 степеней свободы - три поступательных и три вращательных (в ограниченных пределах).



Рисунок 4.5.31. Силовая платформа и авиационный тренажер на платформе

При необходимости больших пеших перемещений можно использовать самые разнообразные устройства, например «беговые» платформы или сферы (рисунок 4.5.32.). VirtuSphere состоит из большого полого шара, который может беспрепятственно поворачиваться в любом направлении. VirtuSphere имеет 6 степеней свободы - можно двигаться в любом направлении, ходить, прыгать, переворачиваться, и передвигаться на неограниченные расстояния, не сталкиваясь с реальными физическими препятствиями.



Рисунок 4.5.32. Устройство сфера VirtuSphere [136]

Общим выводом относительно применения технологии формирования виртуальной и смешанной реальности является следующее – использование данных технологий обеспечивает значительные преимущества. Также нужно отметить и тот факт, что указанное оборудование может использоваться пользователями до 3 часов в день без вреда для человека. При более продолжительной работе производители рекомендуют 30-минутные перерывы, что позволяет использовать системы VR даже при длительном тренинге.

#### 4.5.7. Смешанная реальность (Mix Reality)

Технологии формирования виртуальной реальности фактически воссоздают полностью искусственный мир. В данной главе рассматриваются не менее интересная технология формирования смешанной реальности, отличающейся от виртуальной тем, что она вносит отдельные искусственные элементы в восприятие реального мира (рисунок 4.5.33.).

Технологии смешанной реальности (Mix Reality) подразделяются на дополненную **реальность** (Augmented Reality) – дополнение реальности любыми виртуальными элементами и дополненную **виртуальность** (Augmented Virtuality) – добавление изображения реальных объектов в виртуальную среду.

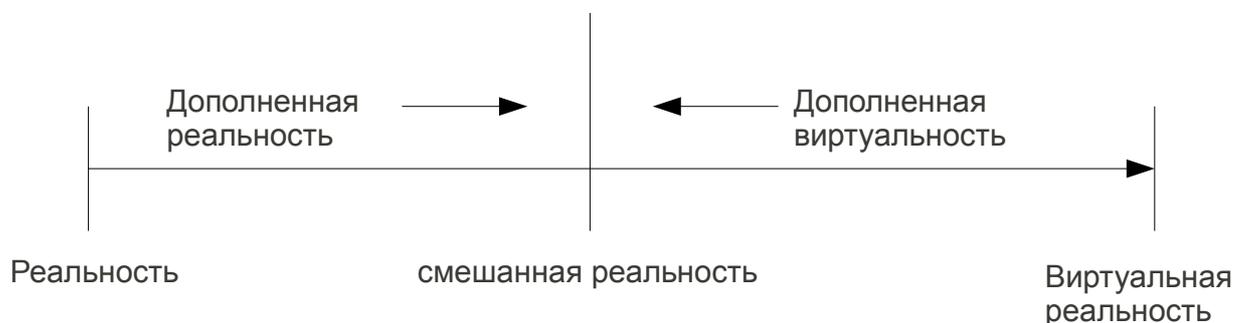


Рисунок 4.5.33. Смешанная реальность

Очевидные примеры применения технологий смешанной реальности - системы поддержки принятия решения в реальном времени. Например, пожарник в сильно задымленном помещении может ориентироваться на синтезированное изображение здания; механики, при выполнении сложных работ с оборудованием, могут видеть пример правильно выполняемых действий (рисунок 4.5.34 - работа автомеханика по замене деталей автомобиля); инженер при обзоре технологического оборудования может видеть все параметры технического процесса, чертежи оборудования, и т. д.

Реализация технологии смешанной реальности может быть выполнена различными способами. При использовании шлема или очков виртуальной реальности можно убрать переднюю часть шлема и поставить вместо нее полупрозрачное зеркало. Таким образом, человек будет наблюдать

совмещенное изображение, наполовину состоящее из реального, наполовину из синтезируемого трехмерного изображения. Многие шлемы виртуальной реальности уже рассчитаны на такую возможность, например, шлем Cybermind Visette45 SXGA (рисунок 4.5.35). Другим способом является установка на шлеме виртуальной реальности видеокамер и смешивание изображения, получаемого с видеокамер и изображения, синтезируемого графической системой имитатора. На рисунке 4.5.36 показаны два возможных варианта реализации технологии смешанной реальности.

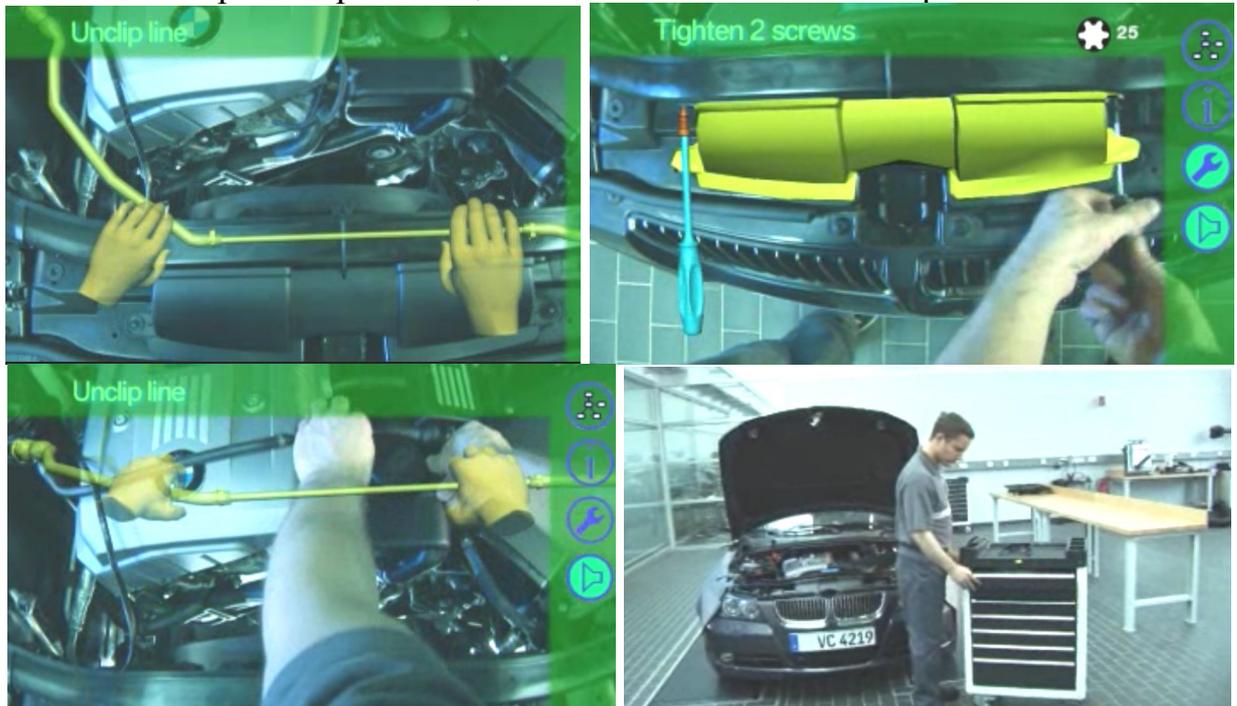


Рисунок 4.5.34. Пример правильно выполняемых действий (BMW Augmented Reality [92])



Рисунок 4.5.35. Шлем Cybermind Visette45 SXGA в режиме смешанной реальности - слева и виртуальной реальности — справа



Рисунок 4.5.36. Система Rockwell Collins Sim Eye SR100 и использование камеры

#### 4.5.8. Ограничения проводной передачи данных

Использование устройств формирования виртуальной реальности требует наличие множества проводных подключений для передачи аудио, видео сигналов, подключения виртуальных перчаток, трекеров и т. д. Необходимость подключения множества проводов вызывает проблему ограниченной областью допустимых перемещений и другие технические сложности для реализации передачи сигнала. Например, при использовании устройства VirtuSphere проводная передача сигналов не возможна в принципе.



Рисунок 4.5.37. «Классическое» проводное подключение (видео, аудио сигнал, перчатка) ограничивает перемещения в пределах 1,5 метров.

На сегодняшний день некоторые устройства VR, например перчатки, достаточно часто имеют в стандартной комплектации модули для беспроводной связи, но для большинства других устройств необходимо решать проблему организации беспроводной связи самостоятельно. Фактически, для свободного перемещения обучаемого внутри помещения, необходимо реализовать передачу следующих типов сигналов:

- Беспроводная передача видео и аудио сигнала на шлем-дисплейные системы
- Беспроводная передача сигналов интерфейса USB
- Выбрать соответствующую систему захвата движения

Для передачи видео и аудио сигнала на шлем-дисплейные системы можно использовать отдельные системы для передачи видео-сигнала (например IOGEAR Wireless USB to VGA Kit, ) вместе с беспроводными наушниками. Также существуют множество решений для беспроводной передача как видео и аудио сигналов, например комплекты устройств для беспроводной передачи компонентных, видео и аудио сигналов Gefen GTV-WVGA-LR, Gefen EXT-WHDMI, Avocent Emerge MPX1550 и т.д.



Рисунок 4.5.38. Устройства для беспроводной передаче видео и аудио сигналов. Gefen EXT-WHDMI и Avocent Emerge MPX1550 .

Большинство устройств беспроводной передачи видео и аудио сигналов обеспечивают передачу на расстояние до 30 метров и более, поддерживают сигналы в форматах высокой четкости до 1080p и сигналы компьютерной графики с разрешением до 1280x1024. Кроме того, некоторые производители шлем дисплейных систем (например Wireless Video Link фирмы Sensics [<http://sensics.com/products/WirelessVideo.php>]) предусматривают такую возможность в качестве стандартной опции к устройству.

Подключение периферийных устройств с интерфейсом USB к компьютеру на расстоянии также реализуется с использованием специальных систем - комплектов устройств для беспроводной передачи сигналов интерфейса, например Gefen EXT-WUSB. Как и для видеосигнала, такие устройства обеспечивают связь на расстоянии до 30 метров и более, а также имеют в своем составе USB концентраторы (как правило 4-х портовые).



Рисунок 4.5.39. Комплект устройств для беспроводной передачи сигналов интерфейса USB 2.0 Gefen EXT-WUSB

Использование систем позиционирования (захвата движения) в помещении не вызывает каких либо проблем при рабочей зоне радиусом до 5 метров. При больших размерах не удастся использовать ультразвуковые и магнитные системы, т. к. их рабочий диапазон, как правило, ограничен 10 метрами. Например, при использовании оптических систем возможно использовать большее количество камер.

Фактически, используя имеющееся оборудование, можно обеспечить работу обучаемого в шлем-дисплейной системе в рабочей области до 30 метров. При необходимости увеличения рабочей области необходимо использовать либо устройства типа VirtuSphere или использовать механизмы формирования VR вне помещений.

Применение систем VR вне помещений принципиально отличается отсутствием стационарных компонентов, т.е. как правило все оборудование (шлем, перчатки, система позиционирования, компьютер (ноутбук) и автономная система питания (аккумуляторы) находятся на самом обучаемом, а не стационарно).



Рисунок 4.5.40. Применение систем VR вне помещений (Wearable Computer Lab)

Построение таких систем требует использования «мобильных» систем позиционирования, т.е. GPS-навигаторов для определения глобальной позиции обучаемого в пространстве совместно с механическими системами захвата движения (экзо-скелет, инерциальные системы) для определения относительного положения и ориентации рук, головы и т.д. Для связи с другими системами может использоваться WiFi или аналогичные технологии.

#### **4.5.9. Организация взаимодействия имитатора с устройствами VR**

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, InterSense, 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 технического обеспечения имитаторов.

Организация взаимодействия программного обеспечения имитаторов с устройствами VR возможно осуществить следующими способами:

1. Использование комплекта разработчика (SDK) каждого устройства VR, предоставляемого производителем оборудования. Как правило, это динамические или статические библиотеки и интерфейсные заголовочные файлы (для C++). В таком случае необходимо реализовать поддержку каждого устройства по отдельности путем добавления соответствующего программного кода.
2. Использовать VRPN (Virtual Reality Peripheral Network), если устройство имеет VRPN сервер. Множество производителей оборудования VR предоставляют VRPN серверы для своего оборудования. В таком случае необходимо реализовать клиентскую часть в коде имитатора. Кроме того необходимо иметь соответствующие конфигурационные файлы. Библиотека VRPN свободно доступна на сайте <http://www.cs.unc.edu/Research/vrpn/> и содержит множество примеров. Узнать, поддерживает ли оборудование VRPN можно либо на сайте производителя оборудования либо на главной странице VRPN.
3. Если производитель оборудования VR не предоставляет сервер VRPN возможно написание собственного сервера VRPN, используя комплект разработчика (SDK) устройства VR, предоставляемого производителем оборудования. Такие примеры также доступны на странице <http://www.cs.unc.edu/Research/vrpn/>.
4. Создание федерата (IEEE 1516), т.е. отдельного приложения, использующего SDK для взаимодействия с устройством VR и интерфейс RTI для обмена данными с имитатором(и).
5. Любая комбинация вышеперечисленных пунктов.

## 4.6. Построение систем распределенной имитации

В данной главе рассматриваются вопросы построения распределенных имитационных систем на основе стандарта 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. Фактически федератами могут быть как имитаторы, так и реальное оборудование или специальное программное обеспечение. Единственным требованием является обеспечение единого интерфейса для взаимодействия. Федераты могут управлять объектами, меняя (обновления) или получая (отображая) значения их атрибутов. В частности, пользователи имитаторов также являются федератами. Совокупность всех участвующих в имитационном моделировании федератов образует федерацию.

Термин «интеракция» определяется как мгновенное сообщение (событие), не привязанное к конкретному экземпляру объекта или федерату, происходящее на уровне федерации (т.е. невозможно определить отправителя). Интеракции, в отличие от состояний объектов, не поддерживаются в системе постоянно, а имеют мгновенную природу. Примером может служить односторонняя широковещательная передача текстового сообщения всем заинтересованным участникам федерации. Иерархическая схема федерации (HLA / IEEE 1516) показана на рисунке 4.6.1.

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 4.6.2. Механизм организации распределенной имитации и совместной работы представлен на рисунке 4.6.3.

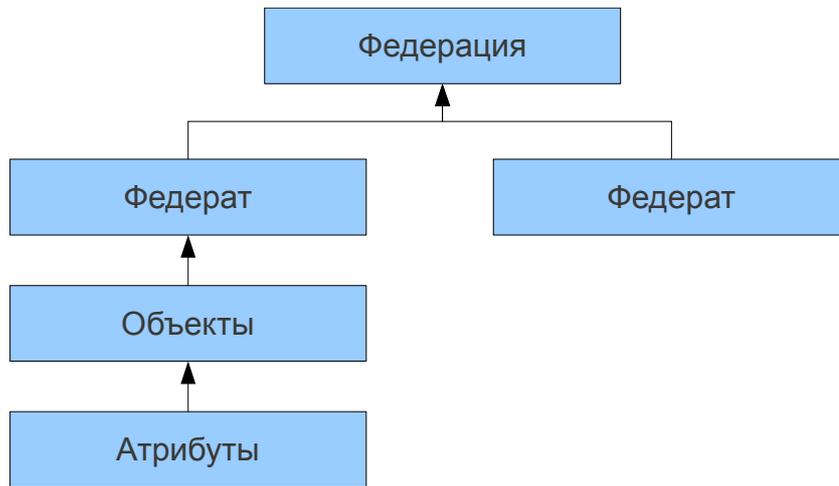


Рисунок 4.6.1. Иерархическая схема федерации

Объекты в имитаторе, это, как правило, 3D модели, источники звука, соответственно атрибутами таких объектов являются положение и ориентация в пространстве, размер, громкость и т.д. Применительно к имитаторам, в качестве интеракций можно рассматривать действия пользователя (федерата), например – включение какой-либо клавиши.

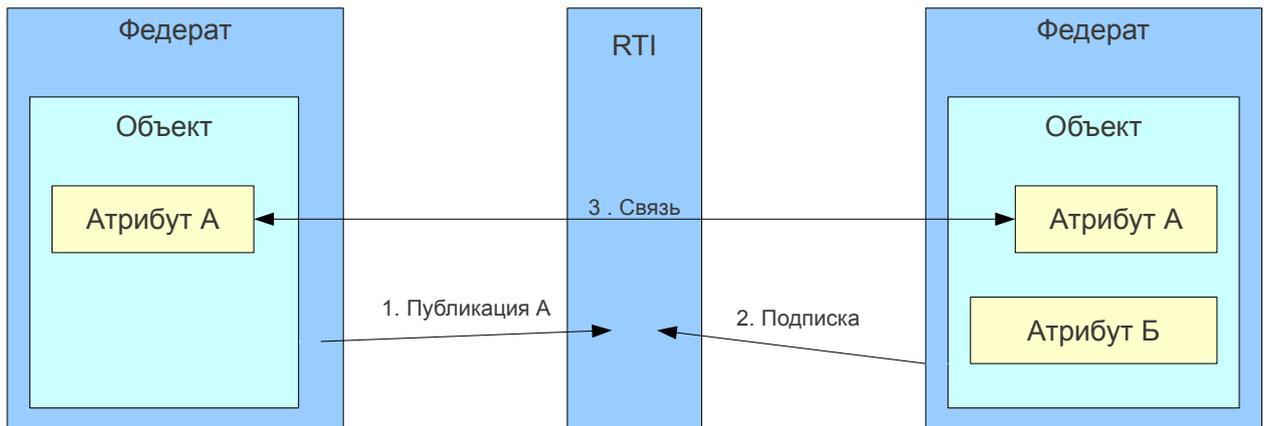


Рисунок 4.6.2. Общий механизм взаимодействия (RTI)

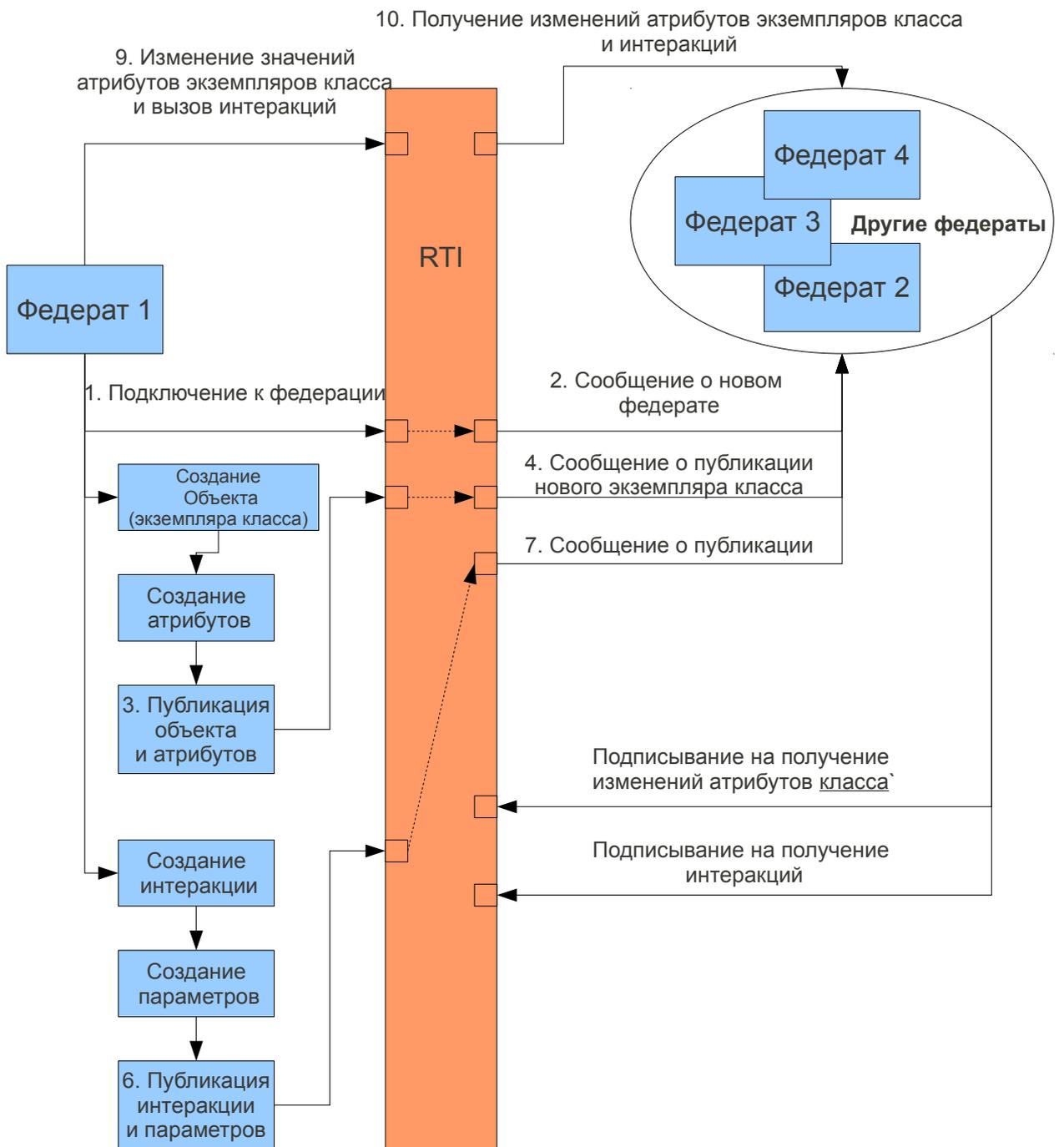


Рисунок 4.6.3. Общий механизм взаимодействия (RTI)

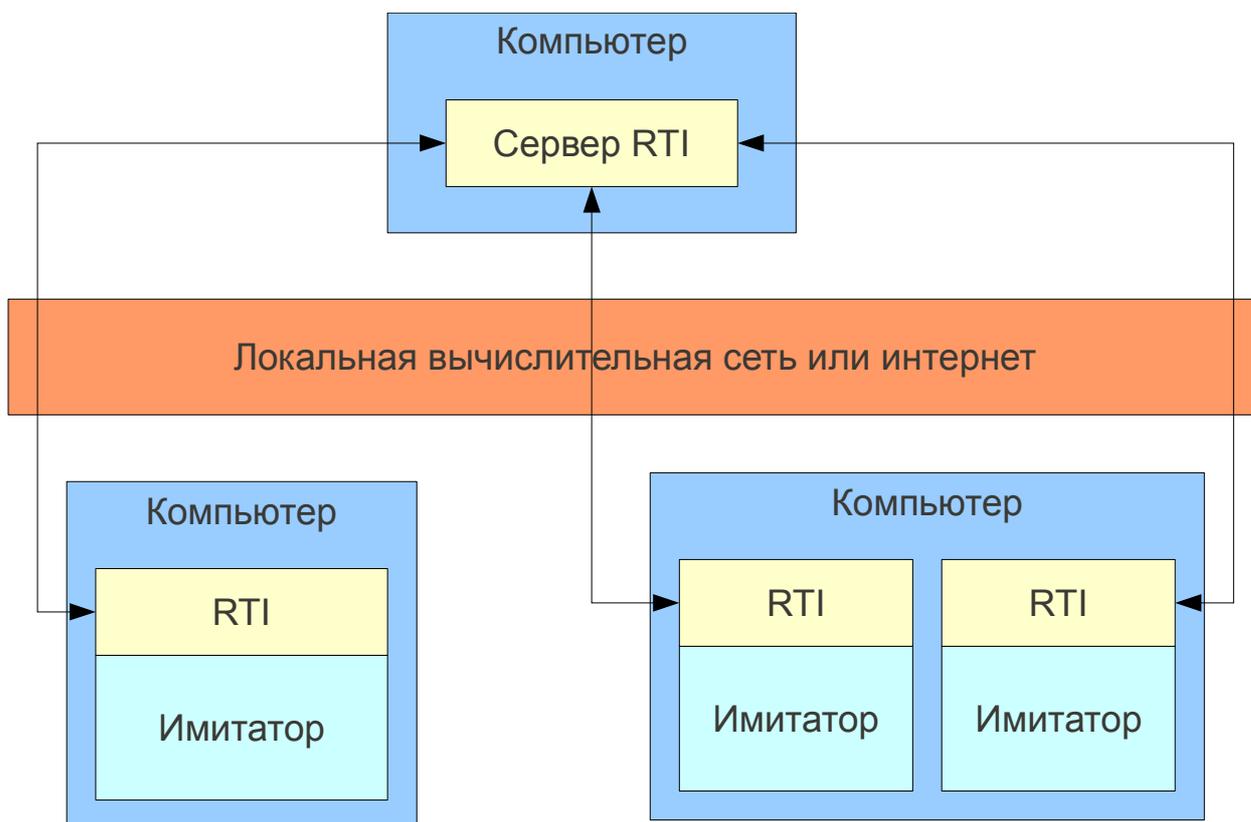


Рисунок 4.6.4. Организация распределенной имитации и совместной работы

При создании распределенных имитационных систем, взаимодействующих через RTI, необходимо учитывать следующие важные особенности. Все элементы федератов и федерации должны быть документированы в определенных файлах (для описания федерации используются FOM (federation object model) файлы), федераты описываются в SOM-файлах (Simulation Object Model). Все данные хранятся только в федератах, RTI не хранит никаких данных, а только передает их. HLA позволяет в любой момент времени только одному федерату изменять значение какого либо атрибута (для передачи прав имеется специальный механизм управления правами). Федераты могут управлять локальным временем, в HLA используются различные внутренние механизмы управления временем (синхронизацией).

В целом, стандарт IEEE 1516 затрагивает огромное количество вопросов, связанных с созданием распределенных имитационных систем, таких как сохранение состояния федерации, возобновление состояния, различные механизмы синхронизации времени, области взаимодействия федератов и т.д. В связи со значительным объемом самого стандарта и, тем более, объемом программного кода для демонстрации всех аспектов, описанных в стандарте, далее будет продемонстрирована только принципиальная реализация «базовых» возможностей (рисунок 4.6.5.).

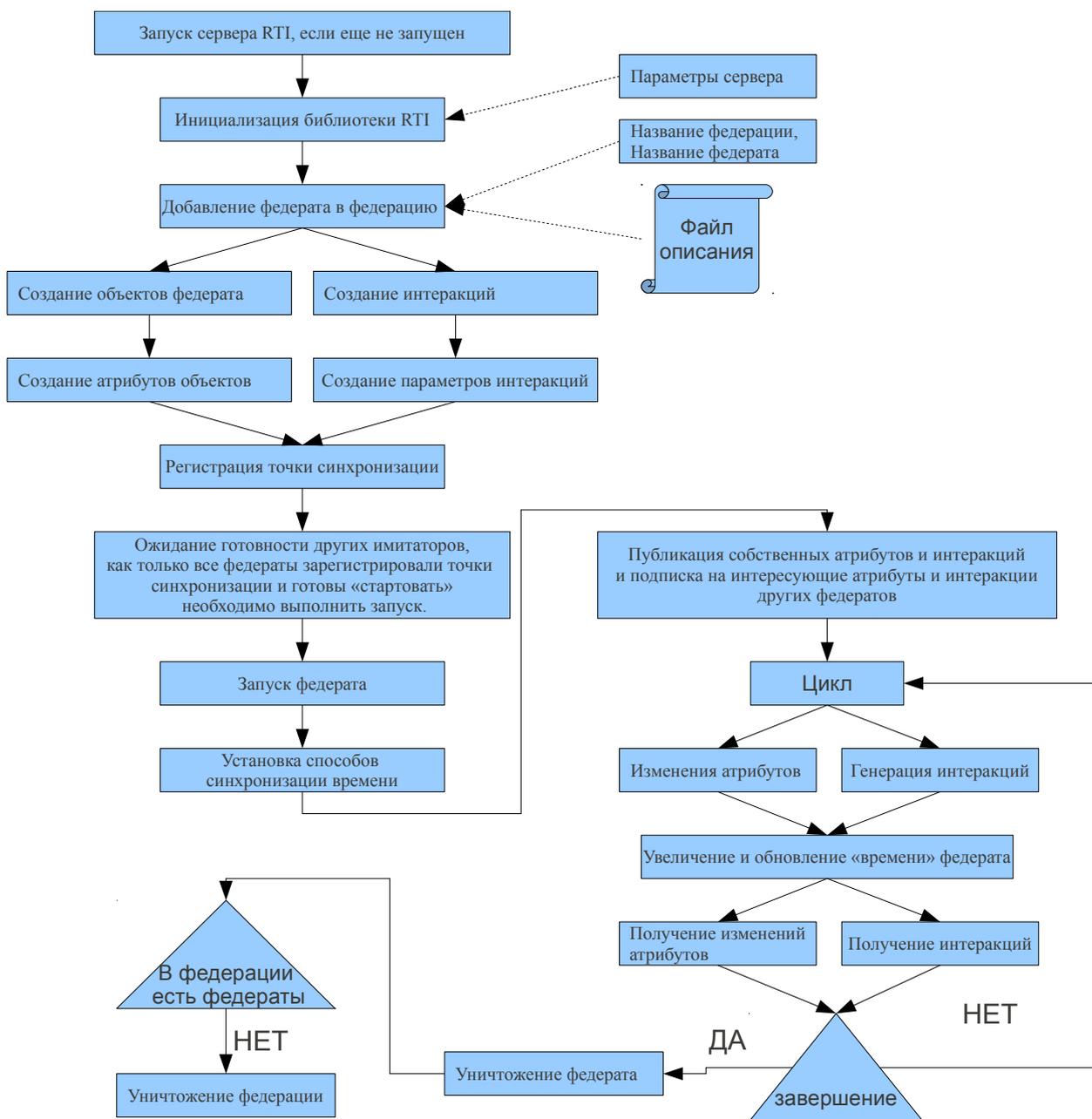


Рисунок 4.6.5. Блок-схема реализации базовых возможностей IEEE 1516

Более подробное изложение реализации сопряжено с необходимостью представления достаточно большого листинга программы, по этой причине, читатель может самостоятельно воспользоваться примерами программ, которые поставляются вместе с программным обеспечением для поддержки RTI. Достаточно простые примеры, содержащие множество комментариев, входят в состав библиотеки The Portico Project и свободно доступны на сайте <http://porticoproject.org/>. Практически все коммерческие реализации стандарта также содержат в своем составе множество примеров.

В качестве примера можно рассмотреть следующую федерацию, состоящую из двух федератов: радиоуправляемая машина и пульт управления. Предположим, что управления осуществляется путем установки оборотов каждого из 4-х двигателей машины и поворота передних колес. На машине установлен датчик, определяющий расстояние до препятствия и

передающий сигнал на пульт управления. Для этого необходимо определить два класса объектов, cYpravlenie для пульта управления и cDatchik для датчика дистанции. Атрибутами класса cYpravlenie являются wheel1, wheel2, wheel3, wheel4, wheel\_angle. Атрибутом класса cDatchik является distance. Далее показан файл описания федерации, в формате HLA 1.3 (интеракции приведены как пример).

```
;; комментарий – файл федерации (FED файл) для HLA 1.3

(Fed
  (Federation Test)
  (FedVersion v1.3)
  (Federate "fed" "Public")
  (Spaces
    (Space "Geo"
      (Dimension X)
      (Dimension Y)
    )
  )
)

(Objects
  (Class cYpravlenie
    (Attribute wheel1 reliable timestamp)
    (Attribute wheel2 reliable timestamp)
    (Attribute wheel3 reliable timestamp)
    (Attribute wheel4 reliable timestamp)
    (Attribute wheel_angle reliable timestamp)
  )
  (Class cDatchik
    (Attribute distance reliable timestamp)
  )
)

(Interactions
  (Class reaction BEST_EFFORT RECEIVE
    (Sec_Level "Public")
    (Parameter dx)
    (Parameter dy)
    (Parameter dz)
  )
)
)
```

Далее, имитатор, представляющий управление создает федерат и объект, на основе класса cYpravlenie. Имитатор, представляющий машину, также создает федерат и объект, на основе класса cDatchik. Также федераты подписываются на интересующие их изменения, т.е. федерат-машина подписывается на получение данных объектов от класса cYpravlenie (т.е. на класс cYpravlenie), а федерат-управление на класс cDatchik. Таким образом

машина получает изменения от пульта управления, а пульт получает данные от датчика в машине.

Построение более сложных имитационных систем предполагает достаточно серьезное проектирование. Сначала необходимо определить принципиальный состав федерации в первом приближении, т. е. федераты, объекты федератов и атрибуты объектов. При составлении схемы федерации необходимо учитывать и аппаратные компоненты распределенной имитационной систем, т. е. датчики и управляющие аппаратные устройства также должны быть представлены в виде федератов, объектов и атрибутов. На рисунке 4.6.6. показана структура федерации имитатора установки штангового скважинного насоса, созданного в НИИ ЭОР ТюмГНГУ.

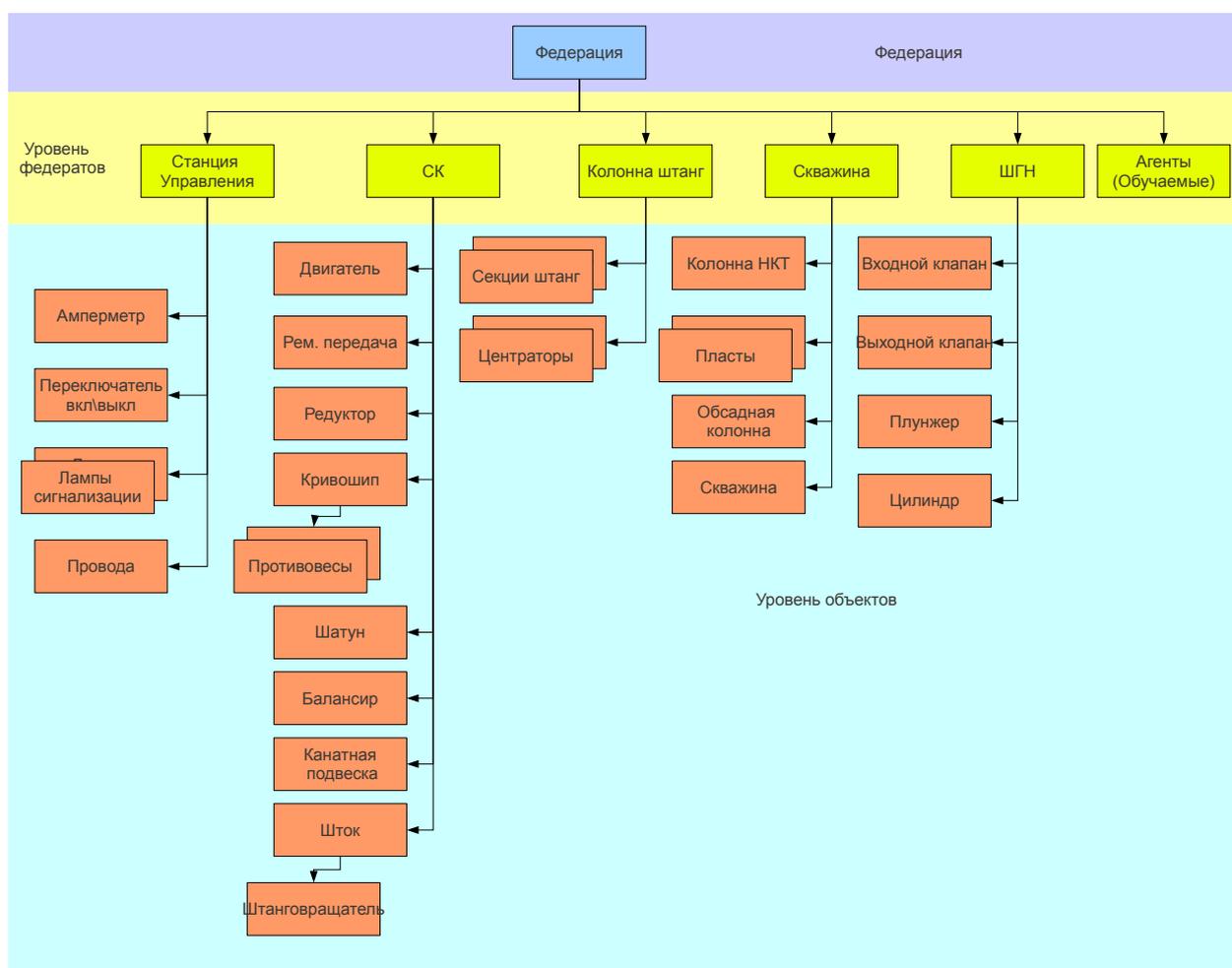


Рисунок 4.6.6. Структура федерации

После состава федерации необходимо определение связей, т. е. отражения того, какие федераты публикуют (т. е. изменяют) атрибуты объектов, а какие подписываются на изменения этих атрибутов. Как правило на этапе определения связей устанавливается большое количество «поправок» для структуры федерации. После необходимого количества итераций «уточнения» структуры и связей, проектировщики должны установить факт «правильности модели» федерации. Пример определения связей показан на рисунке 4.6.7 (объекты, не имеющие связей скрываются).

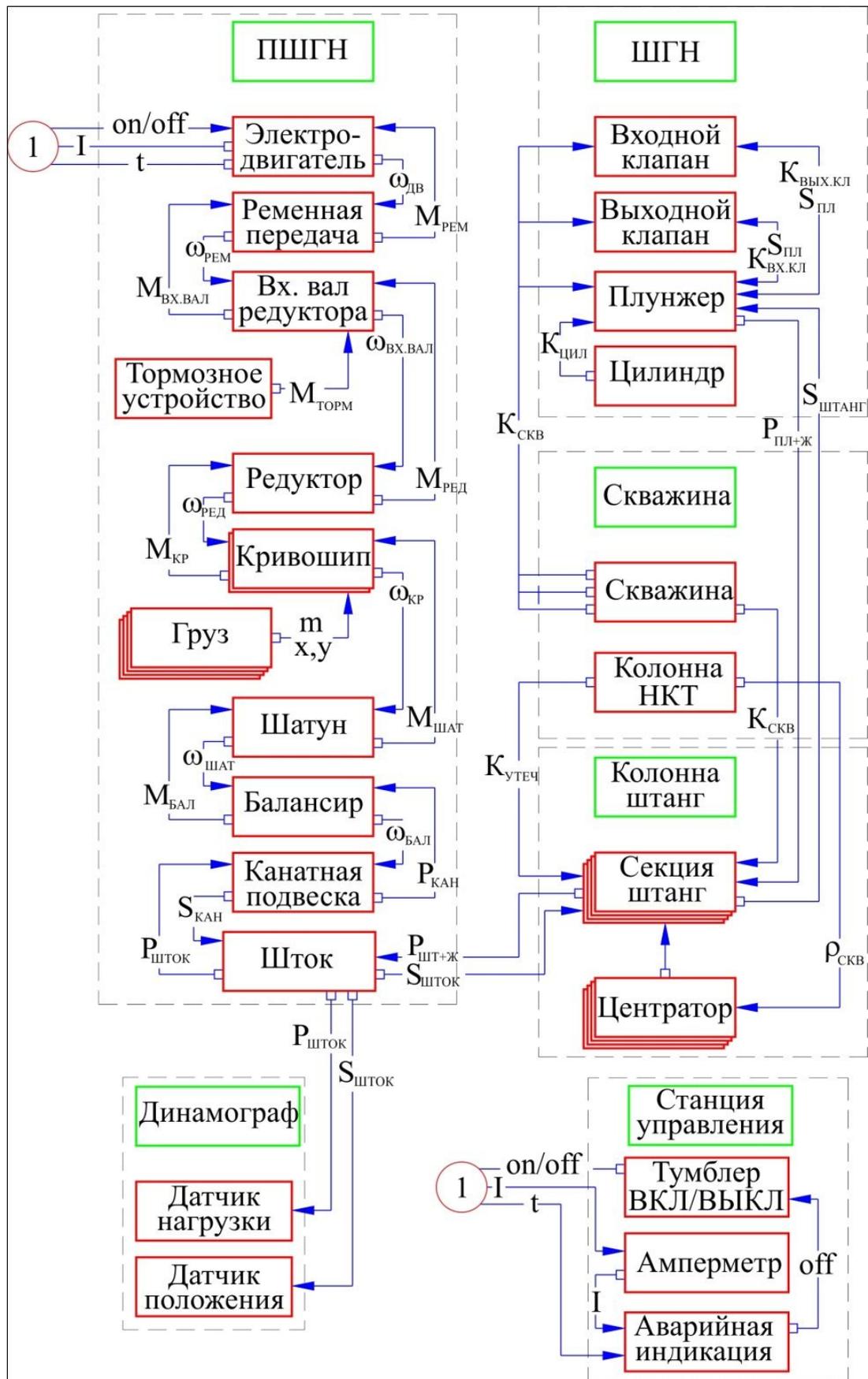


Рисунок 4.6.7. Пример первого этапа определения связей

На следующем этапе происходит определение необходимого количества компьютеров и соответствующее распределение федератов.

Например, федерат «А» будет функционировать на компьютере «1», федераты «В, С, D» будет функционировать на компьютере «2».

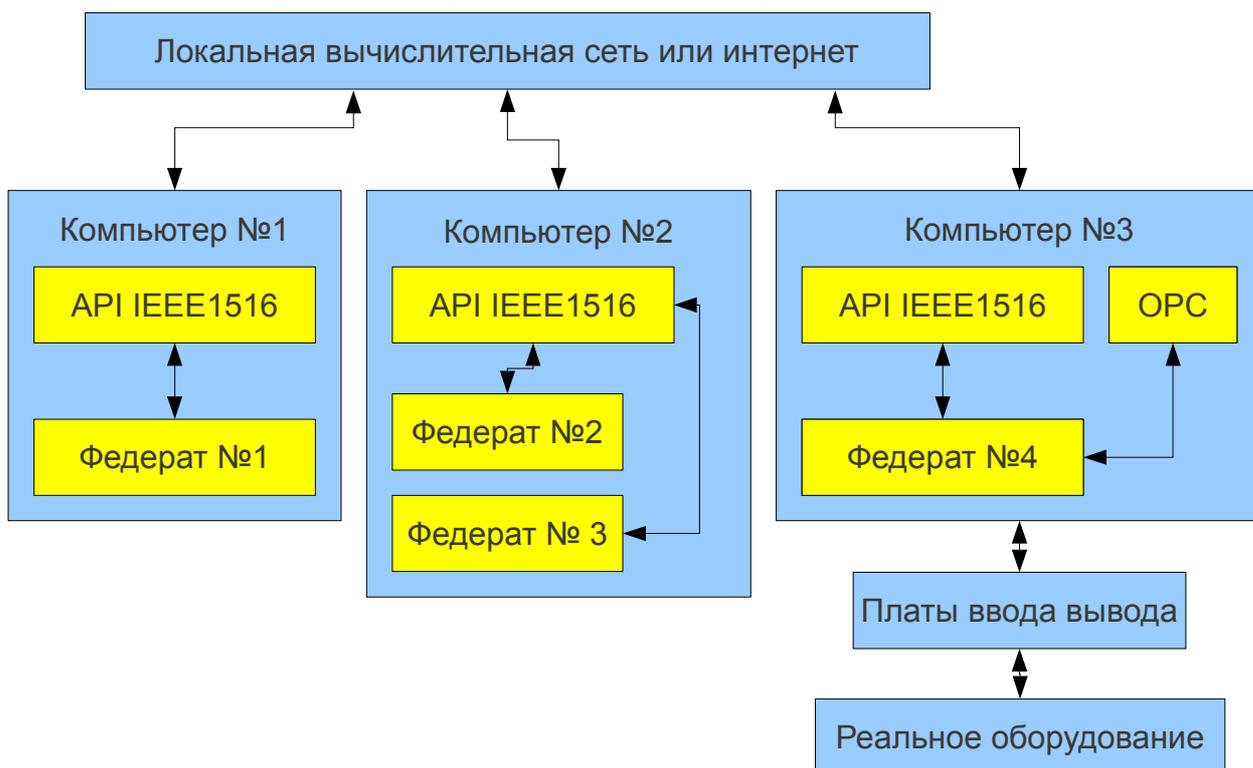


Рисунок 4.6.8. Распределение федератов по компьютерам.

Как правило распределение федератов основано на экономичности их математической модели, если математические модели федератов не требуют значительных вычислительных ресурсов, то можно использовать один компьютер, если математические модели федератов требуют значительных вычислительных ресурсов, необходимо определение числа компьютеров и соответствующее распределение федератов.

На следующем этапе составляются файл описания федерации (см. пример выше), отражающий утвержденную «правильную модели» федерации. Затем создается программная реализация федератов, путем написания соответствующего кода для взаимодействия с RTI и кода, реализующего математическую модель федерата. На заключительном этапе необходимо тестирование распределенной имитационной системы, выявление ошибок, «перегрузок» определенных компонентов в системе (на основе статистики), правильность синхронизации и т. д.

Статистика по каждому федерату отдельно, так и по федерации в целом показывает количество и типы выполненных запросов и позволяет определить возможные проблемы в ходе работы системы.

Пример статистики по федерату:

```
RTIA: Statistics (processed messages)
Joined federation as car_federate
Synchronization point announced: ReadyToRun
Achieved sync point: ReadyToRun, waiting for federation...
Federation Synchronized: ReadyToRun
```

```

Time Policy Enabled
Published and Subscribed
Add instance object: obj_datchik
Removing temporary file _RTIA_3033_ExampleFederation.fed on
resign federation.
Resigned from Federation
Didn't destroy federation, federates still joined
List of federate initiated services
-----
1 Message::CLOSE_CONNEXION (MSG#1)
1 Message::DESTROY_FEDERATION_EXECUTION (MSG#3)
1 Message::JOIN_FEDERATION_EXECUTION (MSG#4)
1 Message::RESIGN_FEDERATION_EXECUTION (MSG#5)
1 Message::SYNCHRONIZATION_POINT_ACHIEVED (MSG#10)
1 Message::PUBLISH_OBJECT_CLASS (MSG#28)
1 Message::SUBSCRIBE_OBJECT_CLASS_ATTRIBUTES (MSG#32)
1 Message::SUBSCRIBE_INTERACTION_CLASS (MSG#34)
1 Message::REGISTER_OBJECT_INSTANCE (MSG#40)
1708 Message::UPDATE_ATTRIBUTE_VALUES (MSG#41)
855 Message::TIME_ADVANCE_REQUEST (MSG#91)
3 Message::GET_OBJECT_CLASS_HANDLE (MSG#112)
6 Message::GET_ATTRIBUTE_HANDLE (MSG#114)
1 Message::GET_INTERACTION_CLASS_HANDLE (MSG#116)
120516 Message::TICK_REQUEST (MSG#141)
2564 Message::TICK_REQUEST_NEXT (MSG#142)
List of RTI initiated services
-----
1 NetworkMessage::ANNOUNCE_SYNCHRONIZATION_POINT (MSG#13)
1 NetworkMessage::FEDERATION_SYNCHRONIZED (MSG#15)
1 NetworkMessage::DISCOVER_OBJECT (MSG#43)
1711 NetworkMessage::REFLECT_ATTRIBUTE_VALUES (MSG#45)
49 NetworkMessage::GET_FED_FILE (MSG#84)
Number of Federate messages : 125662
Number of RTIG messages : 1763
RTIA: Federate destroyed
TCP Socket 3 : total = 122015 Bytes sent
TCP Socket 3 : total = 340249 Bytes received
UDP Socket 4 : total = 0 Bytes sent
UDP Socket 4 : total = 0 Bytes received

```

Пример статистики по федерации в целом:

```

CERTI RTIG up and running ...
New federation: ExampleFederation
Looking for FOM file...
  Trying... open_test.fed --> cannot access.
  Now trying.../usr/local/share/federations/open_test.fed...
opened.

TCP Socket 7 : total = 340400 Bytes sent
TCP Socket 7 : total = 122015 Bytes received
UDP Socket 4 : total = 0 Bytes sent
UDP Socket 4 : total = 0 Bytes received
TCP Socket 6 : total = 258616 Bytes sent
TCP Socket 6 : total = 283044 Bytes received

```

```
UDP Socket 4 : total = 0 Bytes sent
UDP Socket 4 : total = 0 Bytes received
```

#### 4.6.1. Синхронизация времени

Как показала практика проектирования и реализации распределенных имитационных систем в НИИ ЭОР ТюмГНГУ, наибольшее затруднение вызывают вопросы, связанные с управлением течения времени (синхронизация времени).

Как правило, при установке способа синхронизации времени федерата задаются два параметра - TimeRegulating и TimeConstrained. Практически данные режимы влияют на процесс получения сообщений от других федератов и напрямую связаны с механизмом упорядочивания сообщений:

- по порядку получения (сообщения передаются в порядке их получения без контроля времени);
- приоритетный (поступающие сообщения располагаются в очереди с приоритетами, для определения приоритета сообщения используется его временная метка);
- каузальный (обеспечивает отправку сообщений федератам в порядке, согласованном с предшествующими и последующими событиями, представленными этими сообщениями);
- по временным меткам (при использовании этого сервиса сообщения будут переданы федератам в порядке их временных меток).

Также стоит отметить возможность использования различными федератами различных методов синхронизации.

#### 4.6.2. Программные библиотеки для реализации RTI

Список доступных реализации HLA\IEEE1516 доступен на странице [http://en.wikipedia.org/wiki/Run-Time\\_Infrastructure](http://en.wikipedia.org/wiki/Run-Time_Infrastructure). На сегодняшний день доступно достаточно большое количество реализаций, как коммерческих, так и не-коммерческих. Большинство из реализаций выполнены на языках JAVA и C++ (именно эти языки используются в стандарте), но также существуют реализации для MatLab, Питона (проект CERTI) и др. Данные о доступных реализации приведены в таблице 4.6.1 и 4.6.2.

Таблица 4.6.1. Коммерческие реализации

CAE RTI	CAE Inc. <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/CAE_Inc">http://en.wikipedia.org/wiki/CAE_Inc</a> .
Chronos RTI	Magnetar Games <a href="http://www.magnetargames.com/Products/Chronos/">http://www.magnetargames.com/Products/Chronos/</a>
MÄK High Performance RTI	MÄK Technologies <a href="http://www.mak.com/products/rti.php">http://www.mak.com/products/rti.php</a>
HLA Direct	General Dynamics C4 Systems <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/General_Dynamics_C4_Systems">http://en.wikipedia.org/wiki/General_Dynamics_C4_Systems</a>

Openskies RTI	Cybernet Systems <a href="http://www.openskies.net/">http://www.openskies.net/</a>
Pitch pRTI	Pitch Technologies <a href="http://www.pitch.se/products/pitch-prti/pitch-prti-overview.html">http://www.pitch.se/products/pitch-prti/pitch-prti-overview.html</a>
RTI NG Pro	Raytheon Virtual Technology Corporation <a href="http://www.raytheonvtc.com/products.jsp">http://www.raytheonvtc.com/products.jsp</a>

Таблица 4.6.2. Не-коммерческие реализации

CERTI	ONERA <a href="http://savannah.nongnu.org/projects/certi/">http://savannah.nongnu.org/projects/certi/</a> <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/ONERA">http://en.wikipedia.org/wiki/ONERA</a>
The Portico Project	littlebluefrog labs <a href="http://porticoproject.org/">http://porticoproject.org/</a>
GERTICO (German RTI based on Corba)	Fraunhofer IITB <a href="http://www.iitb.fraunhofer.de/servlet/is/2920/">http://www.iitb.fraunhofer.de/servlet/is/2920/</a>
Rendezvous RTI	National University of Science and Technology (NUST), Pakistan <a href="http://www.mcs.edu.pk/PDC-RG.html">http://www.mcs.edu.pk/PDC-RG.html</a>
Open HLA (ohla)	<a href="http://sourceforge.net/projects/ohla">http://sourceforge.net/projects/ohla</a>

При выборе библиотеки отдельное внимание следует уделять «сертификации» на поддержку IEEE 1516. Как правило, все коммерческие реализации имеют «сертификат», свободные — не имеют (многие из свободных реализаций готовятся к такой сертификации).

НИИ ЭОР ТюмГНГУ для поддержки инфраструктуры распределенных приложений использует проект CERTI от ONERA (Сайт проекта <http://www.cert.fr/CERTI/>).

#### 4.6.3. Замеры скорости взаимодействия федератов через RTI

Такие тесты очень важны при проектировании распределенных имитационных систем, особенно, если различные федераты расположены в различных вычислительных сетях, и тем более важны при взаимодействии федератов через сеть Internet.

Для достижения минимальных временных задержек необходимо выбирать сервер с наименьшими временными задержками прохождения пакетов (можно проверить при помощи команды ping). В качестве примера рассмотрим работу одной из созданных в НИИ ЭОР ТюмГНГУ распределенных систем. Используется 100 мегабитная сеть (задержки ping'a < 0.231 ms), временная синхронизация отсутствует (для уменьшения задержек внутри RTI), 2 компьютера, сервер (rtig) запущен на одной из машин. Параметры федерации - 2 объекта содержит по 5 атрибутов (по

одному объекту на федерат/компьютер), взаимодействие между федератами двухстороннее. В результате обработки замеров получена зависимость количества взаимодействий в секунду от размера передаваемых данных (рисунок 4.6.9.).

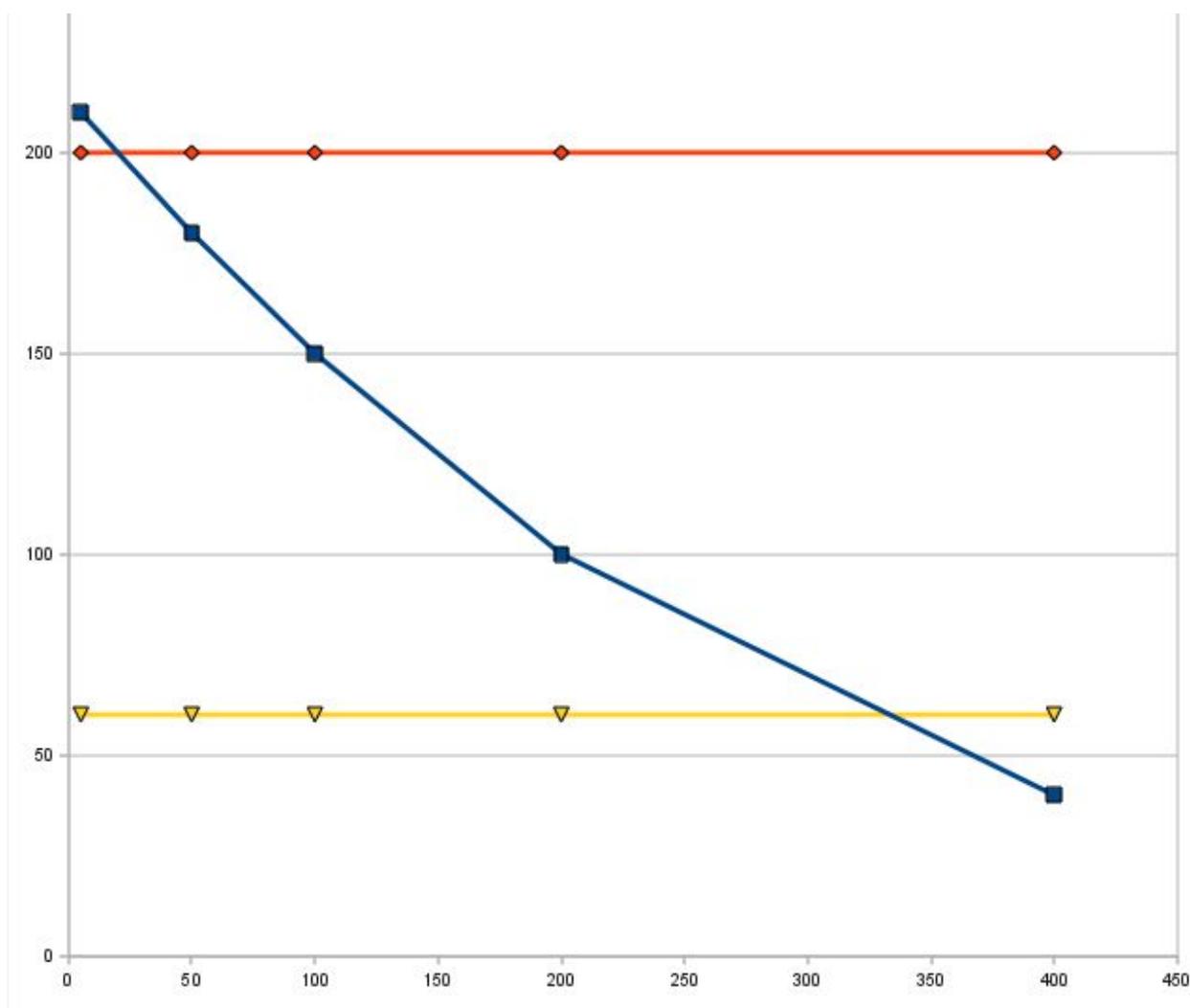


Рисунок 4.6.9. Зависимость количества взаимодействий в секунду от размера передаваемых данных: по оси X — суммарный объем данных (килобайт); по оси Y — количество взаимодействий в секунду.

Результаты таких замеры позволяют сделать множество выводов, например, если имитатор должен работать в заданном «реальном времени», т.е. обновляться, например, не менее 60 раз в секунду, то за одно взаимодействие (для Fast Ethernet) должно передаваться не больше 300 килобайт (если например 5 атрибутов, то по 60 килобайт каждый). В тоже время, 300 килобайт данных, передаваемых 60 раз в секунду, также указывает на возможность использования RTI для передачи голосовых и видео данных между имитаторами, а также для взаимодействия с устройствами VR.

При взаимодействии федератов через Internet минимальные задержки в большей степени определяются задержками передачи пакетов. Например, если задержки прохождения пакета между сервером и имитатором

составляют 300 мсек, то максимальное количество взаимодействий в секунду не будет превышать 3.

Применение более скоростных решений, таких как IroIB (IP over InfiniBand, RFC 4392), 10G Ethernet, Myrinet-10G и др. позволит увеличить пропускную способность и значительно снизить задержки (существующие решения позволяют производить 30 миллионов взаимодействий в секунду и более [1] ) (таблица 4.6.3.,4.6.4.,4.6.5., рисунок 4.6.10.) [46].

Таблица 4.6.3.Пропускная способность и временные задержки существующих высокоскоростных интерфейсов

Название	пропускная способность	Задержки
Fast Ethernet	Пиковая пропускная способность - 100 Mbit/sec (12.5 MB/sec)	>150 мксек
	В рамках MPI достигаются скорости порядка 6-7 MB/sec.	> 2 ms (2000 мксек)
Gigabit Ethernet	Пиковая пропускная способность - 1 Gbit/sec (125 MB/sec), полный дуплекс.	30-100 мксек
	В рамках TCP/IP достигаются скорости порядка 500 Mbit/sec (60 MB/sec), в рамках MPI - до 45 MB/sec	50–150 мксек при работе библиотек MPI
10G Ethernet	Пиковая пропускная способность - 10 Gbit/sec	2-5 мксек
	860 MB/sec	
Myrinet 2000 / Myrinet-10G	Пиковая пропускная способность - 2 Gbit/sec (10 Gbit/sec), полный дуплекс.	Латентность - порядка 2 мксек.
	В рамках TCP/IP достигаются скорости порядка 1.7-1.9 Gbit/sec (9.6 Gbit/sec)	На MPI-приложениях латентность составляет около 10 мксек
InfiniBand	Пиковая пропускная способность каналов 10, 20, 30, 40 Gb/sec, 120 GB/sec ( QDR 12x)	Латентность 1 — 2,6 мксек.
	В рамках TCP/IP достигаются скорости 939 MB/s, 1410 MB/s, 1880 MB/s, 2950 MB/s	На MPI-приложениях латентность составляет до 1.3 мксек

Таблица 4.6.4. Пропускная способность и временные задержки по данным сайта [107]

	InfiniBand		Proprietary		GigE	10GigE
	Mellanox ConnectX IB 40Gb/s PCIe x8	QLogic InfiniPath IB 20Gb/s PCIe x8	Myrinet 10G PCIe x8	Quadrics QNetII		Chelsio T210-CX PCIe x8
Application Latency ( $\mu$ s)	<1	1.3	2.2	1.5	30-100	8.9
Peak Unidirectional Bandwidth (MB/s) for PCIe Gen1	1500	1400	1200	910	125	860
Peak Unidirectional Bandwidth (MB/s) for PCIe Gen2	3400	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Таблица 4.6.5. Пропускная способность решений IroIB по данным сайта [107]

	Mellanox ConnectX InfiniBand			
	IB 10Gb/s PCIe Gen1	IB 20Gb/s	IB 20Gb/s PCIe Gen2	IB 40Gb/s PCIe Gen2
IPoIB Bandwidth	939MB/s	1410MB/s	1880MB/s	2950MB/s

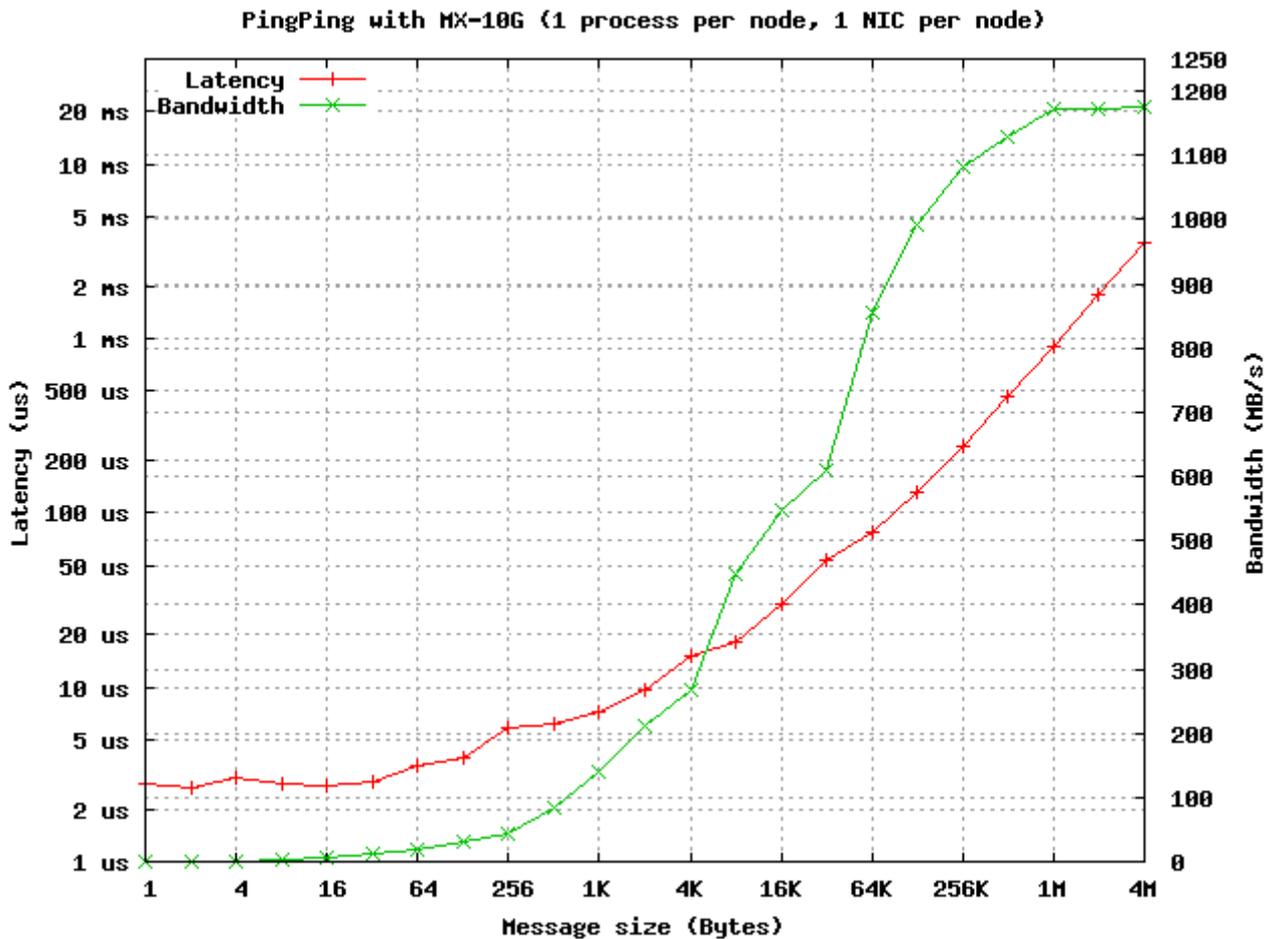


Рисунок 4.6.10. Временные задержки и пропускная способность при взаимодействии двух процессов с использованием сетевого оборудования Myrinet-10G через MPI (*MPI\_Isend/MPI\_Recv/MPI\_Wait*) по данным сайта [123].

#### 4.6.4. Взаимодействие с реальными системами

В качестве федератов могут выступать не только математические модели объектов, т. е. искусственные системы, но и реальные системы и устройства. Примерами могут служить:

- микрофон, предоставляющий звуковые данные;
- видеокамера, предоставляющая видео-данные;
- различные устройства ввода/вывода, например джойстики (рисунок 4.6.10), принтеры и т.д.
- различные датчики и управляющие механизмы, подключенные к компьютеру через платы АЦП/ЦАП;
- реальное оборудования и SCADA-системы (рисунок 2.10.1., глава 1.4.1.) через промышленный интерфейс OPC;
- Интерфейсы к «рабочему столу» реальной операционной системы, функционирующей на отдельном компьютере или виртуальной машине (рисунок 4.6.11.);
- устройств VR (глава 4.5.9.);
- Интерфейс к базе данных и т. д.

Такие возможности представляют значительный интерес для имитаторов и имитационных систем в целом.

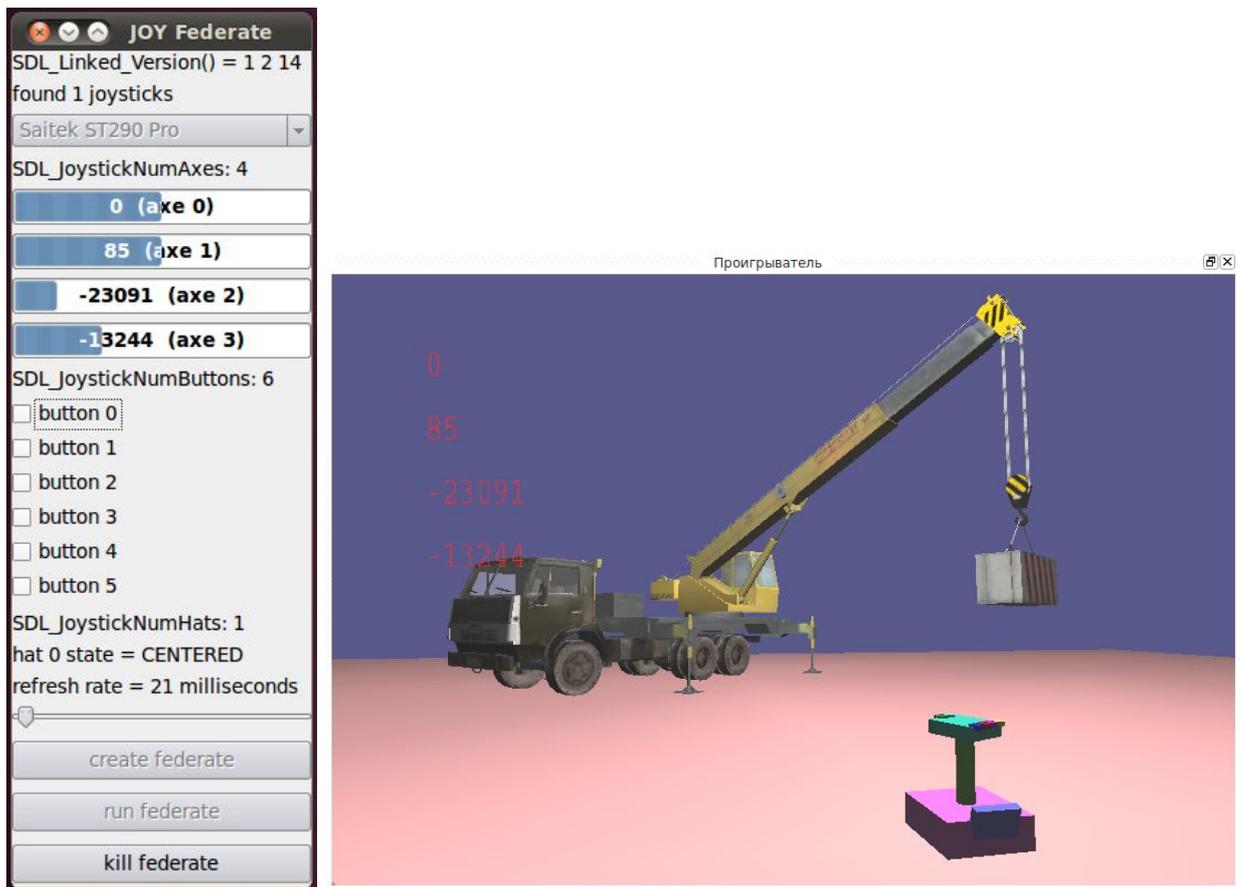


Рисунок 4.6.10. Пример использования в федерации джойстика, представленного соответствующим федератом.

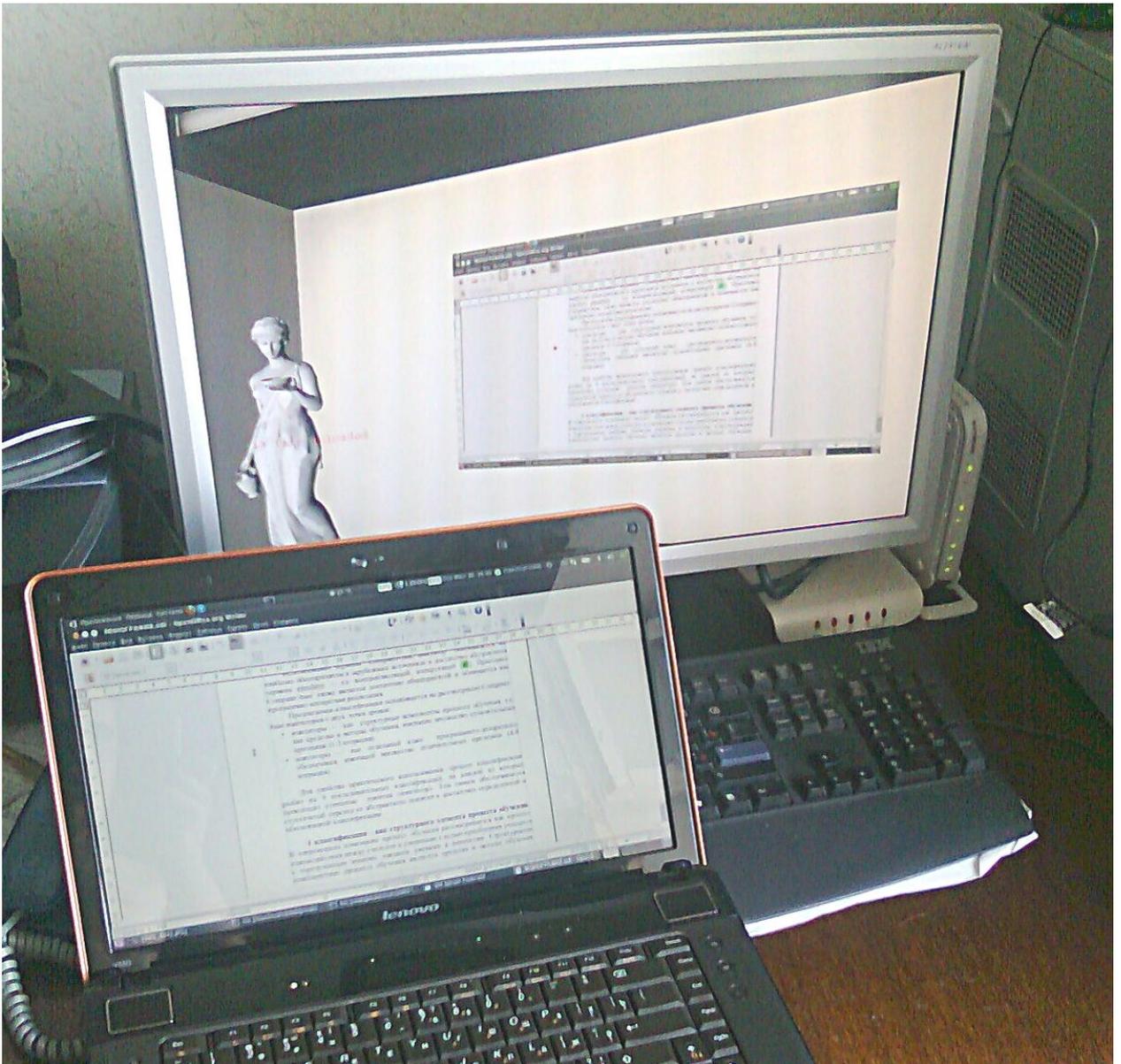


Рисунок 4.6.11. Работа в редакторе Open Office из имитатора (сверху), реальная операционная система функционирует на ноутбуке (снизу).

Для реализации взаимодействия с реальными системами необходимо написание собственных федератов, выполняющие роль посредников, представляющих данные реальных систем в федерацию. Например, федерат, представляющий джойстик должен создавать и обновлять следующие атрибуты: количество осей вращения, количество кнопок, значения поворота соответствующих осей и состояния кнопок. Федерат, представляющий интерфейс к рабочему столу операционной системы должен создавать и обновлять такие атрибуты как высота и ширина экрана, изображение (screenshot) экрана, а также должен произвести подписку и получать из федерации значения атрибутов и управлять позицией курсора на экране реальной ОС, вызывать события мыши и клавиатуры.

## 4.7. Реализация возможности использования имитаторов в системах управления обучением

Реализация возможности использования имитаторов в системах управления обучением (LMS) связана с вопросами поддержки спецификации SCORM. SCORM обеспечивает многократное использование учебных модулей, интероперабельности учебных курсов (их использования в средах разных компьютерных обучающих системах), легкого сопровождения и адаптации курсов, ассемблирования контента отдельных модулей в учебные пособия в соответствии с индивидуальными запросами пользователя. В SCORM достигается независимость контента от программ управления.

Для обеспечения совместимости со спецификацией SCORM любой электронный образовательный ресурс должен соответствовать определенной эталонной модели, т. е. должен содержать иерархическую структуру учебных материалов и метаданные (Content Aggregation Model (CAM)). SCORM-пакет имеет собственную иерархическую структуру, и, в свою очередь, может быть элементом структуры более высокой иерархии. Как правило, полная иерархическая структура состоит из следующих уровней: Дисциплина (Curriculum), Курс (Course), Раздел (Chapter), Глава (Subchapter), Модуль (Module), Занятие/Урок (Lesson), Ресурс/Параграф/Элемент (Topic).

Метаданные используются для правильного отбора и поиска единиц учебного материала, обмена учебными модулями между разными системами, автоматической компиляции индивидуальных учебных пособий для конкретных обучаемых. Метаданные могут содержать: описания назначения данного ресурса (название), дата создания, сведения об авторах, сведения об авторском праве, ориентировочное время на изучение, педагогические особенности, язык, аннотация, требования к технической платформе (операционная система, программное обеспечение, процессор, количество оперативной памяти, видеоадаптер, звуковой адаптер, устройства ввода, необходимая пропускная способность канала связи) и т. д.

Причем, SCORM рекомендует максимально возможную автономность содержания, т. е. для запуска не должно требоваться большое количество дополнительного программного обеспечения, кроме того, работа ресурса не должна зависеть от операционной системы конечного пользователя (Windows, Linux, MacOS и т.д.), используемого им браузера (Firefox, Opera и т.д.) и т. д.

С практической точки зрения, электронный образовательный ресурс в формате SCORM — это zip-архив, содержащий достаточно большое количество файлов. Часть файлов представляют собой непосредственно образовательные ресурсы, это могут быть любые файлы: звуковые, html, видео и т. д. Кроме этого, SCORM пакет всегда содержит ряд файлов, описывающих непосредственно его структуру и другие данные. Наибольший интерес

представляет файл манифеста — `imsmanifest.xml`. Этот файл описывает структуру, состав и тип элементов SCORM-пакета (рисунок 4.7.1.).

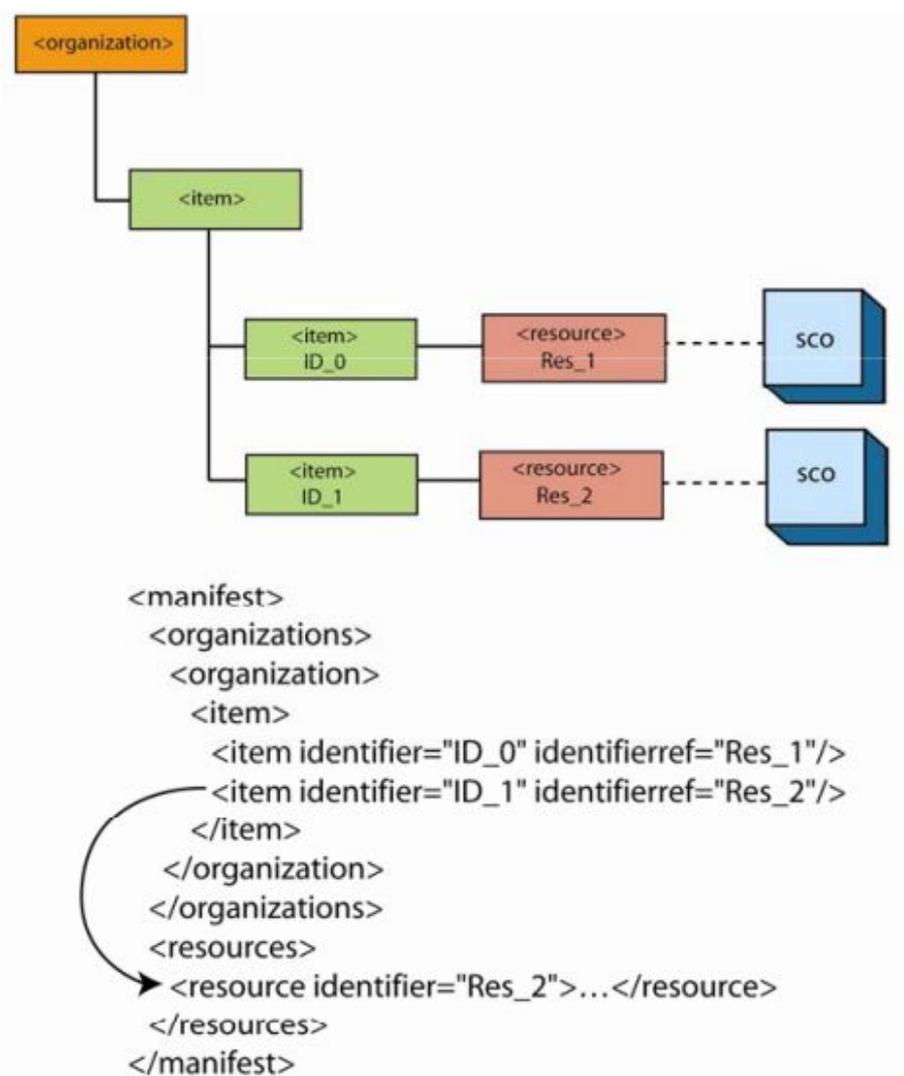


Рисунок 4.7.1. Структура контента (из спецификации SCORM® 2004 4th Edition Run-Time Environment (RTE) Version 1.1)

Далее показан демонстрационный файл манифеста из SCORM-пакета, сгенерированного в программе Reload Content Package Generator (данная программа официально рекомендована консорциумом ADL и доступна в свободном доступе по адресу <http://www.reload.ac.uk>).

```

- <!--
  This is a Reload version 2.5.5 SCORM 2004 Content Package document
-->
- <!--
  Spawned from the Reload Content Package Generator - http://www.reload.ac.uk
-->
- <manifest identifier="MANIFEST-
605FCB438D33006F540C0DD847DE25A0"
xsi:schemaLocation="http://www.imsglobal.org/xsd/imsdp_v1p1
imsdp_v1p1.xsd http://ltsc.ieee.org/xsd/LOM lom.xsd http://www.adlnet.org

```

```

/xsd/adlcp_v1p3 adlcp_v1p3.xsd http://www.imsglobal.org/xsd/imsss
imsss_v1p0.xsd http://www.adlnet.org/xsd/adlseq_v1p3 adlseq_v1p3.xsd
http://www.adlnet.org/xsd/adlnav_v1p3 adlnav_v1p3.xsd">
-<metadata>
  <schema>ADL SCORM</schema>
  <schemaversion>2004 3rd Edition</schemaversion>
</metadata>
-<organizations default="ORG- 0E3A7FC32EB0FFAEA4322A3164E3844A">
  -<organization identifier="ORG- 0E3A7FC32EB0FFAEA4322A3164E3844A"
    structure="hierarchical">
    <title>НАЗВАНИЕ ИМИТАТОРА</title>
    -<item identifier="ITEM-3EA2AAA42D2201E14297B4667EDFF0CB"
      identifierref="RES-847AC589DF1617E209C50F7EBCDDFF6F"
      invisible="true">
      <title>ЗАПУСК ИМИТАТОРА</title>
    </item>
  </organization>
</organizations>
-<resources>
  -<resource identifier="RES-847AC589DF1617E209C50F7EBCDDFF6F"
    adlcp:scormType="sco" href="4.html" type="webcontent">
    <file href="4.html"/>
    <file href="APIWrapper.js"/>
    <file href="HelloApplet.jar"/>
  </resource>
</resources>
</manifest>

```

Строки `<schema>ADL SCORM</schema>` указывает на то, что это SCORM-пакет. Следующая строка `<schemaversion>2004 3rd Edition</schemaversion>` определяет версию стандарта SCORM. Далее указывается идентификатор и название организации, а именно `<title>НАЗВАНИЕ ИМИТАТОРА</title>`. Затем определяется элемент структуры, с названием `<title>ЗАПУСК ИМИТАТОРА</title>`, который связан с ресурсом `identifierref="RES-847AC589DF1617E209C50F7EBCDDFF6F"`. Описание этого ресурса говорит нам о том, что этот элемент «Имитатор» является web-контентом (`type="webcontent"`), имеет тип SCO (`scormType="sco"`), для запуска необходимо открыть файл указанный (`href="4.html"`). Кроме того указано, что для данный элемент требует для своей работы еще 3 файла (`<file href="4.html"/>`, `<file href="APIWrapper.js"/>`, `<file href="HelloApplet.jar"/>`)

Тип SCO (Sharable Content Object) сигнализирует LMS-системе о том, что этот элемент взаимодействует с LMS-системой при помощи SCORM API. Также может применяться тип Asset, который не взаимодействует с LMS-системой.

Данный демонстрационный файл показывает лишь самую необходимую информацию для работы SCORM-пакета в LMS-системе. В некоторых случаях можно указать язык ресурса (русский, английский и т. д.), требования к программному и аппаратному обеспечению, ограничение по

времени, порядок прохождения элементов, ссылки на другие ресурсы и т. д. Информация по всем полям доступна в спецификации SCORM на сайте [www.ADLnet.org](http://www.ADLnet.org), <http://www.adlnet.gov>.

Взаимодействие между SCORM-ресурсом и LMS-системой происходит через программный интерфейс приложения SCORM Run-Time Environment (далее используются версия, определенная в спецификации SCORM® 2004 4th Edition Run-Time Environment (RTE) Version 1.1). SCORM Application Program Interface (API) обеспечивает набор функциональных возможностей, которые принимаются как разработчиками LMS, так и разработчиками инструментов создания содержания, чтобы обеспечить связь между LMS и SCO. Эти функциональные возможности заканчивают процесс запуска, связывая SCO и LMS, когда это необходимо. Кроме того, API позволяет содержанию SCORM "устанавливать" и "получить" данные от LMS, типа результатов оценки, и обращаться к любым ошибкам, которые происходят в течение работы. Основные стадии работы SCO и выполняемые операции взаимодействия с LMS-системой показаны на рисунке 4.7.3.

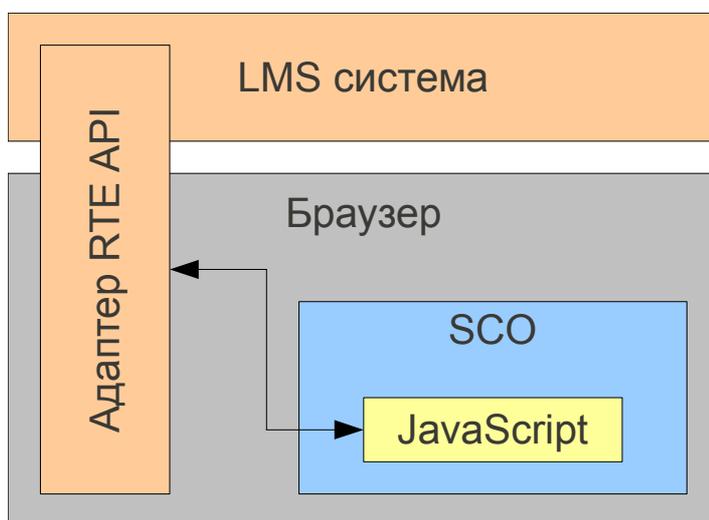


Рисунок 4.7.2. Организация взаимодействия SCO с LMS-системой

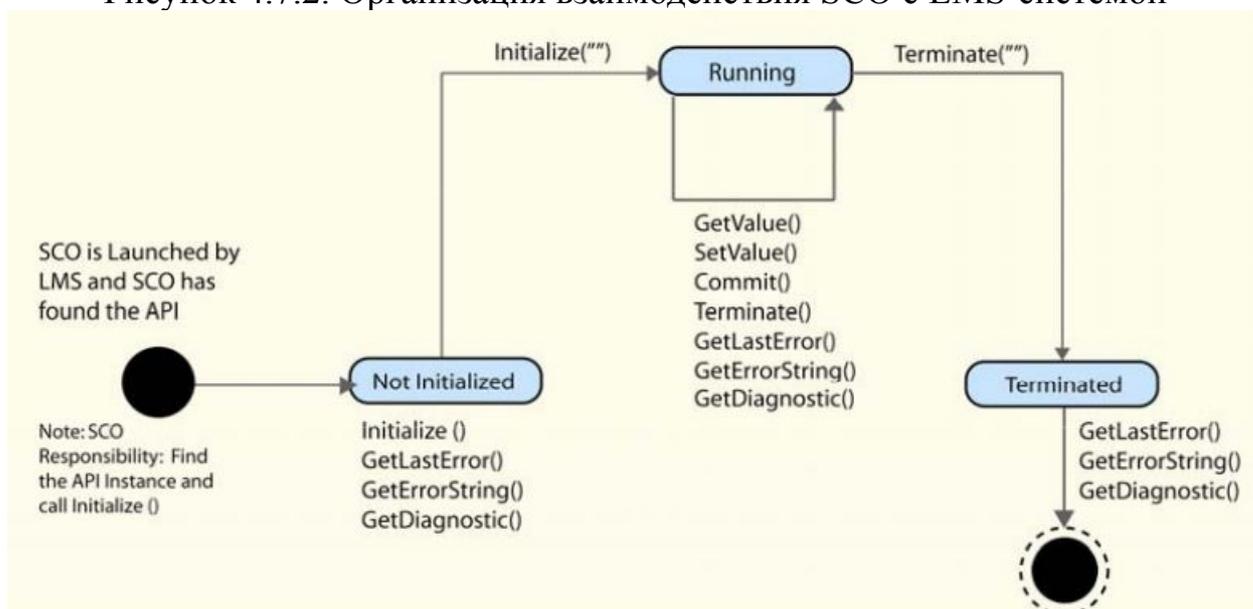


Рисунок 4.7.3. Процесс работы SCO и взаимодействие с LMS (рисунок из спецификации SCORM RTE)

Фактически взаимодействие между SCO заключается в получении и изменении значений ряда определенных стандартом «переменных», например:

- `cmi.completion_status` – статус выполнения SCO;
- `cmi.progress_measure` – количество (или процент от максимального количества) выполненных заданий или действий в рамках SCO;
- `cmi.completion_threshold` – минимально-необходимое значение (количество или минимальный процент) выполненных заданий или действий для принятия решения о статусе выполнения SCO;
- `cmi.success_status` – статус успешности;
- `cmi.score_scaled` -нормализованные баллы (%);
- `cmi.score.min` — минимальная оценка;
- `cmi.score.max` — максимальная оценка;
- `cmi.scaled_passing_score` – нормализованный проходной балл (%);
- `cmi.score.raw` – оценка в баллах;
- `cmi.location` – маркер выхода (для «закладок» и контрольных точек);
- `cmi.entry` – маркер входа (для «закладок» и контрольных точек);
- `cmi.comments_from_learner.n.comment` – комментарий пользователя;
- `cmi.suspend_data` – сохранение данных между сеансами (обучаемый приостановил изучение с последующим его возобновлением);
- `cmi.session_time` – время текущей сессии;
- `cmi.total_time` – общее время изучения;
- `cmi.max_time_allowed` – ограничение по времени;
- `cmi.learner_name` – имя студента;
- `cmi.learner_id` – ID студента в системе, и т.д.

Для передачи LMS-системе «эффективности» выполнения `scorm`-пакета используется три группы переменных.

Информация о количестве выполненных заданий или действий в рамках SCO и общая оценка статуса выполнения (оценивается количество, а не правильность):

- Переменная **`cmi.progress_measure`** определяет количество или процент выполненных учебных задач. Например, при выполнении имитатора обучаемый обнаружил 9 неисправностей из 10 возможных. В таком случае можно передать в LMS-систему значения «9» (абсолютная шкала) или «0.9» (шкала 0..1) или «90» (%), в зависимости от принятой разработчиком\заказчиком шкалы оценок. Значение `cmi.progress_measure` влияет на общий статус выполнения SCO (`cmi.completion_status`).
- Переменная **`cmi.completion_threshold`** определяет минимально-необходимое значение `cmi.progress_measure` (см. выше), при котором

автоматически (в LMS-системе) принимается решения о статусе выполнения SCO.

- Переменная **cmi.completion\_status** определяет статус выполнения SCO. При этом оценивается количество действий, а не их правильность. Например обучаемый может выполнить 10 из 10 заданий, но все неправильно. Если задана переменная порогового значения (**cmi.completion\_threshold**), то оценка выполняется автоматически, иначе, разработчик должен определить самостоятельно. Возможны четыре значения: “completed” - успешное выполнение, “incomplete” - недостаточное количество выполненных заданий; “not attempted” - обучаемый не выполнял задания; “unknown” - отсутствие утверждения о статусе выполнения SCO.

Информация о правильности выполненных заданий или действий в рамках SCO и общая оценка статуса правильности выполнения (фактически общая оценка успешности):

- Переменная **cmi.score.raw** определяет не нормализованную оценку (баллы), т. е. не заданы минимальный и максимальный уровень баллов.
- Переменная **cmi.score\_scaled** определяет оценку в нормализованных баллах (%). При этом минимальный и максимальный уровень баллов (диапазон) задается переменными **cmi.score.min** и **cmi.score.max**.
- Переменная **cmi.scaled\_passing\_score** определяет нормализованный проходной балл (%), позволяющий LMS-системе определять статус успешности (**cmi.success\_status**);
- Переменная **cmi.success\_status** определяет статус успешности выполнения SCO. Если задана переменная проходного балла (**cmi.scaled\_passing\_score**), то оценка выполняется автоматически, иначе, разработчик должен определить самостоятельно. Возможны четыре значения: “passed” - правильное выполнение, “failed” - неправильное выполненных заданий; “unknown” - отсутствие утверждения о правильности выполнения SCO.

Дополнительная информация о выполнении SCO определяется следующими переменными:

- Переменная **cmi.session\_time** определяет время, затраченное обучаемым на выполнение SCO. Сумма времени всех попыток выполнения автоматически суммируется LMS-системой в переменной **cmi.total\_time**;
- Переменная **cmi.exit** определяет флаг завершения работы обучаемого с SCO. Возможны четыре значения: “time-out” - превышение лимита времени, установленного для данного SCO LMS-системой (переменная **cmi.max\_time\_allowed** и **cmi.time\_limit\_action**); “suspend” - обучаемый приостановил изучение SCO с возможностью продолжить в дальнейшем; “logout” - выход из LMS-системы; “normal” - нормальный выход по завершению SCO; “” (пустая строка, значение по умолчанию)

— условия выхода не определены.

Взаимодействие SCO и LMS реализовано через JavaScript, по этой причине в состав SCORM-пакета входит файл APIWrapper.js, содержащий сервисные функции для обмена с LMS, такие как поиск SCORM API в текущем фрейме, инициализация сессии, завершение сессии, запрос у LMS-системы значения модели данных, сохранение значения в модели данных и т. д.

Например, функция запроса у LMS-системы значения модели данных имеет примерно следующую реализацию:

```
/*
*****
* Функция запрашивает у Системы значение модели данных. Может вызываться после
* вызова initialize, но до вызова terminate
* Параметры: название элемента модели данных (напр. "cmi.learner_id")
* Возвращает: значение запрашиваемых данных
*****
function getDataValue(name)
{
    var result = "";
    var api = getAPI();
    if ( api != null )
    {
        result = api.GetValue(name);
        var errCode = getLastErrorCode();
        if (errCode != "0")
            displayErrorInfo(errCode);
    }
    return result;
}
```

Функция отправки результатов обучения в LMS-систему может быть реализована следующим образом:

```
//Один из примеров реализации отправки «отчета о выполнении»
function postAnswer(score)
{
    //record the session time
    var endTimeStamp = new Date();
    var totalMilliseconds = (endTimeStamp.getTime() - startTimeStamp.getTime());
    var scormTime = ConvertMillisecondsIntoSCORM2004Time(totalMilliseconds);
    API.SetValue("cmi.session_time", scormTime);
    //Оценка "сырая"
    API.SetValue("cmi.score.raw", score);
    //оценка "со шкалой"
    API.SetValue("cmi.score.min", "0");
    API.SetValue("cmi.score.max", "100");
    var scaledScore = score / 100;
    API.SetValue("cmi.score.scaled", scaledScore);
    //consider 70% to be passing
    if (score >= 70){
        API.SetValue("cmi.success_status", "passed");
        API.SetValue("cmi.completion_status", "completed");
    }
}
```

```

}
else{
API.SetValue("cmi.success_status", "failed");
API.SetValue("cmi.completion_status", "completed");
}
//отправка всего в систему
API.Commit("");
}
}

```

Для запуска имитатора из SCORM-пакета и передачи данных из имитатора в LMS и обратно можно воспользоваться посредником, например, java-апплетом. Java-апплет, может выполнять любые необходимые действия для запуска имитатора (при условии, что он имеет цифровую подпись), например, запуск исполняемых файлов, копирование файлов, чтение файлов, чтение потоков вывода и т. д. В тоже время Java-апплет имеет развитые механизмы взаимодействия с JavaScript (рисунок 4.7.4.).

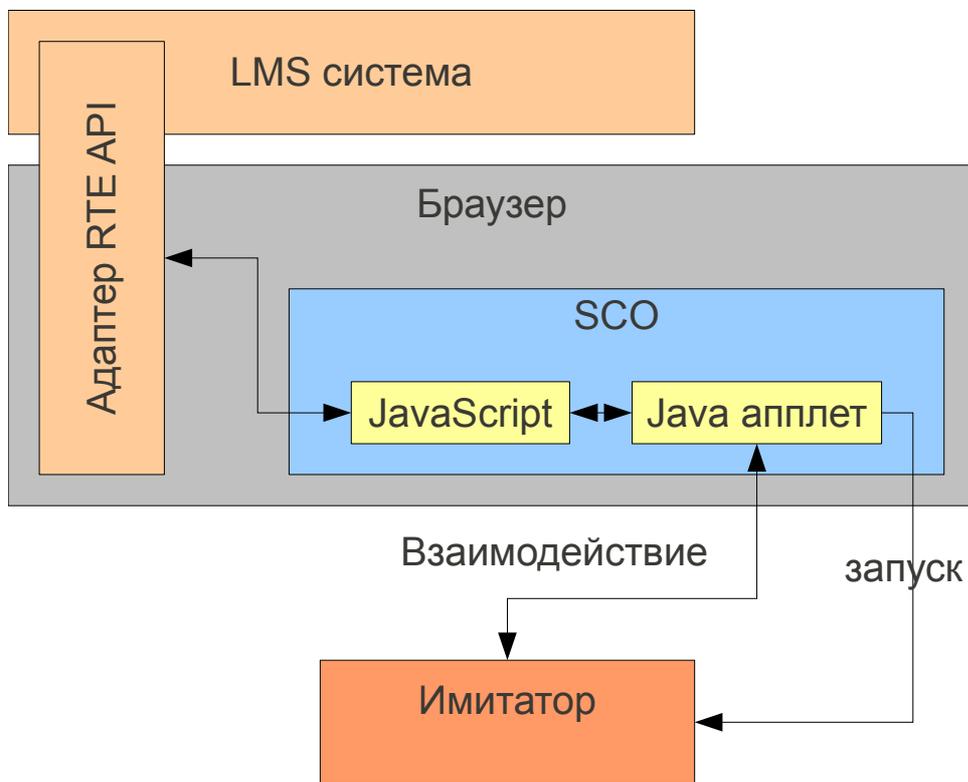


Рисунок 4.7.4. Взаимодействие LMS системы и имитатора

После создания SCORM-пакета необходимо его тестирование. Процедура проверки, а также сертификации SCORM-пакетов подробно описана в главе 3.9.

## 5. Использование имитаторов в процессе управления рисками (менеджмент риска)

Решение вопросов классификации имитаторов, ключевых показателей эффективности и систематизации пользовательских требований позволяет перейти к решению вопроса о методике внедрения имитаторов в процесс обучения персонала предприятий.

Предлагаемая методика базируется на сопоставлении затрат на создание (или покупку) и использование имитаторов в процессе подготовки персонала и уменьшением ожидаемого риска (потерь) предприятия в процессе управления рисками. Уменьшение ожидаемого риска (потерь) предприятия связано с уменьшением величины вероятности человеческого фактора (за счет обучения персонала с использованием тренажеров).

Другими словами, предлагается метод использования имитаторов в процессе управления рисками, а именно в процессе анализа величины риска и принятия решений, направленных на снижение риска до пределов, соответствующих приемлемому уровню. Основная идея метода условно представлена на рисунке X.



Рисунок. Зависимость (снижения) производственных потерь от совокупных затрат на создание и использование имитаторов

Априорным предположением о целесообразности и эффективности применения имитаторов в системе менеджмента рисков является предположение о том, что значительная часть рисков вызвано «человеческим фактором» или зависит от «человеческого фактора». Основа такого предположения заключается в следующем:

1. По имеющимся данным (Ростехнадзор, CSB, NTSB) доля человеческого фактора в инцидентах составляет от 35 до 70%
2. Если не учитывать ошибки человека, в результате расчета можно получить практически бессмысленные величины, относящиеся к безопасности, такие как показатель надежности, равный  $10^{-39}$  год<sup>-1</sup> [японец]. Например, любой член обслуживающего персонала, пользуясь неправильными инструкциями для настройки, теоретически может вывести из строя любую систему защиты предприятия. В таблице XXX14990 [японец, С-275] помещены основные сведения по оценкам частот ошибок операторов, видно, что оператор на 99,99% совершенен при выполнении рутинной работы, но оказывает полностью бесполезным при чрезвычайных обстоятельствах.
3. Важность учета «человеческого фактора» была проиллюстрирована различными авариями, в которых критические ошибки человека способствовали катастрофической последовательности событий.
4. Несмотря на то, что ошибочные действия персонала являются очень распространенными и очень трудно предсказуемыми, существующие данные о частотах ошибок операторов и обслуживающего персонала (WASH 1400, приложение III) также указывают на значительную потенциальную опасность данного фактора.
5. Американский нефтяной институт (API), опираясь на опрос 200 управленцев на 11 предприятиях 7 нефтехимических компаний, оценивает среднюю прибыль от обучения одного оператора на КТ более, чем в 100 тыс.долл. в год [100; 26, -С. 257]
6. В другой книге [Probabilistic safety assessment in the chemical and nuclear industries Авторы: R. R. Fullwood (165 страница)] приводятся следующие данные:

Таблица XX3458. Данные различных исследований величины проблемы человеческого фактора

Исследование	Результат
Garrison (1989)	Человеческие ошибки оцениваются в 563 млн. долл. По основным инцидентам в химической промышленности до 1984 года.
Joshchek (1981)	80-90% всех инцидентов в химической индустрии связаны с ошибками человека.
Rasmussen (1989)	Исследование 190 инцидентов в хим. пром. вызваны: недостаточными знаниями: 32% ошибками проектирования: 30%

Исследование	Результат
	ошибки процесса (методах): 23% ошибки персонала: 15%
Butikofer (1986)	Инциденты в нефтехимической промышленности: оборудование и неудачное проектирование: 41% персонал и неудачное обслуживание: 41% недостаточно точное выполнение процедур: 11% недостаточный контроль и проверка: 5% иное: 2%
Uehara and Hoosegow (1986)	Доля человеческого фактора в инцидентах, связанных с пожарами - 58%
Oil Insurance Association Report on Boiler Safety (1971) (Нефтяная страховая ассоциация)	На долю человеческого фактора приходилось от 73% и 67% от общего ущерба в инцидентах на котельных установках.

7. [З. ГЕРАТЕВОЛЬ ПСИХОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА В САМОЛЕТЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ Москва, 1956] оценивает удельный вес индивидуального или человеческого фактора в летных авариях в 66%. Армстронг (1939) приводит цифры Департамента коммерческой статистики, на основании которых удельный вес ошибок обслуживания в транспортной авиации определяется в 41,47%, в спортивной авиации — 52,18% и на пассажирских авиалиниях — в 39,65%. Руфф и Штругхольд (1944) определяют процент аварий на почве психической недостаточности по меньшей мере в 50—60%. Приведенные цифры дают возможность заключить, что человеческий фактор, как причина летных аварий, имеет очень большое значение.
8. [З. ГЕРАТЕВОЛЬ ПСИХОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА В САМОЛЕТЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ Москва, 1956] «Скептику предлагается изучить статистику несчастных случаев. Она доказывает, что не технические недостатки, а человеческие факторы являются причиной абсолютного большинства воздушных катастроф и среди них в свою очередь психологические факторы стоят на первом месте.»
9. Распределение аварий по причинам, приведенные в книге [«Анализ аварий и несчастных случаев в нефтегазовом комплексе России»], основанных на имеющихся данных на 1998-2000 гг.:

Группа причин	Процент аварий, %
Низкий уровень организации работ	60
Неисправность оборудования	25
Прочие (нарушение технологии, низкая квалификация)	15

Группа причин	Процент аварий, %
персонала, недостаток средств обеспечения безопасности)	

Также отдельно отмечаться:

- допуск лиц к работе без соответствующей профессиональной подготовки;
- необученность персонала.

10. Основные причины аварий на газопроводах, приведенные в книге [«Анализ аварий и несчастных случаев на трубопроводном транспорте»], основанных на имеющихся данных на 1996-2001 гг.:

Причины	% от общего числа
Наружная коррозия	28,9
в т.ч. КРН	22,5
Механические повреждения	19
Брак строительно-монтажных работ	21,9
в т.ч. Брак сварки	13
Дефекты труб	11,4
Стихийные бедствия	9,5

11. Распределение аварий по причинам, приведенные в книге [«Анализ аварий и несчастных случаев на объектах газового надзора»], основанных на имеющихся данных на 1990-2002 гг.:

Причины	% от общего числа
Нарушение производственной инструкции по розжигу газопотребляющих установок	39
Нарушение Правил охраны газораспределительных систем	27
Коррозионное повреждение подземных газопроводов	5
Механические повреждения надземных газопроводов	3
Нарушение инструкции по эксплуатации газового оборудования	8
Нарушение Правил безопасности в газовом хозяйстве	3
Проявление заводского брака газопроводных труб и арматуры	5
Разрыв сварных швов полиэтиленового газопровода	1
Другие	9

Таблица XXX14990. Оценка ошибок операторов (Документ WASH 1400)

Частота ошибок	Вид деятельности
10 <sup>-4</sup>	Выбор переключателя, управляемого с помощью ключа, а не простого переключателя (это значение не учитывает ошибки

Частота ошибок	Вид деятельности
	принятия решения в случае, когда оператор неправильно воспринимает ситуацию и полагает, что данный ключ выбран правильно)
10 <sup>-3</sup>	Выбор переключателя (или двух переключателей), не похожего по форме или по расположению на нужный переключатель при условии отсутствия ошибки в принятии решения; например, оператор включает переключатель с большой рукояткой вместо малого переключателя
3*10 <sup>-3</sup>	Обычная ошибка человека при выполнении операции (например, неправильное считывание таблички и в результате выбор ошибочного переключателя)
10 <sup>-2</sup>	Обычная ошибка (упущение) человека, если в зале управления отсутствует сигнализация и состоянии параметра, упущенного оператором (например, отказ, связанный с невозвращением испытательного клапана с ручным переключением в исходное положение после завершения технического обслуживания)
3*10 <sup>-3</sup>	Ошибка типа упущения, когда упущенный предмет или пункт инструкции является элементом процедуры, а не находится в ее конце, как указывалось выше
3*10 <sup>-2</sup>	Простые арифметические ошибки при проведении самопроверки, но без выполнения повторных вычислений
1/X	При условии, что оператор дотягивается до неправильного переключателя (или пары переключателей) и выбирает похожий переключатель (или пару переключателей). Здесь X— число неправильных переключателей (или пар переключателей), расположенных рядом с нужным переключателем. Формула 1/X применима, если имеется до пяти или шести переключателей. При большем числе переключателей частота ошибок уменьшается, так как оператор тратит и этом случае больше времени, отыскивая нужный вариант. При числе переключателей до пяти или шести оператор не думает об ошибке, и поэтому более вероятно, что он не ведет тщательный поиск
10 <sup>-1</sup>	При условии, что оператор дотягивается до неправильного переключателя (или пары переключателей) клапана с двигательным приводом (КДП), он не замечает по сигнальным лампам, что КДП уже находится в требуемом положении, и лишь изменяет состояние КДП, не осознавая неправильного выбора переключателя
-1	То же самое, что и выше, за исключением того, что положение(я) неправильно выбранного(ых) переключателя(ей) не соответствует(ют) требуемому(ым)
-1	Если оператор ошибается и операциях с одним или двумя близко расположенными друг к другу переключателями клапана на каком-то шаге процедуры, он ошибается в операции и с другим клапаном
10 <sup>-1</sup>	Оператору монитора или дополнительному инспектору не удастся обнаружить начальную ошибку оператора. Примечание: Такое большое значение частоты ошибок неприменимо при наличии

Частота ошибок	Вид деятельности
	непрерывного контрольного сигнала об ошибке на сигнальной панели
$10^{-1}$	Персонал другой рабочей смены не проверяет оборудование, если только не дается письменной директивы или специального перечня для проверки
$5 \cdot 10^{-1}$	С помощью монитора не обнаруживаются неправильные положения клапанов и т.п. при проведении общей инспекции, если только не используется специальный проверочный перечень
0,2-0,3	Обычная частота ошибок при условии напряженной работы оператора, при которых очень быстро происходят опасные действия

Предлагаемая методика использования имитаторов в процессе управления рисками базируется на следующих нормативных документах:

- ГОСТ Р 51901.13-2005 (МЭК 61025:1990) АНАЛИЗ ДЕРЕВА НЕИСПРАВНОСТЕЙ. IEC 61025:1990 Fault Tree Analysis (FTA) (MOD);
- ГОСТ Р 51901.1-2002 Анализ риска технологических систем. гармонизирован с международным стандартом МЭК 60300-3-9:1995 «Dependability Management - Part 3: Application guide - section 9: Risk analysis of technological systems» - «Управление надежностью. Часть. 3. Руководство по применению. Раздел 9. Анализ риска технологических систем»;
- ГОСТ Р 51901.11-2005 (МЭК 61882:2001) ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ . Прикладное руководство. IEC 61882:2001 Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide (MOD).

Краткое описание указанных нормативных документов приведено в приложении А.

Согласно вышеуказанным документам, термин риск определяется как «сочетание вероятности появления опасного события и его последствий. Риск присутствует в любой деятельности человека. Он может относиться к здоровью и безопасности (учитывая, например, как немедленные, так и долгосрочные последствия для здоровья от воздействия токсичных химических продуктов). Риск может быть экономическим, например, приводящим к уничтожению оборудования и продукции вследствие пожаров, взрывов или других аварий. Он может учитывать неблагоприятные воздействия на окружающую среду.»

«Менеджмент риска (risk management) - скоординированные действия по руководству и управлению организацией в отношении рисков»

«Задачей управления рисками является контроль, предотвращение или сокращение гибели людей, снижение заболеваемости, снижение ущерба,

уруна имуществу и логически вытекающих потерь, а также предотвращение неблагоприятного воздействия на окружающую среду.»

«Процесс управления риском охватывает различные аспекты работы с риском, от идентификации и анализа риска до оценки его допустимости и определения потенциальных возможностей снижения риска посредством выбора, реализации и контроля соответствующих управляющих действий.»

(Рисунок X.1.)

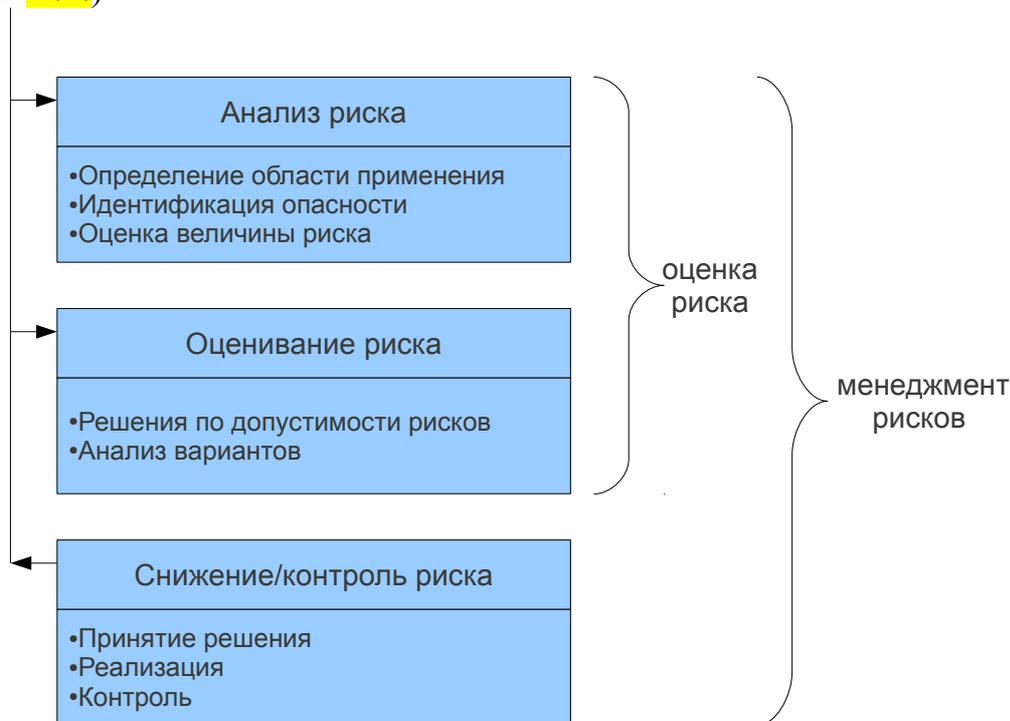


Рисунок X.1. Соотношения между анализом риска и другими действиями по управлению риском (ГОСТ Р 51901.1 — 2002)

«Процесс управления рисками реализуется посредством сопоставления результатов анализа риска с критериями допустимого риска. В целом назначение критериев допустимого риска является достаточно сложной задачей, особенно в социальной, экономической и политической областях, и находится вне сферы рассмотрения указанных стандартов.»

«Анализ риска представляет собой структурированный процесс, целью которого является определение как вероятности, так и размеров неблагоприятных последствий исследуемого действия, объекта или системы. В указанных стандартах в качестве неблагоприятных последствий рассматривается вред, наносимый людям, имуществу или окружающей среде.»

Анализ может охватывать такие области специальных знаний, как системный анализ; вероятность и статистика; физические, химические, медицинские (токсикология и эпидемиология), общественные науки (экономика, психология и социология) или биологические науки; влияние человеческого фактора, наука управления и т.д.

Опасности могут быть отнесены к следующим четырем основным категориям: природные опасности; технические опасности; социальные

опасности; опасности, связанные с укладом жизни (данные категории не являются взаимоисключающими, например, при анализе технических опасностей часто бывает необходимо учитывать влияние факторов из других категорий). Характер последствий может быть: индивидуальным (воздействие на отдельных людей); профессиональным (воздействие на работающих); социальным (общее воздействие на сообщество людей); приводящим к имущественному урону и экономическим потерям (нарушения деловой деятельности, штрафы и т.д.); касающимся окружающей среды (воздействие на землю, воздух, воду, растительный, животный мир и культурное наследие).

Первоначальным шагом в системе управления рисками является процесс анализа риска (ГОСТ Р 51901.1-2002), который захватывает весь диапазон опасностей, а не только человеческий фактор.

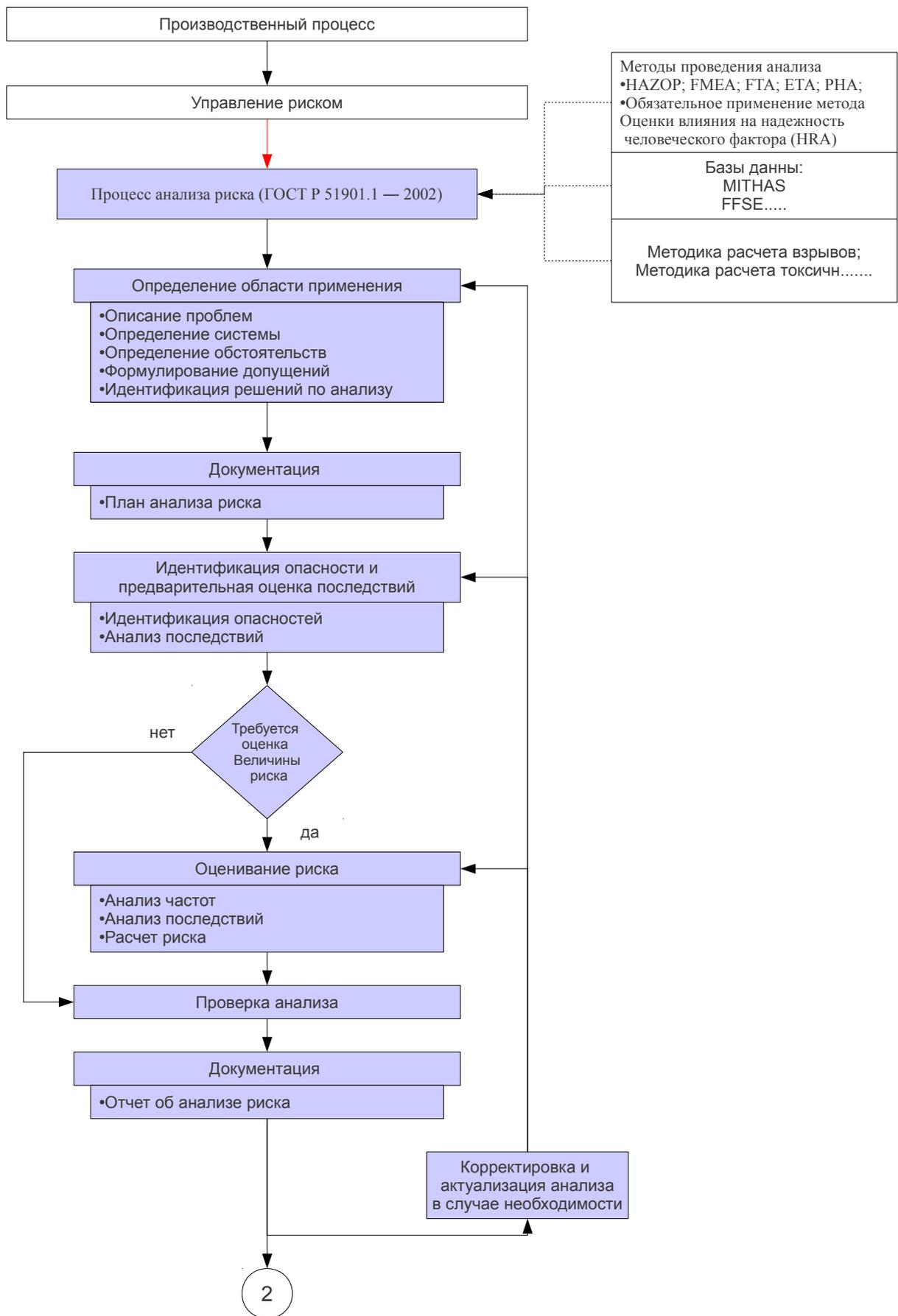


Рисунок X.2. Процесс анализа риска (ГОСТ Р 51901.1 — 2002)

В качестве примера рассмотрим центробежный насос, перекачивающий воду из природных источников. Рассматриваемая система ограничивается следующими элементами — рисунок X.

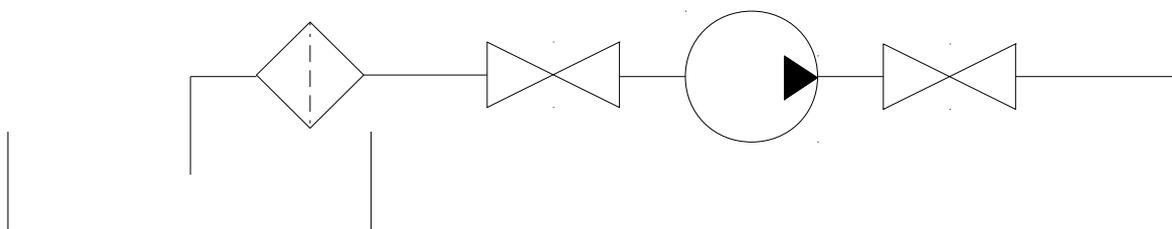


Рисунок X. Исследуемая система.

Для определения величины риска должны быть идентифицированы опасности, являющиеся причиной риска, а также пути, по которым эти опасности могут реализовываться. Известные опасности (возможно, имевшие место при предыдущих авариях) должны быть четко и точно определены. Для идентификации опасностей, не учитываемых ранее при проведении анализа, должны применяться формальные методы :

1. Исследование опасности и связанных с ней проблем (HAZOP)  
Это процедура идентификации возможных опасностей по всему объекту в целом. Она особенно полезна при идентификации непредвиденных опасностей, заложенных в объекте вследствие недостатка информации при разработке, или опасностей, проявляющихся в существующих объектах из-за отклонений в процессе их функционирования.
2. Анализ диаграммы всех возможных последствий несрабатывания или аварии системы (анализ «дерева неисправностей») (FTA)
3. Анализ диаграммы возможных последствий события (анализ «дерева событий») (ETA)
4. Предварительный анализ опасности (PHA)
5. Оценка влияния на надежность человеческого фактора (HRA)

HAZOP (ГОСТ Р 51901.11- 2005 (МЭК 61882:2001) ) является формой анализа видов и последствий отказов (FMEA). Это процедура идентификации возможных опасностей по всему объекту в целом. Целью является определение системы и выявление в общих чертах потенциальных опасностей.

1. Выявить источники опасности (взрывы, утечки, пожары и т.д.)
2. Определить части системы, которые могут вызвать эти опасные состояния
3. Ограничения на анализ. Например, нужно решить, будет ли он включать изучение риска в результате саботажа, диверсии, войны, ошибок людей, поражения молнией, землетресений и т.д.

Перечень подобный используемому фирмой "Боинг" является основным инструментом в выявлении опасностей: Обычное топливо ; Двигательное топливо; Взрывчатые вещества; Аккумуляторные батареи; Емкости под давлением; Пружинные механизмы ; Нагревательные приборы ; Насосы, воздуходувки, вентиляторы ; Вращающиеся механизмы и т.д.

Процессы и условия, представляющие опасность: Разгон; загрязнения; коррозия ; Электрический (отказы источника питания, непредусмотренные включения и т. д.); Взрывы; Пожары; Нагрев и охлаждение (низкая, высокая, перепад) ; Утечки ; Влага; Окисление; Давление (низкое, высокое, перепад); Радиация; Механические удары и т.д.

Фактически производится анализ каждой основной единицы оборудования и всего вспомогательного оборудования. Применительно к каждой линии и единице оборудования по отношению к таким переменным процесса, как температура, давление, расход, уровень и химический состав, применяются слова-указатели (с учетом несрабатывания всех защитных механизмов) (по таблице А.1).

Таблица А.1 - Слова-указатели HAZOP II

Слово-указатель	Определение
Нет или не	Ни одна из частей предполагаемого результата не достигается (например, нет расхода)
Больше	Количественное увеличение (например, высокое давление)
Меньше	Количественное уменьшение (например, низкое давление)
А также	Качественное увеличение (например, дополнительный материал)
Часть (чего-то)	Качественное уменьшение (например, только один или два компонента в смеси)
Обратное	Противоположное (например, противоток)
Иначе	Ни одна из частей замысла не осуществляется, происходит что-то совершенно другое (например, поток несоответствующего материала)

Таблица А.2 - Пример рабочего листа слов-указателей «не, нет» HAZOP II

Слово-указатель	Отклонение	Возможные причины	Последствия	Необходимое действие
Не, нет	Нет расхода (подачи)	1) Отсутствие подаваемого материала	Недопустимый нагрев, повреждение сальников и подшипников	а) Предусмотреть сигнал низкого уровня на установочном резервуаре
		2) Неисправен насос (множество причин)		а) Предусмотреть сигнал низкого уровня на установочном резервуаре
		3) Перекрытие нагнетательной линии	Насос будет перегреваться	Обучить персонал

Слово-указатель	Отклонение	Возможные причины	Последствия	Необходимое действие
		4) Перекрытие линии всасывания	Кавитация	Обучить персонал

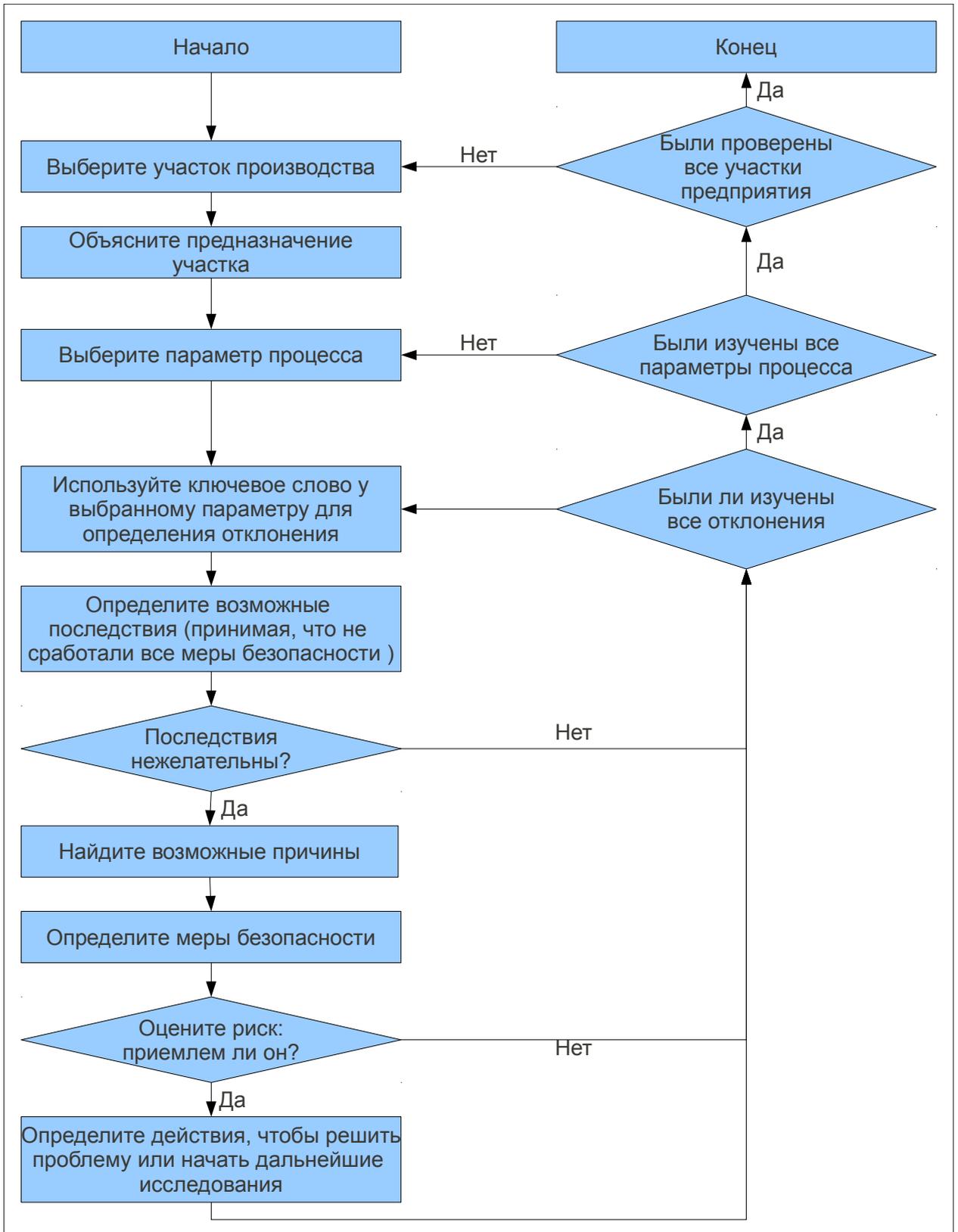


Рисунок X. Схема исследовательского процесса HAZOP (из ГОСТ Р 51901.11-2005)

Более детальный анализ выявленных отклонений и их причин как правило производится по методикам «дерева неисправностей» (FTA), «дерева событий» (ETA) и «влияние человеческого фактора» (HRA).

FTA (МЭК 61025) представляет собой совокупность приемов качественных или количественных, при помощи которых выявляются методом дедукции, выстраиваются в логическую цепь и представляются в графической форме те условия и факторы, которые могут способствовать определенному нежелательному событию (называемому вершиной событий).

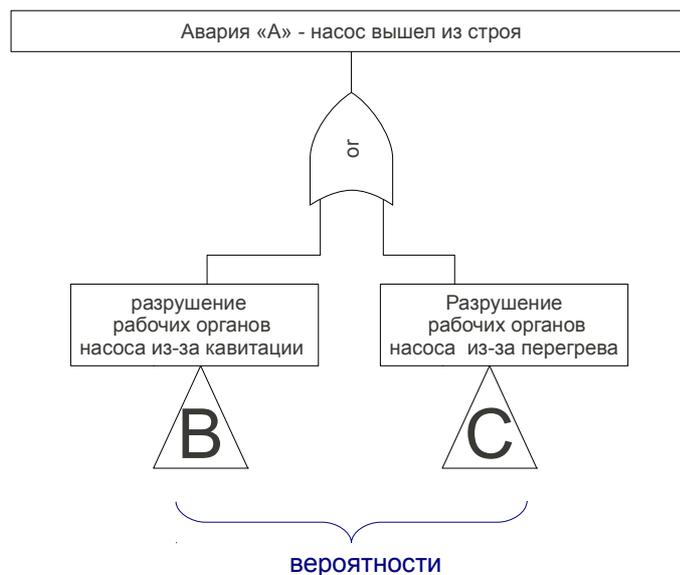
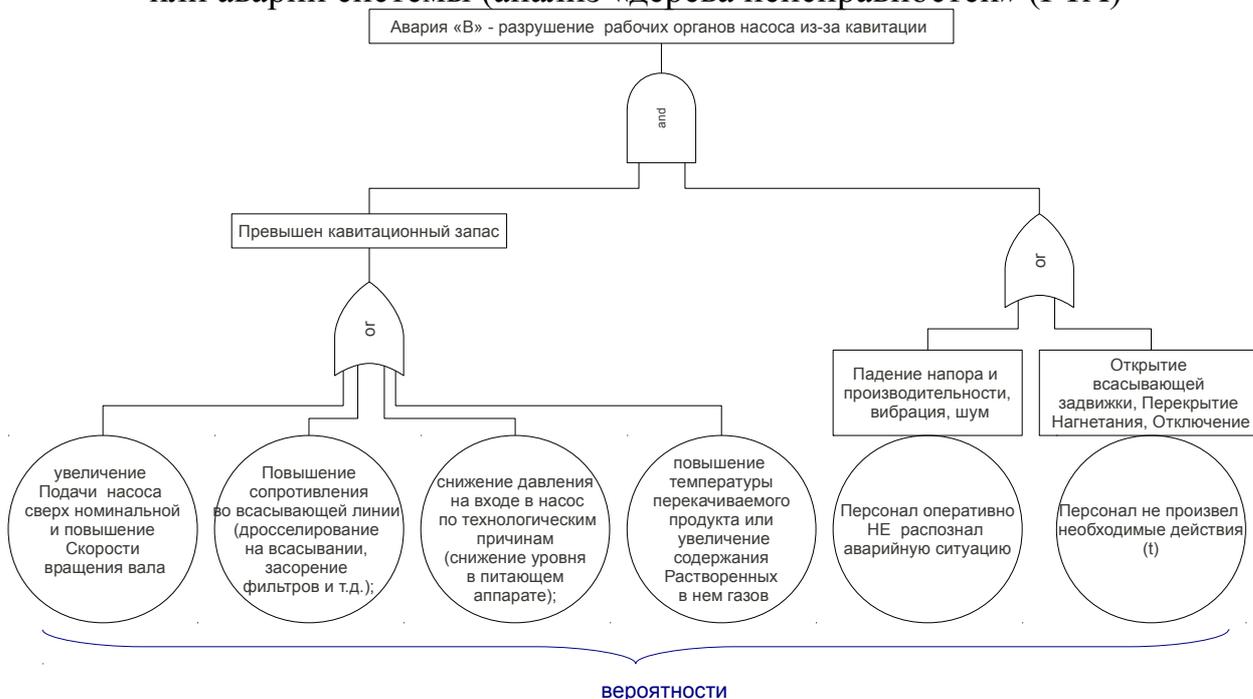


Рисунок. Анализ диаграммы всех возможных последствий несрабатывания или аварии системы (анализ «дерева неисправностей» (FTA))



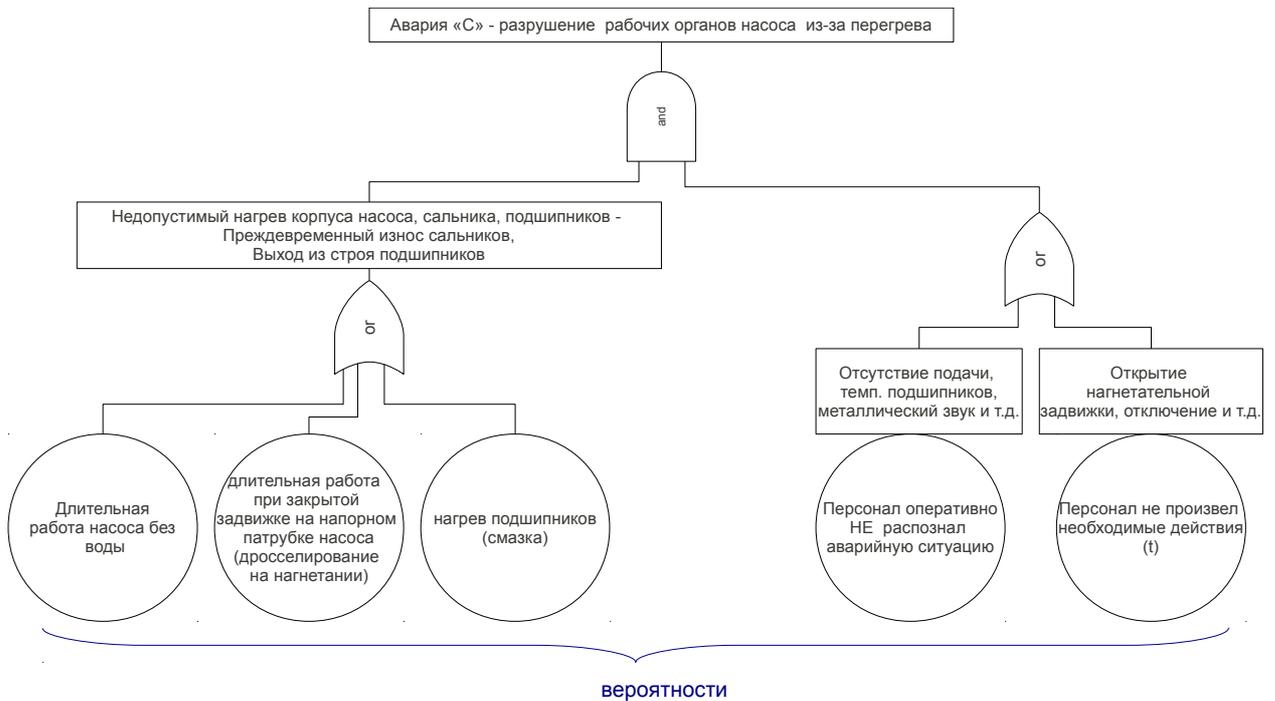
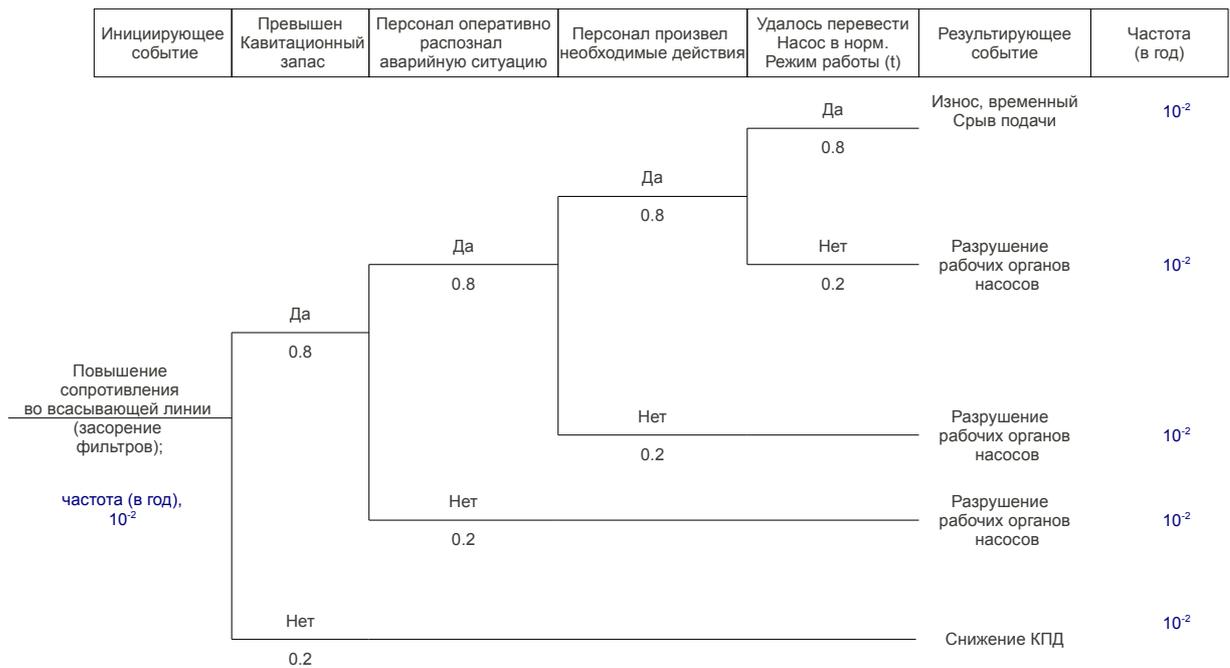


Рисунок. Анализ диаграммы всех возможных последствий несрабатывания или аварии системы (анализ «дерева неисправностей» (FTA))

ETA представляет собой индуктивный тип анализа, в котором основным задаваемым вопросом является «что случится, если ... ?». Он обеспечивает взаимосвязь между функционированием (или отказом) разнообразных смягчающих систем и опасным событием, следующим после того, как происходит единичное инициирующее событие. ETA очень полезен при выявлении событий, которые требуют дальнейшего анализа с использованием FTA (то есть вершины событий «деревьев неисправностей»).



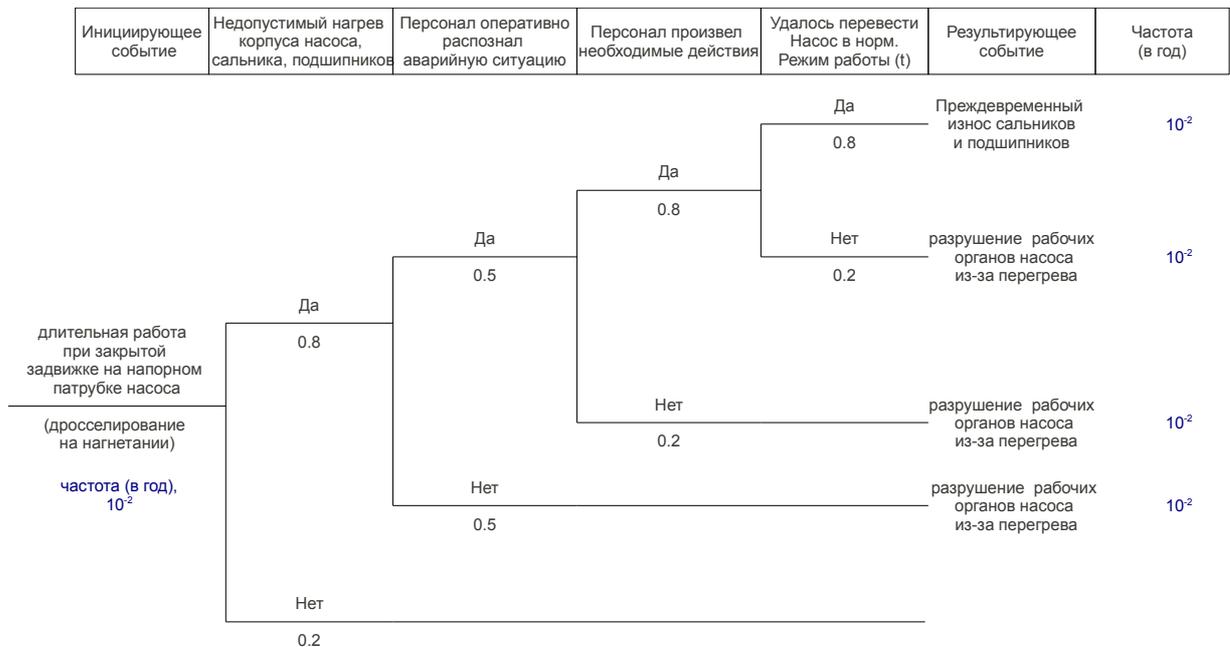


Рисунок. Анализ диаграммы возможных последствий события (анализ «дерева событий») (ETA)

**HRA.** Оценка связана с влиянием человеческого фактора, а именно операторов и обслуживающего персонала, на работу системы и может быть использована для оценки воздействия ошибок персонала на безопасность и производительность. Фактически исследуется процесс деятельности персонала, начиная от выявления инцидента, диагностики, принятия решений, заканчивая выполняемыми действиями (рисунок X390).

#### Оценивание риска

Для каждого конечного события в «дереве событий» моделируются аварии, характерные для этого конечного события. Моделируются физические процессы формирования аварийных ситуаций (истечение, испарение, образование взрывоопасного облака и т.п.) и аварийные процессы (взрывы, пожары, рассеяние опасных примесей в атмосфере и т.п.). Определяются границы возможных зон поражения. Рассматриваются решения, позволяющие снизить массы или интенсивность выброса, уменьшить возможные зоны поражения.

По результатам моделирования физических процессов в каждом аварийном событии определяются воздействие поражающих факторов на людей, имущество и окружающую природную среду, определяются последствия этих воздействий и вероятность этих последствий. Определяется степень разрушения зданий и сооружений с учетом их устойчивости к ударно-волновым нагрузкам, воспламенение материалов под воздействием тепловых нагрузок пожара, поражение людей под воздействием поражающих факторов всех возможных видов аварий. Определяется ожидаемое число пострадавших и убытки негативного воздействия аварии на людей, имущество и окружающую природную

среду. Определяется суммарный риск негативных последствий от всех возможных источников аварий (элементов ТС). Для персонала исследуемого объекта и для населения определяется территориальный риск, а также индивидуальный и социальные риски для выделенных регионов. Рассматриваются технические решения и организационные мероприятия, позволяющие снизить вероятность негативных последствий.

**Анализ частот :** Целью анализа частот является более детальное определение частоты каждого из нежелательных событий или сценариев аварий, идентифицированных на стадии идентификации опасности. Обычно используются три основных подхода:

- использование соответствующих данных эксплуатации
- прогнозирование частот событий с использованием таких технических приемов, как анализ диаграммы (*a ne составление*) всех возможных последствий несрабатывания или аварии системы («дерева неисправностей») и анализ диаграммы возможных последствий данного события («дерева событий»). В том случае, когда статистические данные недоступны или не соответствуют требованиям, необходимо получить частоты событий посредством анализа системы и ее аварийных состояний.
- использование мнения экспертов.
- - данные по надежности из литературных источников - из паспортов, ТУ на изделие, ГОСТов, справочников, статей, отчетов;  
- данные по эксплуатационной надежности, собранные на предприятиях, где проводилась оценка риска или целенаправленный сбор данных для определения надежности.

**Анализ последствий.** Анализ последствий предусматривает детальное определение результатов воздействия на людей, имущество или окружающую среду в случае наступления нежелательного события. Для расчетов рисков, касающихся безопасности (работающих или неработающих людей), анализ последствий представляет собой приблизительное определение количества людей, которые могут быть убиты, ранены или иметь серьезные поражения в том случае, если произойдет нежелательное событие.

Нежелательные события обычно состоят из таких ситуаций, как выброс токсичных материалов, пожары, взрывы, излучение частиц из разрушающегося оборудования и т. д. Модели последствий требуются для прогнозирования размера аварий, катастроф и других явлений. Знание механизма высвобождения энергии или материала и происходящих с ними последующих процессов дает возможность прогнозировать соответствующие физические процессы заранее.

Существует множество методов оценки такого рода явлений, диапазон которых простирается от упрощенных аналитических подходов до очень сложных компьютерных моделей. При использовании методов

моделирования необходимо обеспечить соответствие той проблеме, которая подлежит рассмотрению.

Например:

- Расчет избыточного давления взрыва для горючих газов, паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. НПБ 105-03
- НПБ 105-03 "Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности"

**Расчет риска.** На практике идентификация опасности, исходящей от конкретной системы, оборудования или деятельности, может давать в качестве результата очень большое число сценариев потенциальных аварий.

Детализированный количественный анализ частот и последствий не всегда осуществим. В таких ситуациях может оказаться целесообразным качественное ранжирование сценариев, помещение их в матрицы риска, указывающие различные уровни риска. Количественное определение концентрируется в таком случае на сценариях, дающих более высокие уровни риска.

В таблице X. представлен пример матрицы риска. Применение матрицы риска могло бы иметь своим результатом сценарии, считающиеся источником низких или незначительных рисков, снижающихся при более глубоком рассмотрении, поскольку в собирательном значении они не могли бы стать источником значительного уровня риска.

Таблица X. Матрица риска приведена только в качестве примера

Качественная характеристика частоты события	Частота события в год	Серьезность последствия			
		Катастрофическое	Значительное	Серьезное	Незначительное
Частое	$>1$	В	В	В	С
Вероятное	$1 - 1^{-1}$	В	В	С	М
Случайное	$1^{-1} - 1^{-2}$	В	В	М	М
Маловероятное	$1^{-2} - 1^{-4}$	В	В	М	М
Неправдоподобное	$1^{-4} - 1^{-6}$	В	С	Н	Н
Невероятное	$<10^{-6}$	С	С		Н

В матрице использована следующая классификация риска:

- В - высокая величина риска;
- С - средняя величина риска;
- М - малая величина риска;

- Н - незначимая величина риска.

Применительно к данному примеру серьезность последствия определяется следующим образом:

- Катастрофическое - практически полная потеря промышленного объекта или системы. Много смертельных исходов;
- Значительное - крупный ущерб промышленному объекту или системе. Несколько смертельных исходов;
- Серьезное - тяжелое ранение, серьезное профессиональное заболевание, серьезный ущерб промышленному объекту или системе;
- Незначительное - легкое ранение, профессиональное заболевание легкой формы или незначительное повреждение системы.

Несмотря на то, что в ГОСТ приведен только пример матрицы риска, в изучаемых источниках можно найти другие приемы, такие как диаграмма «причина-последствие» или кривая Фармера (на основе примера «f» из [японец, 485 стр.]).

В таблице X23 приведена диаграмма «причина-последствие», построенная на основе полученных вероятностях инцидентов и их последствий. Например событие «поломка насоса» соответствует ожидаемому числу отказов — 0.088 за 6 месяцев работы (межремонтный период насоса). Вероятность того, что останов приведет к «гидроудару», равна 0,02. Последствиями гидроудара являются потери, обозначенные параметрами от  $C_0$  до  $C_4$ ; они составляют 1000 рублей., если будет повреждено оборудование (с вероятностью  $P_0(1-P_1)$ ), и  $5 \cdot 10^{-7}$  рублей, если разрушится вся гидравлическая часть (вероятность равна  $P_0P_1P_2P_3P_4$ ). Потери от простоя оцениваются в 1000 рублей в 1 час. Таким образом, общие потери составляют

$$C_0 = 1000 \text{ рублей} + (2)(1000 \text{ рублей}) = 3000 \text{ рублей};$$

$$C_1 = 15000 \text{ рублей} + 24000 \text{ рублей} = 39000 \text{ рублей и т. д.}$$

Зная следующие значения параметров, определим возможные последствия для каждого события, затем результаты представим графически в зависимости от вероятности его возникновения, показав на графике постоянную линию риска, оцениваемого в 300 рублей.

Таблица X. X23 диаграмма «причина-последствие»

Обозначение вероятности события	Значение параметра
$P_0$	Вероятность — 0,088 / 6 месяцев
$P_1$	Вероятность — 0,02

Обозначение вероятности события	Значение параметра
$P_2$	Отказ по вине персонала — 0,1
$P_3$	Система огнетушения $\lambda = 10^{-4}$ , T (период испытания) = 730 Управление системой огнетушения $\lambda = 10^{-5}$ , T = 4380 Оборудование системы огнетушения $\lambda = 10^{-4}$ , T (период испытания) = 730
$P_4$	Управление противопожарной сигнализацией $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$ , T = 2190 Аппаратура противопожарной сигнализации $\lambda = 10^{-5}$ , T = 2190

Решение. Событие  $C_0$ . Вероятность  $P_0 (1-P_1) = (0,088)(1-0,02) = 0,086$ . Сопутствующий риск составляет  $(3000 \text{ рублей})(0,086) = 258 \text{ рублей}$ . (см. таблицу X111)

Таблица X111. Вычисление риска.

Событие	Последствие, руб.	Вероятность события	Риск, руб.
$C_0$	3000	0,086	258
$C_1$	39000	$1,53 \cdot 10^{-3}$	60
$C_2$	$1,744 \cdot 10^6$	$2,24 \cdot 10^{-4}$	391
$C_3$	$2 \cdot 10^7$	$1,03 \cdot 10^{-5}$	206
$C_4$	$5 \cdot 10^7$	$6,69 \cdot 10^{-7}$	33
			948 / 6 месяцев = = 1896 / год

Событие  $C_1$ . Вероятность  $P_2$  есть коэффициент простоя для системы, выделенной пунктиром в левом нижнем блоке на рисунке 13.1. Полагая, что отказ происходит в промежутках между испытаниями, для огнетушителя имеем  $Q = \lambda(t) = (10^{-4}) \cdot \left(\frac{730}{2}\right)$ . Поскольку имеется логический знак «или», то с помощью формулы (7.18) подсчитываем точное значение

$$Q_2 = P_2 = 0,1 + (10^{-4}) \left(\frac{730}{2}\right) (1 - 0,1) = 0,133 ;$$

$$Pr(c_1) = P_0 P_1 (1 - P_2) = (0,088)(0,02)(1 - 0,133) = 1,53 \cdot 10^{-3} .$$

Событие  $C_2$ . Вероятность  $P_3$  есть

$$Q_3 = P_3 = (10^{-5}) \left(\frac{4380}{2}\right) + [1 - (10^{-5}) \left(\frac{4380}{2}\right)] [10^{-5} \left(\frac{4380}{2}\right)] = 0,043 ;$$

$$Pr(c_2) = P_0 P_1 P_2 (1 - P_3) = (0,088)(0,02)(0,133)(0,957) = 2,24 \cdot 10^{-4} .$$

Событие  $C_3$ .

$$P_0 P_1 P_2 P_3 = (0,088)(0,02)(0,133)(0,043) = 1,03 \cdot 10^{-5} .$$

Событие  $C_4$ .

$$P_4 = (10^{-5})\left(\frac{2190}{2}\right) + [1 - (10^{-5})\left(\frac{2190}{2}\right)][(5 \cdot 10^{-5})\left(\frac{2190}{2}\right)] ;$$

$$Pr(c_4) = P_0 P_1 P_2 P_3 P_4 = (1,03 \cdot 10^{-5})(0,065) = 6,69 \cdot 10^{-7} .$$

На рисунке 13.2. показана фермеровская кривая риска, в том числе нанесены прямые, соответствующие 300-рублевому риску. Этот тип графика оказывается полезным при определении расчетных критериев для аварийных событий при известных последствиях и приемлемом уровне риска.

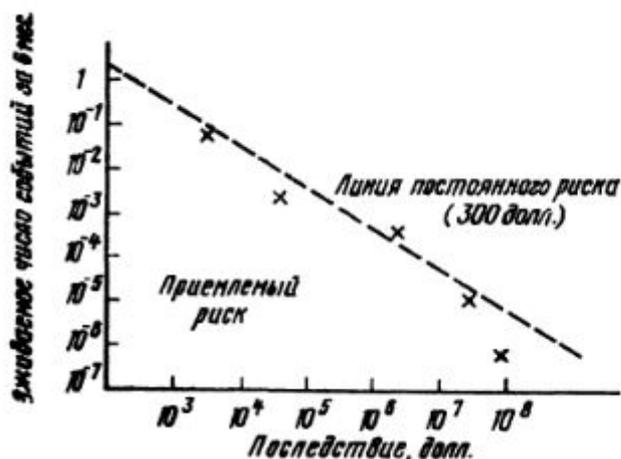


Рис. 13.2. Кривая Фермера оценки риска

Рисунок 13.2. фермеровская кривая риска

**В заключении** анализа риска выполняется проверка результатов анализа (возможно с привлечением другой группы экспертов), корректировка результатов анализа с учетом последних данных и документальное обоснование (отчет в утвержденной форме)

Полученные значения риска сравниваются с установленной законодательством или согласованной с Заказчиком и заинтересованными сторонами величиной приемлемого риска. (например, Величина индивидуального пожарного риска, установленного Федеральным законом №123-ФЗ, не должна превышать значение 1Е-6 в год при размещении отдельного человека в наиболее удалённой от выхода из здания, сооружения и строения точке.)

Если риск превышает приемлемый, анализируются все отобранные на предыдущих этапах анализа решения и отбираются те из них, которые позволяют снизить его величину до приемлемой с наименьшими затратами. Разрабатываются предложения заказчику для реализации. Если риск не превышает приемлемый, то приводится обоснование достаточной безопасности объекта.

## ОПИСАНИЕ ИДЕИ:

Если выделить все вероятности, связанные с «человеческим фактором» и снизить их вероятность (за счет использования имитаторов), то мы и можем пересчитать все деревья отказов и диаграмм событий (предполагая, что персонал не ошибается) и можем вычислить снижение ожидаемого риска (в денежном выражении, в количестве пострадавшего персонала и причиненного вреда здоровью, как экологический ущерб и т.д.) :

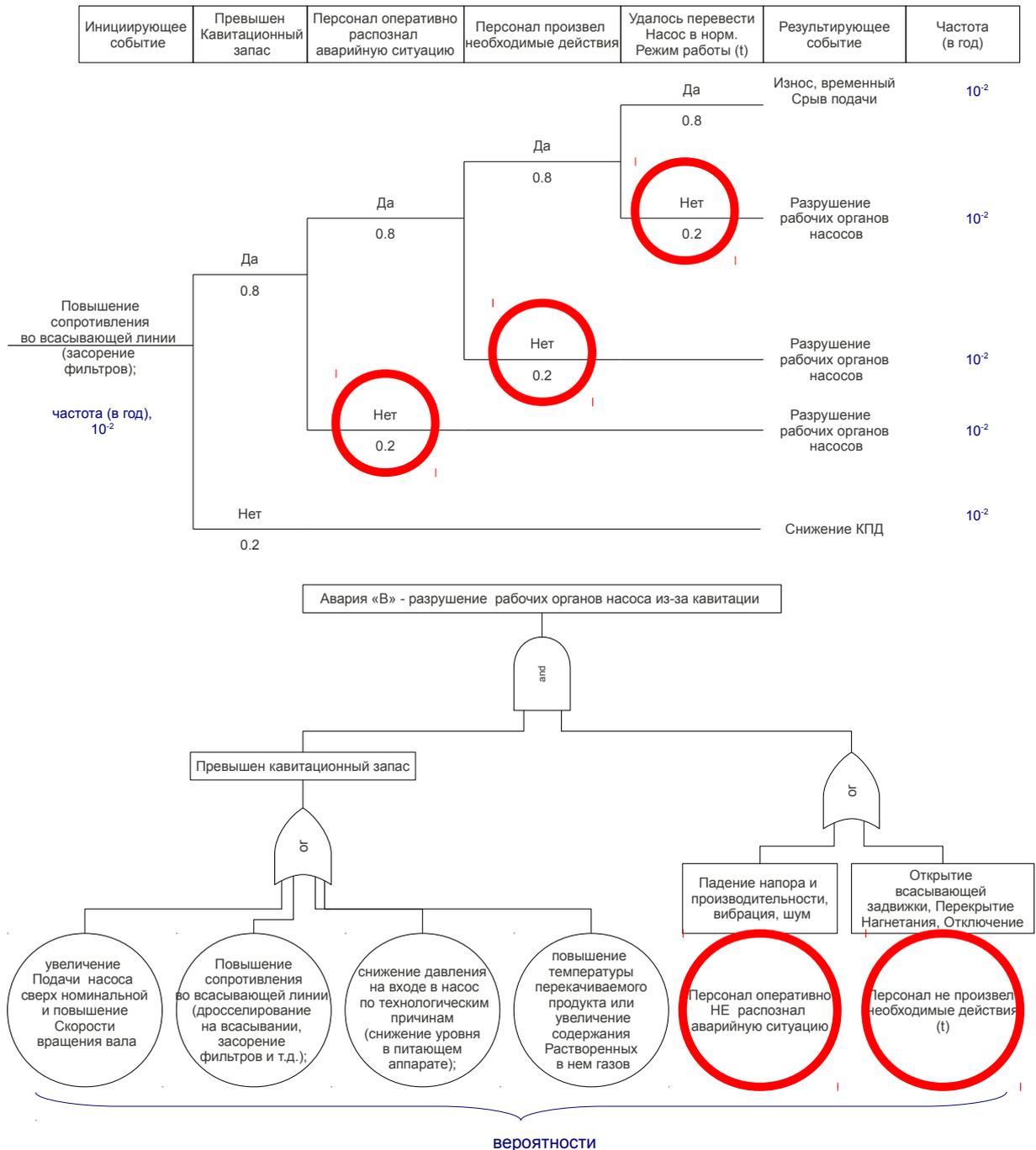


Рисунок X. Унижения вероятности аварии за счет уменьшения вероятности «человеческого фактора»

При этом необходимо учитывать и другие способы обучения персонала и анализировать соотношения ЭФФЕКТ\ЗАТРАТЫ для всех вариантов обучения персонала. Таким образом, возможна ситуация, когда часть задач оптимально решать с использованием имитаторов, а часть задач эффективнее решать при помощи других способов.

Для количественного обоснования эффективности имитаторов в процессе принятия решений при управлении рисками необходимо решение следующих задач:

1. Необходимо доказать возможность снижения значений вероятности человеческого фактора за счет обучения персонала в принципе. В результате необходимо доказать, то, что снижение значения вероятности человеческого фактора может быть достигнуто путем обучения персонала, определенным в процессе анализа рисков, необходимым знаниям\умениям\навыкам.
2. Необходимо определить зависимость между необходимыми «качествами» имитатора (критерии оценки имитаторов, глава 3) и его способностью к формированию необходимых знаний\умений\навыков. Это необходимо для того чтобы ответить на вопрос «какой имитатор необходим, чтобы развить необходимые знания\умения\навыки и снизить, связанные с ними, определенные значения вероятности человеческого фактора»
3. Необходимо определить зависимость между необходимыми «качествами» имитатора и затратами на его разработку (или покупку) и эксплуатацию.
4. Необходимо найти эффект от применения имитаторов (прогнозируемое снижение рисков ):

$$\text{Эффект} = \frac{A - B}{C}, \text{ где}$$

- A - Ожидаемый риск (потери) с учетом текущего значения вероятности человеческого фактора;
- B - Ожидаемый риск (потери) с учетом уменьшения вероятности человеческого фактора (за счет использования тренажеров);
- C - Затраты на создание (или покупку) и использование имитаторов в процессе подготовки персонала.

**\*допускается ввод переменной времени (Т), но вероятности рисков А и В уже содержат в себе время (за год или за 1000000 часов)**

В результате определение эффективности имитаторов (знания\умения\навыки) и стоимости имитаторов, а также прогнозируемое снижение рисков при их применении (ЭФФЕКТ), позволяет обоснованное применение имитаторов при принятии решений о снижении рисков (Рисунок Х888.).

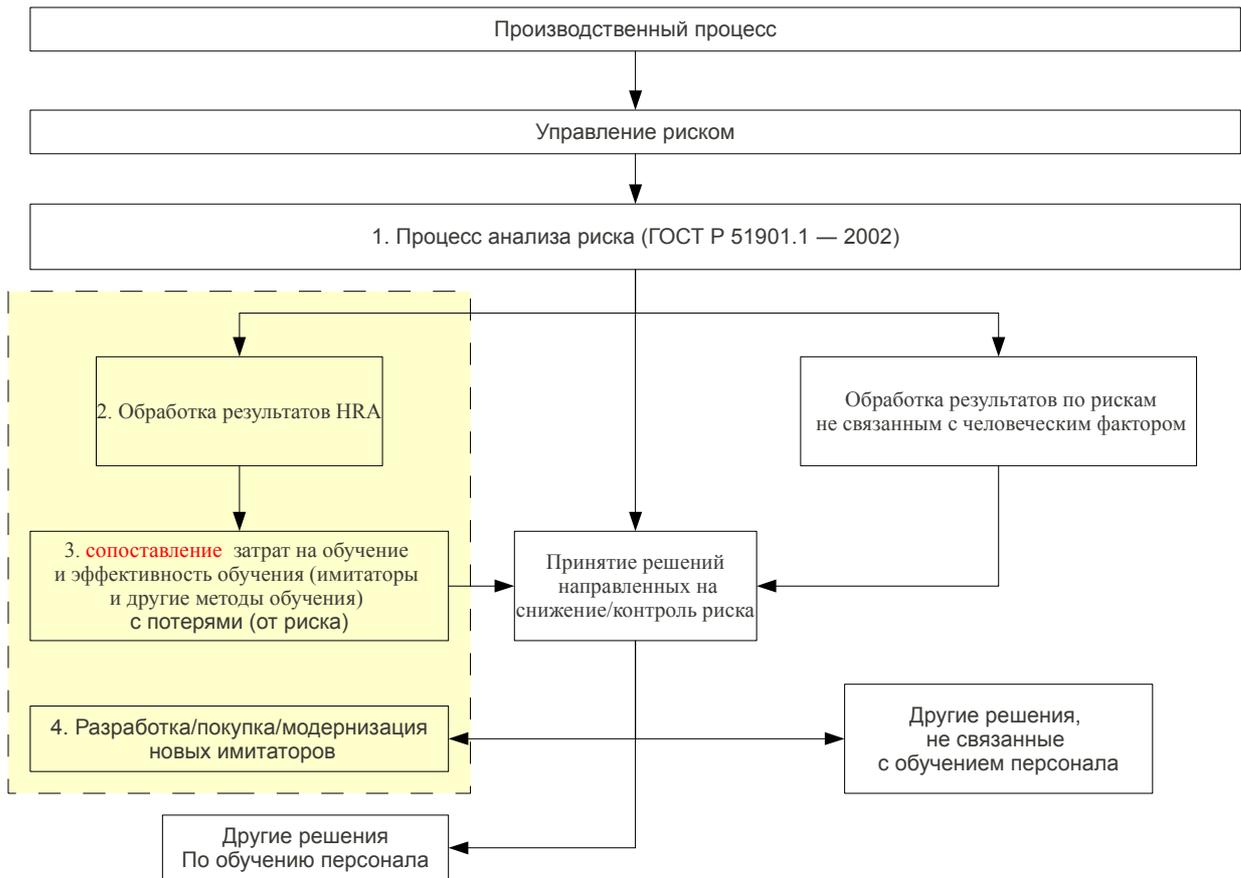


Рисунок X888. Выделение системы из среды (как части процесса управления риском)

## 5.1. Способности и ограничения имитаторов для снижения вероятности человеческого фактора

Инженерная психология — отрасль психологии, исследующая процессы и средства информационного взаимодействия между человеком и машиной. Важнейшими составляющими его стали процессы восприятия и переработки оперативной информации, принятия решений в условиях ограниченного времени, роста цены ошибочных действий и т.д.

Психология обучения — раздел педагогической психологии, посвященный изучению психической деятельности в условиях обучения. Процесс учения во всей его сложности, его возрастные и индивидуальные особенности, его специфика в зависимости от содержания изучаемой учащимися дисциплины составляют основной предмет исследований психологии обучения. В соответствии с этим психология обучения подразделяется на общую и специальную. В своей общей части психология обучения тесно соприкасается с дидактикой, а в специальных разделах — с частными методиками.

Основная принципиальная линия психологии обучения состоит в том, что она направлена на раскрытие тех изменений, которые происходят в психической деятельности учащихся в процессе обучения: переход от незнания к знанию, последовательные этапы или ступени, через которые проходит учащийся, овладевая знаниями, умениями, навыками, те способы или приемы, какими выполняются задания, те качественные сдвиги, которые происходят в умственных операциях или умственных действиях в ходе обучения.

В первую очередь необходимо выделить те факторы, на которые мы можем воздействовать при помощи обучения и факторы, не поддающиеся коррекции или очень слабо корректируемые при помощи обучения.

Сразу можно сказать, что к не корректируемым или слабо корректируемым факторам относятся психофизиологические и психологические ограничения человека, например:

1. Рассеянность проявляется как нарушение психического равновесия, причем наблюдается недостаточность избирательных реакций и принятие неправильных решений.
2. Даже при идеальных условиях продолжительность реакции у человека равна примерно 0,1 сек., среднее время реакции:
  - при осязательных раздражениях равно от 90 до 190 тысячных сек.;
  - при звуковых раздражениях — от 120 до 180 тысячных сек.;
  - при зрительных раздражениях — от 150 до 220 тысячных сек.
3. Органы чувств:
  - Восприятие направлений, расстояний и пространственных соотношений предметов
  - Восприятие вращательных движений тела
  - Восприятие изменений силы тяжести по величине и направлению
  - Восприятие положения и движения тела и их изменений
  - Ориентирование в положении и движении тела
  - Акустическое ориентирование по направлению и расстоянию
4. Температура, давления и т. д.:
  - Влиянии вибрации: зрительные наблюдения из сильно вибрирующего самолета затруднены, нарушается механика собственных рефлексов мышц
  - Кислородная недостаточность или отравление: нарушение общих интеллектуальных способностей.
  - Холод вызывает торможение терморецепторов и паралич механорецепторов, снижается точность движений и возникают болевые ощущения и мышечная дрожь. Кроме того, появляется общее недомогание, сопровождающееся нервной раздражительностью, невнимательностью.
  - Действие ускорений оказывает влияние на психические и интеллектуальные способности человека. Так, например, было

доказано, что увеличение ускорения от 1,5 до 3 g уже оказывает заметное влияние на правильность снятия показаний приборов.

5. Другие ограничения:

- Не может выполнять одновременно несколько видов работ организованно и надежно. Здесь имеются в виду операции, которые выполняются человеком сознательно и требуют его внимания.
- Не могут регистрировать сигналы, которые находятся за пределами человеческого восприятия.
- Ограниченная мышечная сила и т. д.

6. Другие ограничения:

- «Алкогольное отравление» и т.д.

Указанные факторы могут оказать существенное воздействие на когнитивные и физические действия персонала при выполнении работ (X390) но с трудом могут быть снижены при помощи обучения персонала.



Рисунок X390. Пример процесса деятельности персонала (модель поведения) [синяя книга, страница с рисунком 3.6.]

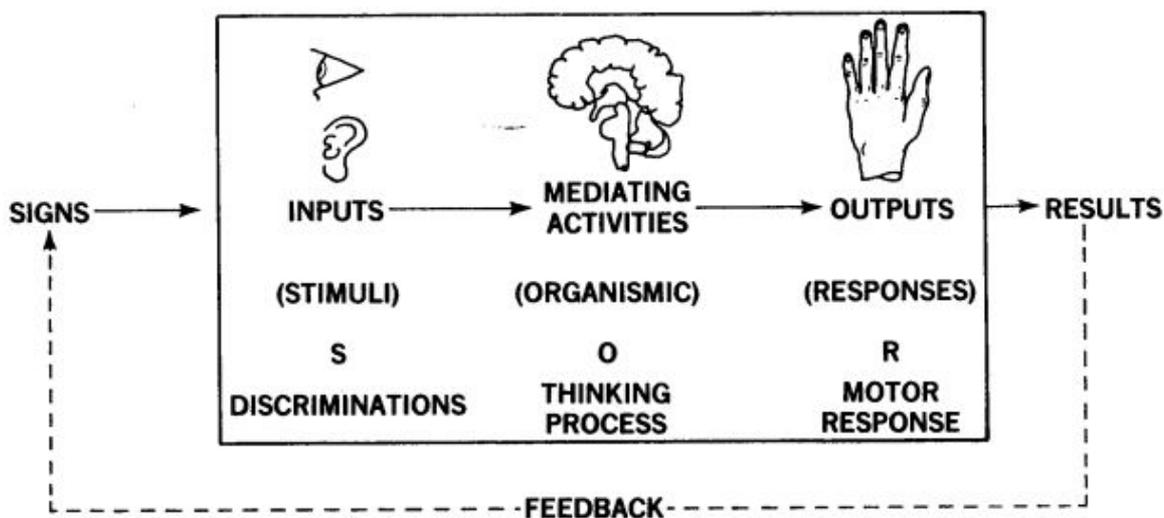


Рисунок X983. Человек оператор в системе с обратной связью [NUREG CR-1278-1, страница figure 3.1.]



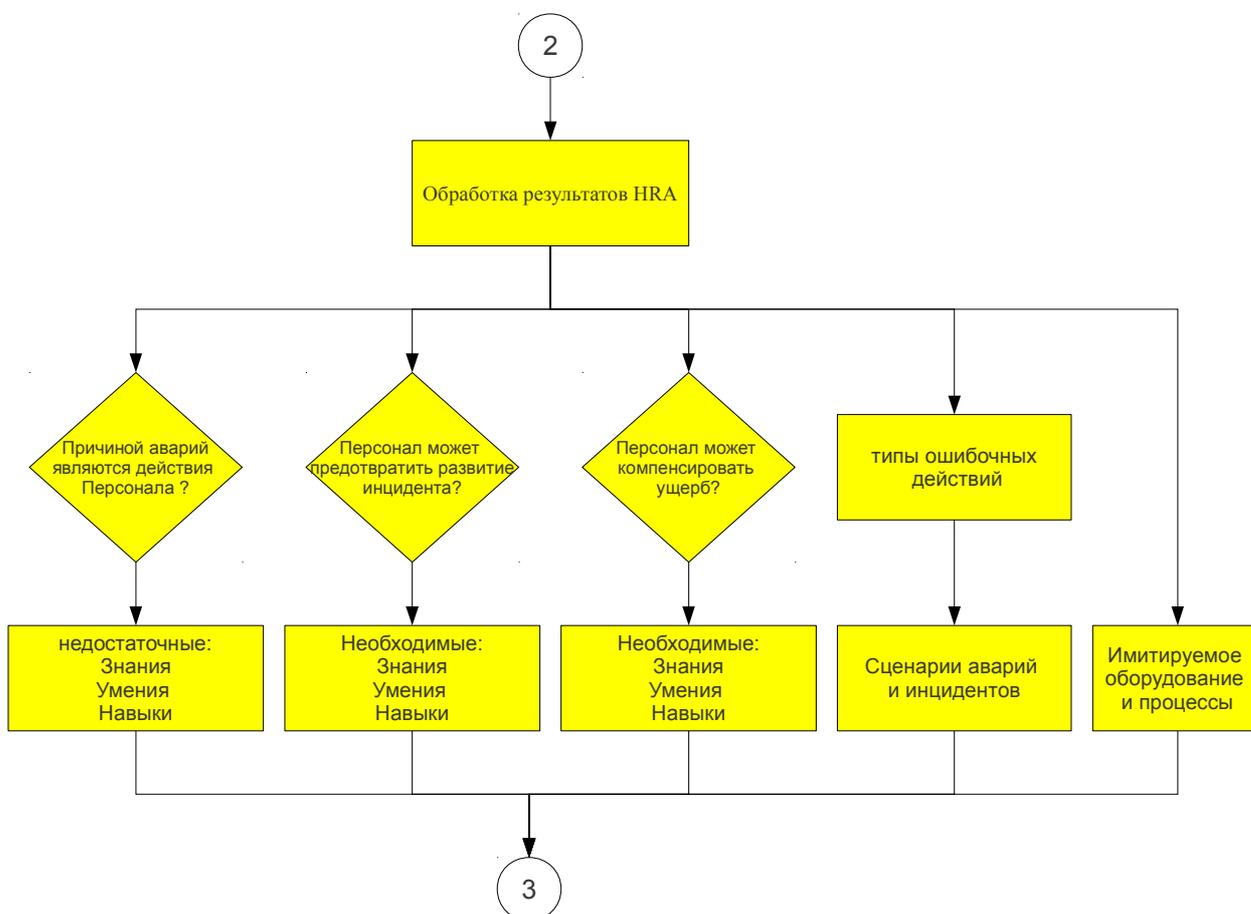
Рис. 9. Замкнутый круг процесса управления.

Рис. 9. Замкнутый круг процесса управления (выполняются рефлекторно). - отсутствие осознанной «диагностики и принятия решения» [тренажеры летного состава]

**Вывод:** Имитаторы могут снизить вероятность человеческого фактора путем формирования:

- Знаний, умений и навыков обнаружения (признаки отклонений, неисправностей и т. д.)
- Знаний, умений и навыков диагностики (подтверждение, установление причин, оценка серьезности)

- Знаний, умений и навыков принятия решений (выбор алгоритма действий, логической цепочки)
- Знаний, умений и навыков выполняемых действий (физическая реализация принятого решения)



и логически следующие из пунктов 1.2.3....

- психологическая адаптация персонала (готовность к возникновению аварийной ситуации). Затем всем испытуемым дали одинаковые задачи – очень трудные, но которые испытуемые на данном уровне знаний могли решить. Их решили только испытуемые второй группы, а те, у которых был опыт беспомощности, – не справились. Выводы сделать несложно: необходимо, чтобы каждый обучаемый в течение дня **испытывал успех и преодолевал трудности**. Ни в коем случае нельзя допускать, чтобы трудности приводили к фазе истощения.
- психологическая стимуляция для соблюдения правил и техники безопасности (понимание имеющейся опасности и угрозы)
- **развитию познавательной мотивации, основанной на мотиве ожидаемого удовольствия от процесса и результата познания, осознанию себя как социального существа.**

Так в [дозорцев, стр. 205] говорится о возможностях тренинга в процессе выработки отдельных навыков и умений. На сегодня такую возможность можно считать практически доказанной [21, 124 из дозорцева]

### 5.1.1. Тренировка «знаний, умений и навыков» обнаружения

Необходимо обратиться к результатам исследований процесса восприятия информации от этапа физиологической настройки системы восприятия на объект на уровне безусловных рефлексов до этапа сознательного выбора и обработки информации на уровне мышления.

На основании имеющихся данных [ФИЗИОЛОГИЯ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ, Процесс восприятия, .....], можно сделать вывод о том, что важнейшим условием высокой продуктивности памяти является эффективное использование анализаторов при восприятии информации. Человек, как правило, воспринимает информацию в первую очередь, используя свои доминирующие анализаторы (зрение, слух или кинестетические ощущения), причем чем всестороннее и интенсивнее используются анализаторы, тем интенсивнее (и эффективнее) протекает процесс восприятия, и связанный с ним процесс запоминания.

Психологическое исследование процесса восприятия выдвигает следующие задачи:

1. Ознакомление с современным состоянием физиологических и психологических исследований вопросов восприятия применительно к авиационной психологии.
2. Исследование роли настроения и внимания в процессе восприятия.
3. Исследование сопутствующих психических явлений, влияющих на процесс восприятия.

Физиологический процесс зрительного восприятия в такой степени известен и так полно описан, что можно составить себе довольно ясное представление о действующих при этом механизмах.

#### ВРЕМЯ РЕАКЦИИ

Тренировка, влияя исключительно на сенсорные процессы, сокращает продолжительность реакции на 40—70%

Травис (1948) исследовал эффективность влияния, тренировочных упражнений на продолжительность реакции узнавания. Он пришел к выводу, что тренировка почти исключительно влияет на сенсорные процессы, сокращая продолжительность реакции на 40%. Гератеволь благодаря тренировке нашел, что продолжительность реакции уменьшается до 70% В то же время продолжительность конвергенции и аккомодации во время опытов Трависа оставалась постоянной (200 тысячных сек.).

#### восприятие внешних факторов

восприятия и в значительной степени поддается тренировке (шум, дождь, ветер и т. д.)

Хотя для целей анализа процессов восприятия и реакции является необходимым выделять и изолировать отдельные переменные факторы, нельзя забывать, что на практике нормально имеют место лишь сложные явления.

Поэтому Бартлетт (1948) подчеркивает необходимость определения общей продолжительности реакции (overall response time), тем более что для двигательных

**реакций** должен быть соблюден принцип целостности, не позволяющий ни расчленять реакции на отдельные элементы, ни складывать эти элементы. Взгляд в сторону, например, характеризуется не только продолжительностью движения глаз, фовеальной восприимчивостью (перцепция), раздражением ретинальных перцепторов (сетчатки глаз), нервной проводимостью и синаптической связью, центральным раздражением, структурной организацией и т. д., но также общей конъюнктурой раздражения, то есть психической настроенностью субъекта, распределением и силой его внимания, мотивированностью действия, степенью усталости и «свежести» организма, представлением о цели и смысле действия и др. Время на реакцию будет затрачено только с учетом всего перечисленного.

Вывод:

1. если обучаемый видел (на имитаторе) какие-либо признаки аварии, то он их будет лучше различать (обнаруживать) в реальности; + большая концентрация внимания на потенциально опасных элементах.
2. Внешние отвлекающие факторы (дождь, ветер) будут мешать обнаружению не так сильно; - меньшая потеря концентрации
3. Скорость обнаружения может быть увеличена (показания приборов, положение объектов и т. д.)
4. больше и лучше обращает внимание на параметры процесса, расположение людей, показания приборов и т.д.

### 5.1.2. Тренировка «знаний, умений и навыков» диагностики

Этот подход позволяет принимать решения, основываясь на анализе и понимании ситуации, динамики ее изменения, а **не исходя из традиционного принципа проб и ошибок**. Возможность осуществления предварительного анализа ситуации и предвидения ее ожидаемых изменений делает ситуационный подход гораздо более эффективным и позволяет избежать порой значительных потерь ресурсов и времени. В основу ситуационного подхода положен ситуационный анализ. [ Орлов А.И. Теория принятия решений. Учебное пособие. – М.: Экзамен, 2006. – 576с.]

Для того чтобы принять эффективное решение, необходимо понимать, насколько важен подготовительный процесс, который, в свою очередь, состоит из семи значительных этапов. Весь процесс подготовки, как уже было сказано, состоит из семи этапов, таких как:

- - **получение информации о сложившейся ситуации на конкретный момент времени;**
- - проведение анализа данной ситуации (сопоставил показания приборов, расположение оборудования и т. д. И замечил потенциальную угрозу);
- - выявление всех существующих проблем ситуации, их ранжировка, выбор основной проблемы;
- - диагностика основной проблемы;
- - прогнозная разработка вероятного развития ситуации;
- - постановка проблемы;
- - **формирование идей по поиску решений относительно данной ситуационной проблемы.**

В большей степени от того, насколько эффективно проведены стадии подготовки, зависит точность принятого решения.

### 5.1.3. Тренировка «знаний, умений и навыков» принятия решений

В психологии принятия решений исторически сложилось так, что в создаваемых моделях в данной области человек рассматривался как существо рациональное, которое ищет взвешенные, разумные, оптимальные решения. Предполагалось, что рациональный человек принимает решения, просчитывая ожидаемую полезность каждой из альтернатив, ориентируясь на вероятности исходов или на некоторые логические правила. К таким моделям относятся постулаты классической рациональности (У.Эдвардс), представления об ограниченной рациональности (Г.Саймон), теория экологической рациональности (Г.Гигеренцер) и др.

У рационального человека в привычных ситуациях преобладают механические решения, выработанные методом проб и ошибок, порождаемые фиксированной процедурой, основанной на усвоенных ранее правилах, что позволяет экономить мыслительные усилия. Люди, которые ежедневно принимают множество решений, постоянно имеют в голове множество шаблонов (У.Джемс) и каждое новое решение стараются подвести под хорошо знакомую схему. Мыслительные шаблоны, когнитивные упрощения / эвристики, репродуктивные решения – все эти явления подчеркивают склонность человека пользоваться готовыми умственными схемами в ответ на ситуацию принятия решения [Хэммонд и др., 2006; Канеман и др., 2005; Пономарев, 1976].

В XXI веке мир вокруг человека становится все более неустойчивым, существующие рациональные способы принятия решения устаревают, они не отвечают меняющимся требованиям, появляется все больше информации и остается все меньше времени на обдумывание решений. Усложнение окружающей среды, ускоренное развитие современных информационных обуславливает осознание человеком множественности альтернатив и многообразия подходов к принятию решений, стимулирует развитие умения выходить из сложных, неопределенных и конфликтных ситуаций.

#### Постановка проблемы

Область применения понятия «принятие решения» весьма широка. Кроме общей психологии она охватывает психологию управления (принятие управленческих решений), социальную психологию (коллективное принятие решения), психофизиологию (процесс, переводящий афферентный синтез в программу действия), инженерную психологию (как основной процесс в деятельности оператора), а также ряд непсихологических дисциплин (философия, социология, экономика и др.) [Психология, 1990, с. 292].

В психологическом подходе к изучению принятия решений выделяются различные когнитивные, мотивационные и личностные (эмоциональные, волевые) детерминанты выбора.

В зарубежных когнитивных моделях принятия решений когнитивные и личностно-мотивационные факторы в основном включаются в модели выбора в качестве переменных, искажающих идеальные рациональные стратегии принятия решений [Канеман, 2005; Кун и др., 2008; Payne, 1993; Beattie, 1994].

В отечественной психологии проблема принятия решения традиционно рассматривается в рамках произвольного регулирования, а сам процесс принятия решения – как последовательная процедура: оценка исходной ситуации, постановка цели, выбор способа достижения, системы результата, оценка целей, результатов и способов действий [Завалишина и др., 1976; Корнилова, 2003]. Ставится задача конкретизации принципов активности личности как субъекта деятельности и как субъекта познания. Рассматривается когнитивная и личностно-мотивационная регуляция деятельности по принятию решений, целостного процесса принятия решений, а также отдельных процессов.

На основе анализа современной литературы, посвященной проблеме принятия

решения, можно констатировать, что процесс принятия решения изучается локально, в рамках отдельных дисциплин и направлений психологии, при этом единой психологической концепции, единого представления о факторах, влияющих на эффективное принятие решения, до сих пор не сформировано. Это объясняется немалыми трудностями методологического и методического уровня разработки проблемы, что является отражением реальной сложности проблемы принятия решения и отчасти объясняет междисциплинарность научного подхода к данному многомерному явлению.

Для диагностики различных составляющих процесса принятия решений разработано крайне мало методик, которые оценивают, как правило, именно отдельные стороны процесса принятия решения.

Наличие данной проблемы поставило перед нами задачу – разработать диагностическое средство для системного изучения процесса принятия решения. Процесс принятия решений рассматривается нами как интегративный процесс, связывающий в единое целое когнитивные, эмоционально-волевые, мотивационные, коммуникационные психические процессы для формирования последовательности действий, ведущих к достижению цели на основе преобразования исходной информации в ситуации неопределенности. Процесс принятия решений является центральным на всех уровнях переработки информации, а также психической саморегуляции и самоуправления в системе целенаправленной деятельности.

Поскольку процесс принятия решений является многомерным конструктом, очевидна сложность его измерения. И сам процесс разработки диагностического инструмента связан с переносом методологического акцента на проблему развития умений и навыков принимать эффективные решения в условиях быстро меняющегося мира.

При психометрической проверке рассматривались общий показатель по тесту ШООСПР (суммарный балл) и пять шкальных показателей (суммарный балл по 10 утверждениям каждого блока):

- 1) информационный;
- 2) когнитивный;
- 3) эмоционально-волевой;
- 4) мотивационный;
- 5) коммуникационный.

Приведем примеры вопросов процессуального блока, исследующего параметры сформированности этапов принятия решения. «При принятии конкретных решений в профессиональной деятельности я: могу предугадать события будущего; обдумываю все последствия; мыслю путем комбинирования различных фактов, информации, проявлений, а не последовательно, ступенчато; быстро формирую 4–5 вариантов решений; провожу тщательный логический анализ, взвешиваю все "за" и "против"; легко представляю наглядный образ сложившейся ситуации; группирую различные элементы ситуации между собой, сочетаю разные варианты».

Постановка проблемы.

Формулировка ограничений и критериев принятия решения.

Определение альтернатив.

Оценка альтернатив.

Выбор альтернативы.

Реализация решения.

Контроль за исполнением решения.

#### **5.1.4. Тренировка «знаний, умений и навыков» выполняемых действий**

**УПРАВЛЕНИЕ.** Главной задачей пилота является управление машиной. Оно представляет собой довольно сложный процесс, в котором должны быть выполнены как сенсорная {54} (то есть чувственная), так и моторная (то есть двигательная) работа. Соотношение между необходимыми для управления самолетом движениями тела пилота и вызванными этими движениями изменениями положения самолета в воздухе таково, что движения по управлению уже после короткой тренировки выполняются рефлекторно. Схематически процесс управления как замкнутый круг изображен на рис. 9.

**ТОЧНОСТЬ.** Анализ этой формы движения показал, что копирование воспроизводимого движения не является следствием единого движения, а есть результат многочисленных, периодических частичных движений, **точность которых может быть увеличена путем тренировки.**

**Возможность тренировки** в координации подтверждена экспериментальными исследованиями. Механизация и автоматизация сенсомоторных процессов достигается благодаря уменьшению порога раздражения для рефлексов, {189} лежащих в основе координации.

#### **АВТОМАТИЗМ**

Схема реакции, которая предшествует автоматизированному движению, исчезает частично или полностью по мере увеличения автоматизма. Еще до Ван дер Вельдта Роу (1910), изучая экспериментально явления автоматизма, установил, что направление внимания испытуемого непосредственно на самый процесс мешает осуществлению последнего. Если достигнута определенная степень тренировки, автоматическое движение протекает без произвольного управления.

### **5.2. Определение требований к имитаторам для формирования необходимых знаний, умений и навыков**

Определение в главе №3 ключевых показателей эффективности и систематизации пользовательских требований позволяет решить одну из ключевых задач данной методики - определение требований к имитаторам для формирования необходимых знаний, умений и навыков.

#### **ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛНОТЫ ВОСПРИНИМАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ:**

Таким образом, можно говорить о связи «качества» информационного обмена между обучаемым и имитатором (синтезируемое видео, звук, механизм взаимодействия и т.д.). Например изображение, имеющее высокую степень подобия оригиналу, имеющее большую детализацию, вызывает более подробное «исследование объекта» и соответственно получение большего количества информации и впечатлений. В свою очередь это вызывает

цепочку: более эффективное использование анализаторов → более эффективное восприятие информации → более высокая продуктивность памяти → лучшее обучение.

Предлагаемый способ определения требований к имитаторам основывается на выборе значений 15+4 факторов. «Место» этих факторов в процессе формирования ТЗ, создания и внедрения имитатора в учебный процесс показано на рисунке X932.

Каждый фактор характеризуется 2 значениями. Коэффициент качества [0..1] — характеризует соответствие имитируемой и воспринимаемой информации (звуковой, зрительной, тактильной и т.д.) реальной. Например, 1 — максимальное соответствие, человек не ощущает разницы между имитируемой воспринимаемой информацией и реальной. Значение 0,1 означает малое соответствие, т. е. обучаемый ощущает значительную разницу между воспринимаемой информацией получаемой из имитатора и информацией, получаемой из окружающей действительности в процессе работы.

Коэффициент стоимости [0..∞] показывает во сколько раз возрастет базовое количество ресурсов, необходимое для реализации данного элемента (стоимость оборудования или количество человеко-часов специалиста, создающего этот элемент).

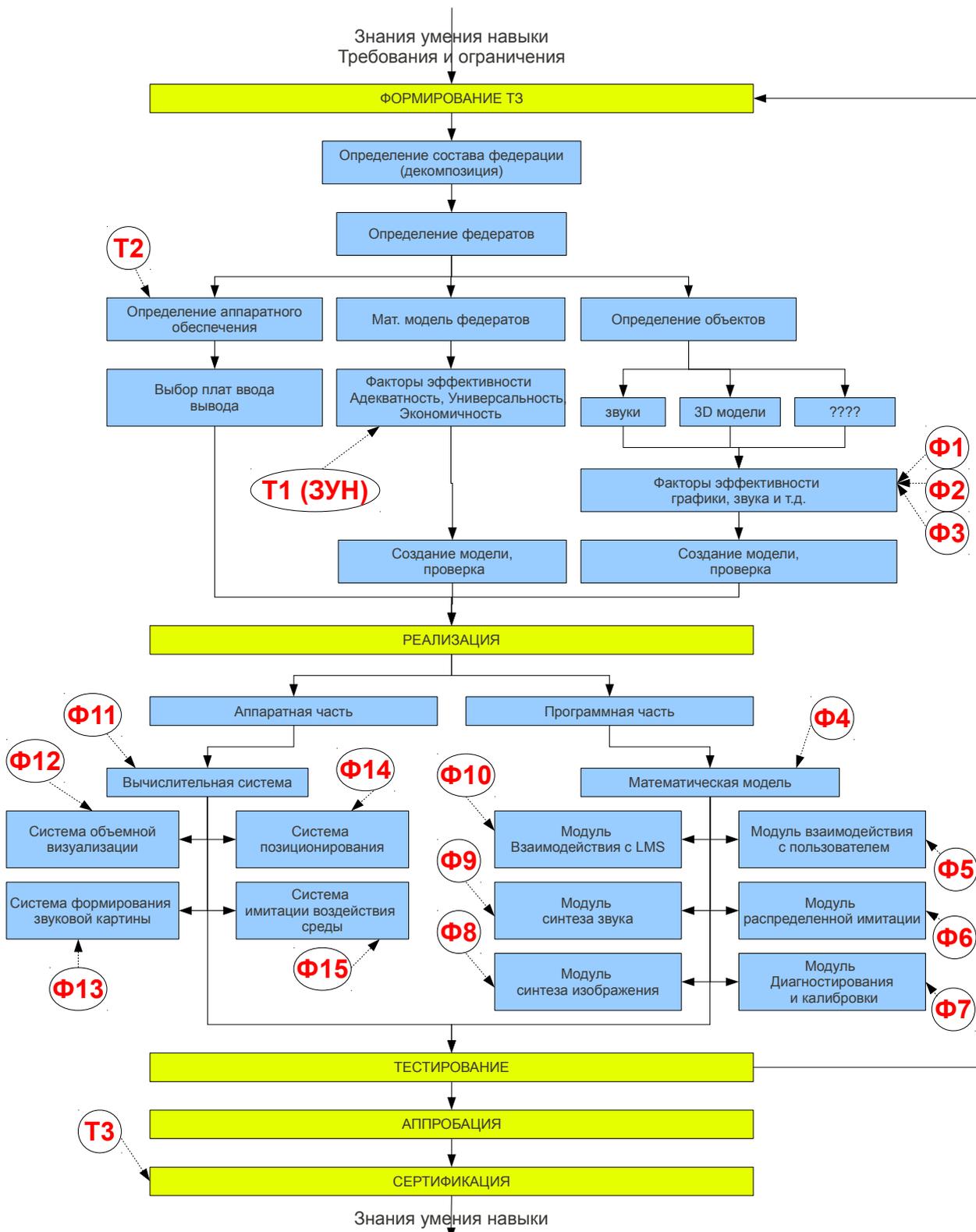


рисунок Х932. Факторы в процессе формирования Т3, создания и внедрения имитатора в учебный процесс

Т3 (требование к сертификации), Т4 (требования к лицензированию ПО), Ф11 (Поддерживаемые программно-аппаратные платформы) не влияют на формирование знаний, умений или навыков. Фактор Ф8 (модуль синтеза изображения)- Не влияет на формирование ЗУН. Фактор Ф5 «модуль взаимодействия с пользователем» - Не влияет на формирование ЗУН.

Начинаем с определения самого главного фактора  $T_1$  — требования к знаниям\умениям\навыкам фактически задают параметры универсальности и адекватности математической модели. Подробное описание данного фактора приводится в главах 3.5. и 4.1. Универсальность задает список имитируемого оборудования и имитируемых процессов (берется из требования к знаниям\умениям\навыкам). Адекватность имитаторов для формирования знаний может быть меньше, по сравнению с имитаторами для формирования умений. Наиболее высокая адекватность, соответственно, должна быть у имитаторов для формирования навыков. В целом, снижение адекватности не должно вызывать «ложных» срабатываний у опытного персонала, работающего с этим оборудованием в реальности.

<b><math>T_1</math> — требования к знаниям\умениям\навыкам</b> <b>Вес фактора — 100% ( получаемые знания, умения и навыки определяют эффективность имитатора на все 100%)</b>		
степень соответствия	Фактор качества	Фактор стоимости
<b>Универсальность математической модели ( <math>T_{1A}</math> )</b>		
Имитируется полный спектр оборудования и происходящих процессов (имеется полное соответствие с реальными условиями работы персонала), учитываются все возможные события, способные привести к возникновению инцидента	1	Пропорционально количеству учитываемых в модели факторов
Имитируется только строго определенный список выполняемых действий (не все действия реально выполняемые персоналом) и необходимое для этого оборудования и процессы, учитываются все возможные события, способные привести к возникновению инцидента, возможные при выполнении заданных действий	0,7	Пропорционально количеству учитываемых в модели факторов
Имитируется только жестко заданный порядок действий с заранее заданными возможными событиями, способными привести к возникновению инцидента	0,5	1
<b>Адекватность математической модели (Точность модели в сравнении с данными реальной системы) ( <math>T_{1B}</math> )</b>		
Точность не менее 99%. Разница не заметна даже опытным специалистам, работающим на данном оборудовании. Применяется для очень важных переменных.	1	10
Точность не менее 80-90%. Разница слабо заметна. Возможны «ложные» срабатывания у опытного персонала.	0,7	5
Точность не менее 70%. Допустимо только для «второстепенных» параметров модели, в противном случае может стать причиной «неправильного» понимания работы системы и соответственно отрицательного эффекта обучения.	0,2	1

Ф4, Ф11 — Группа факторов, связанных с работой в реальном времени, а также в ином масштабе времени. Задание «частоты» реального времени и экономичность математической модели (Ф4), которая в свою очередь зависит от заданной ранее (в Т1) адекватности и функциональности математической модели формируют требования к вычислительной системе (Ф11). В главах 3.5.2. и 4.1.6. указано, что в качестве меры вычислительных ресурсов используются Gflops и в зависимости от необходимых Gflops выбирается один из нескольких вариантов: одна вычислительная система; кластерные вычисления; ресурсы современных графических процессоров; комбинация 2х последних. Данный фактор обеспечивает заданную «частоту реального времени», а также обеспечивает запас «ускорения» что влияет на формирование ЗУН (нет раздражения от «дерганий» и «ускорений»)

Даже при идеальных условиях продолжительность реакции у человека равна примерно 0,1 сек., среднее время реакции:

- при осязательных раздражениях равно от 90 до 190 тысячных сек.;
- при звуковых раздражениях — от 120 до 180 тысячных сек.;
- при зрительных раздражениях — от 150 до 220 тысячных сек.

<b>Ф4, Ф11 — Группа факторов, связанных с работой в реальном времени, а также в ином масштабе времени (соотношение способностей человека «порог скорости восприятия человека» с возможностями имитатора)</b>		
степень соответствия	Фактор качества	Фактор стоимости
<b>Частота обновлений имитатора (видеоинформация, аудио, тактильная и т. д.) ( <math>\Phi 4_A</math> )</b>		
Соответствует или превышает «порог скорости восприятия человека»	1	10
Меньше «порога скорости восприятия человека», но обучаемый этого не замечает	0,9	4
Меньше «порога скорости восприятия человека», и обучаемый это ощущает	0,5	1

$$\text{Итог по имитационной модели: } \Phi K_{\text{ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ}} = \frac{(T1_A + T1_B + \Phi 4_A)}{2} ;$$

Ф8, Ф12, Ф1 — Группа факторов качества синтезируемого изображения и систем формирования изображения. В целом, данная группа факторов отвечает за то, чтобы качество графики позволяло обучаемому производить работу на имитаторе имея достаточный объем и качество графической информации для выполнения работ. Качество изображения не должно затруднять процесс обучения и создавать дополнительную нагрузку на обучаемого. В идеале обучаемый не должен замечать значительную разницу между синтезируемым изображением и реальным.

Фактор качества синтезируемого изображения ( $\Phi 1$ ) — степень соответствия синтезируемого изображения оригиналу. Подробное описание данного фактора приводится в главе 3.2.

При оценке степени соответствия синтезируемого изображения оригиналу целесообразно использовать, как в кинематографии и телевидении, три уровня подобия: физическое, психофизическое (физиологическое) и психологическое. Психологическое подобие может использоваться только для формирования знаний, формирование умений и навыков требует использования физического, психофизического (физиологического) подобия.

<b><math>\Phi 1</math> — степень соответствия синтезируемого изображения оригиналу</b> <b>Вес фактора — 70% (70% информации человек получает из зрения) ( <math>\Phi I_A</math> )</b>		
степень соответствия	Фактор качества	Фактор стоимости
физическое	1	3
психофизическое	0,5	2
психологическое	0,1	1

Фактор системы визуализации ( $\Phi 12$ ) — отвечает за восприятие синтезируемого изображения обучаемым. Подробное описание данного фактора приводится в главах 4.2. и 4.5. На эффективность обучения влияют следующие характеристики системы визуализации:

1. Соответствие наблюдаемому пространству пользователя. Для шлем-дисплейных систем и сферических систем проецирования это значение FOV (глава 4.5.3.2.), для cave-систем это количество проекций. Является важным, если обучаемый персонал использует боковое и периферийное зрение в процессе работы.
2. Объемное восприятие или плоское. Если в процессе работы обучаемого персонала требуется точное определение расстояний до объектов и точная оценка размеров объектов, то необходима объемная визуализация. Кроме того имеются данные что при объемной визуализации наблюдаются увеличение доли запоминаемой информации.
3. Необходимая детализации изображения (разрешение), фактически задает необходимое разрешение изображения, например разрешение 800\*600 не позволяет прочитать надписи уже на малом отдалении, а разрешение 3840\*2160 позволит прочитать надписи даже на относительно большом отдалении.
4. Качество цветопередачи при восприятии играет важную роль, если точность передачи цвета является критически важной. В таком случае система визуализации должна иметь необходимую глубину цвета и механизм калибровки цветопередачи. Существующие решения, такие

как ATI FireGL V7350 поддерживают глубину цвета в 40 и 64-bit (более 281.5 триллионов цветов)

<b>Ф12 — Фактор системы визуализации</b>		
<b>Вес фактора — 70% (70% информации человек получает из зрения)</b>		
степень соответствия	Фактор качества	Фактор стоимости
<b>Соответствие наблюдаемому пространству пользователя (fields-of-view) ( <math>\Phi 12_A</math> )</b>		
Соответствует полному полю зрения человека включая периферийное	1	20
Соответствует полному полю зрения не включая периферийное	0,8	10
Неполное поле зрения	0,5	1
<b>Объемное восприятие ( <math>\Phi 12_B</math> )</b>		
Да	1	2
Нет	0,5	1
<b>Детализации изображения (разрешение) ( <math>\Phi 12_C</math> )</b>		
сходя из разрешающей способности глаза, которая составляет примерно 1 угловую минуту (примерно 3400*3400 pixel для каждого глаза)	1	20
Видео высокой четкости (1920*1080)	0,8	10
1280*768	0,6	6
1024*768	0,4	4
800*600	0,2	1
<b>Качество цветопередачи ( <math>\Phi 12_D</math> )</b>		
Исходя из способности зрения человека 40 и 64-bit, калибровка цветопередачи	1	10
24-bit, калибровка цветопередачи	0,95	1
16-bit	0,5	1
8-bit	0,05	1
<b>Скорость обновления изображения ( <math>\Phi 12_E</math> )</b>		
Соответствует или превышает «порог скорости восприятия человека»	1	10
Меньше «порога скорости восприятия человека», но обучаемый этого не замечает	0,9	4
Меньше «порога скорости восприятия человека», и обучаемый это ощущает	0,5	1

Итог по зрительной системе:  $\Phi K_{\text{ЗРЕНИЕ}} = \frac{\Phi 1_A * (\Phi 12_A + \Phi 12_B + \Phi 12_C + \Phi 12_D + \Phi 12_E)}{5}$

Ф9, Ф13, Ф2 - Группа факторов качества синтезируемого звука и системы формирования звукового окружения. В целом, данная группа факторов отвечает за то, чтобы качество звука позволяло обучаемому производить работу на имитаторе имея достаточный объем и качество звуковой информации о работе оборудования или происходящих процессах. В идеале обучаемый не должен замечать значительную разницу между синтезируемым звуковым окружением и реальным окружением, свойственным для изучаемого оборудования.

Группа факторов качества синтезируемого звука и системы формирования звукового окружения подробно описана в главах 3.3. и 4.3. На эффективность обучения влияют следующие характеристики синтезируемого звука и системы формирования звукового окружения:

1. Учитывать затухание звука (правильная передача частот и громкости)
2. Звуковые эффекты окружающей среды (эффект окклюзии (occlusion — преграждение), возникающий при прохождении звука через препятствие; Obstruction (помеха, препятствие); Exclusions (исключение), когда источник и слушатель находятся в разных комнатах, но между ними есть прямая видимость, и, как следствие, звук полностью попадает к слушателю, а отраженный звук пройдет через проем в стене не весь и исказится.)
3. Объемное восприятие (Учет влияния ориентации пользователя и источников звука в пространстве)

Имитаторы, имеющие отрицательные характеристики рассматриваемых параметров могут использоваться только для формирования знаний, формирование умений и навыков требует использования всех характеристик.

<b>Ф9, Ф13, Ф2 - Группа факторов качества синтезируемого звука и системы формирования звукового окружения.</b>		
<b>Вес фактора — 10% (10% информации человек получает из зрения)</b>		
степень соответствия	Фактор качества	Фактор стоимости
<b>Учет затухания звука (правильная передача частот и громкости) ( <math>\Phi_{9A}</math> )</b>		
Достоверная физическая модель	1	10
Упрощенная модель затухания	0,8	2
Отсутствие затухания	0,5	1
<b>Звуковые эффекты окружающей среды ( <math>\Phi_{9B}</math> )</b>		
Достоверная физическая модель	1	10
Упрощенная модель	0,8	2
Нет	0,5	1
<b>Объемное восприятие ( <math>\Phi_{9C}</math> )</b>		
Да	1	2

<b>Ф9, Ф13, Ф2 - Группа факторов качества синтезируемого звука и системы формирования звукового окружения. Вес фактора — 10% (10% информации человек получает из зрения)</b>		
степень соответствия	Фактор качества	Фактор стоимости
Нет	0,5	1
<b>Скорость обновления (синхронизация с видео) ( <math>\Phi 9_D</math> )</b>		
Соответствует или превышает «порог скорости восприятия человека»	1	3
Меньше «порога скорости восприятия человека», но обучаемый этого не замечает	0,9	2
Меньше «порога скорости восприятия человека», и обучаемый это ощущает	0,5	1

$$\text{Итог по слуховой системе: } \Phi K_{\text{слух}} = \frac{(\Phi 9_A + \Phi 9_B + \Phi 9_C + \Phi 9_D)}{5} ;$$

T2, Ф14, Ф15, Ф3 - Группа факторов качества механизмов взаимодействия между пользователем и имитатором. Фактор соответствия механизмов взаимодействия между пользователем и имитатором оригиналу (Ф3), рассмотрен в главе 3.4. Механизмы взаимодействия могут быть реализованы при помощи различных методов и аппаратных средств:

1. на основе стандартных средств ввода\вывода;
2. На основе систем формирования виртуальной реальности.
3. полная или частичная копия рабочего места «в железе» (полномасштабные модели щитов управления и т.д.);

<b>Ф3 — Фактор соответствия механизмов взаимодействия между пользователем и имитатором оригиналу ( <math>\Phi 3_A</math> )</b>		
степень соответствия	Фактор качества	Фактор стоимости
на основе стандартных средств ввода\вывода, что соответствует реальному рабочему окружению обучаемого (например, оператор за ЭВМ)	1	1
на основе стандартных средств ввода\вывода, не соответствует реальному рабочему окружению обучаемого	0,5	1
На основе систем формирования виртуальной реальности	см. Ф14, Ф15	
Полная или частичная копия рабочего места «в железе»	см. T2	

Если в качестве механизма взаимодействия выбрана VR необходимо уточнить характеристики фактора Ф14 — система позиционирования. Система позиционирования передает в имитатор такие параметры обучаемого как сгиб пальцев, положение и наклон кистей рук, положение и наклон головы, перемещение в пространстве, поворот туловища и т. д.

Наличие такой информации и ее точность определяется тем, какие действия выполняет обучаемый и какая точность этих действий необходима.

[к VR — устройствам ввода]

Для систематизации двигательных реакций различали следующие их формы: статические реакции, реакции положения и двигательные реакции. При этом необходимо, чтобы глаз или другие органы чувств контролировали это движение.

<b>Ф14 — Фактор соответствия механизмов взаимодействия между пользователем и имитатором оригиналу (соотношение способностей человека к возможностям VR)</b>		
степень соответствия	Фактор качества	Фактор стоимости
<b>Количество перчаток (левая, правая) ( <math>\Phi 14_A</math> )</b>		
Для левой и правой руки	1	2
Только для левой или правой руки	0,8	1
<b>Количество сенсоров сгиба пальцев на перчатке ( <math>\Phi 14_B</math> )</b>		
>16	1	8
16	0,9	6
10	0,8	4
5	0,7	2
<5	0,6	1
<b>Точность сенсоров сгиба пальцев на перчатке ( <math>\Phi 14_C</math> )</b>		
> 16 bit	1	4
14 bit	0,9	3
12 bit	0,8	2
8 и менее	0,7	1
<b>Точность положения и наклона кистей рук (6DOF) ( <math>\Phi 14_D</math> )</b>		
$\pm 2$ мм ( $<1^\circ$ ) и меньше	1	3
$\pm 4$ ( $>1^\circ$ ) мм	0,9	2
Более $\pm 5$ ( $>2^\circ$ ) мм	0,8	1
<b>Точность положения и наклона головы (6DOF) ( <math>\Phi 14_E</math> )</b>		
$\pm 2$ мм ( $<1^\circ$ ) и меньше	1	3
$\pm 4$ ( $>1^\circ$ ) мм	0,9	2
Более $\pm 5$ ( $>2^\circ$ ) мм	0,8	1
<b>Перемещение в пространстве, поворот туловища (6DOF) ( <math>\Phi 14_F</math> )</b>		
$\pm 2$ мм ( $<1^\circ$ ) и меньше	1	3
$\pm 4$ ( $>1^\circ$ ) мм	0,9	2
Более $\pm 5$ ( $>2^\circ$ ) мм	0,8	1
<b>Количество обновлений в секунду (инертность) ( <math>\Phi 14_G</math> )</b>		

<b>Ф14 — Фактор соответствия механизмов взаимодействия между пользователем и имитатором оригиналу (соотношение способностей человека к возможностям VR)</b>		
Соответствует или превышает «порог скорости восприятия человека»	1	3
Меньше «порога скорости восприятия человека», но обучаемый этого не замечает	0,9	2
Меньше «порога скорости восприятия человека», и обучаемый это ощущает	0,5	1

Фактор воздействия среды (осознания) обеспечивает имитацию воздействия среды на обучаемого (Ф15), а именно существующие системы (глава 4.5.6.) способны имитировать различные воздействия, например, силовое сопротивление во всех суставах, сенсорный контакт, удары, вибрация, крена(наклон) и т. д. Необходимость такого рода воздействия определяется тем, какие воздействия воспринимает обучаемый в реальной работе.

[В требования к кинетическим факторам]

В то же время усилия, потребные для управления, если они адекватны организму человека, обеспечивают лучшее представление о действии рулей и режиме полета.

<b>Ф15 — Фактор имитации воздействия среды (осознания) (соотношение способностей человека к возможностям VR)</b>		
степень соответствия	Фактор качества	Фактор стоимости
<b>Имитация силового сопротивления во всех суставах рук (если необходимо!) ( <math>\Phi 15_A</math> )</b>		
Во всех	1	10
Частично	0,6	4
Нет	0,4	1
<b>Имитация сенсорного контакта рук (если необходимо!) ( <math>\Phi 15_B</math> )</b>		
Да, для каждого пальца	1	4
Да, для руки целиком	0,8	2
Нет	0,5	1
<b>Имитация силового сопротивления во всех суставах ног (если необходимо!) ( <math>\Phi 15_C</math> )</b>		
Во всех	1	10
Частично	0,6	4
Нет	0,4	1
<b>Имитация сенсорного контакта ног (если необходимо!) ( <math>\Phi 15_D</math> )</b>		
Да, для каждого пальца	1	4

<b>Ф15 — Фактор имитации воздействия среды (осязания) (соотношение способностей человека к возможностям VR)</b>		
степень соответствия	Фактор качества	Фактор стоимости
Да, для ноги в целом	0,8	2
Нет	0,5	1
<b>Имитация вибрации/ударов (общая или индивидуальная) (если необходимо!) ( <math>\Phi 15_E</math> )</b>		
Да	1	4
Нет	0,5	1
<b>Имитация крена (общая, платформа) (если необходимо!) ( <math>\Phi 15_F</math> )</b>		
Да	1	10
Нет	0,5	1
<b>Имитация ускорения\замедления (общая, платформа) (если необходимо!) ( <math>\Phi 15_G</math> )</b>		
Да	1	50
Нет	0,5	1
<b>Количество обновлений в секунду (инертность) ( <math>\Phi 15_H</math> )</b>		
Соответствует или превышает «порог скорости восприятия человека»	1	3
Меньше «порога скорости восприятия человека», но обучаемый этого не замечает	0,9	2
Меньше «порога скорости восприятия человека», и обучаемый это ощущает	0,5	1

- VirtualSphere.
- давления, жара, центробежной силы и т. д.

T2 — требования к аппаратному обеспечению федерации (аппаратные федераты). Подробное описание данного фактора приводится в главах 3.4. и 4.4. Если требуется формирование навыков и оборудование представлено локальными щитами управления — должны быть использованы федераты, реализующие механизм взаимодействия в виде копии рабочего места (дополнительно требует наличие Ф6 — поддержки распределенной имитации (HLA)). Если этот вариант связан со значительными трудностями (например размер) — реализовать при помощи технологии формирования виртуальной реальности.

При формировании требований к аппаратным федератам необходимо указать (см. Рисунок 4.4.5.) перечень и характеристики следующих элементов:

- Корпус имитируемого оборудования
- Устройства управления и их датчики
- Индикаторы и управляющие элементы

- Модули ввода/вывода
- Шасси
- Контроллер

Например, необходима имитация щита управления и сигнализации (ЩУС) компрессорной установки 4ВУ1-5/9.

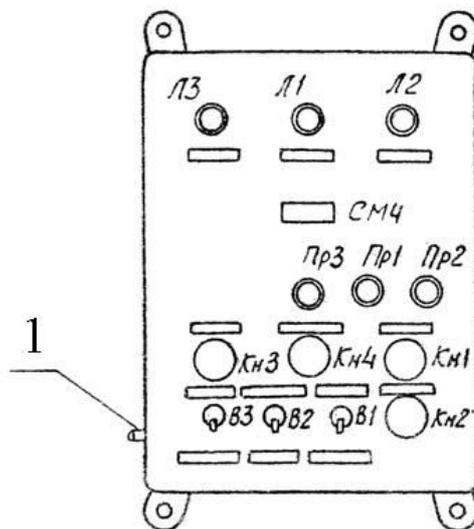


Рисунок XX. Щит управления и сигнализации (ЩУС), где

- Л1 лампа “перегрев I ступени”
- Л2 лампа “перегрев II ступени”
- Л3 лампа работает счетчик моточасов
- Пр1, Пр2, Пр3 предохранители
- Кн1 кнопка “пуск”
- Кн2 кнопка “стоп”
- Кн3 кнопка “продувка”
- Кн4 проверка сигнализации
- В1 выключатель питания
- В2 переключатель режимов управления
- В3 переключатель выбора способа регулирования производительности
- 1 болт заземления

Т2 — требования к аппаратному обеспечению (аппаратные федераты) Вес фактора — 100% ( получаемые навыки определяют эффективность имитатора на все 100%) ( T2 <sub>A</sub> )		
степень соответствия	Фактор качества	Фактор стоимости
Элементы контроля и управления имитируются в полном составе, соответствуют оригиналу по виду, расположению, яркости, необходимому усилию для переключения, воспроизводимым звукам, времени срабатывания и т.д.	1	Пропорционально количеству и стоимости элементов
Элементы контроля и управления имитируются в полном составе, остальные характеристики (расположение, цвет и	0,8	Пропорционально количеству и

<b>T2 — требования к аппаратному обеспечению (аппаратные федераты)</b> <b>Вес фактора — 100% ( получаемые навыки определяют эффективность имитатора на все 100%) ( T2<sub>A</sub> )</b>		
степень соответствия	Фактор качества	Фактор стоимости
т. д.) могут незначительно отличаться от оригинала		стоимости элементов
Элементы контроля и управления имитируются в полном составе, характеристики элементов могут значительно отличаться от оригинала	0,6	Пропорционально количеству и стоимости элементов

Итог по группе «Осязание»:

$\Phi K_{\text{ОСЯЗАНИЕ}} = \Phi 3_A$  - если используются стандартные устройства ввода/вывода;

$\Phi K_{\text{ОСЯЗАНИЕ}} = \frac{\sum_{a=A}^G \Phi 14}{7} + \frac{\sum_{a=A}^H \Phi 15}{8}$  - если используются средства формирования

виртуальной реальности VR;

$\Phi K_{\text{ОСЯЗАНИЕ}} = T2_A$  - если используются

**Ф6** — фактор, одновременно отвечающий за поддержку распределенной имитации (главы 3.10. и 4.6.) и, соответственно, обеспечивающий возможность многопользовательского доступа (в т.ч. участие инструктора). Если создаваемый имитатор должен (возможно в будущем) входить в состав имитатора более высокого уровня, выполнение требования является обязательным. Также поддержка распределенной имитации дает возможность подключения к имитатору множества пользователей. Поддержка тренинга с одновременным участием множества обучаемых является достаточно распространенным требованием при решении огромного количества учебных задач (глава 3.7.).

<b>Ф6 — Фактор, связанный с поддержкой распределенной имитации и обеспечением многопользовательского доступа</b>		
степень соответствия	Фактор качества	Фактор стоимости
<b>Поддержка стандарта IEEE 1516 (возможность входить в состав имитатора более высокого уровня (федерации, распределенной системы имитации)) (если это необходимо!) ( Ф6<sub>A</sub> )</b>		
Да	1	2
Нет (недопустимо)	0	1
<b>Возможность многопользовательского доступа (совместная работа в имитаторе множества обучаемых) (если это необходимо!) ( Ф6<sub>B</sub> )</b>		
Да	1	2

<b>Ф6 — Фактор, связанный с поддержкой распределенной имитации и обеспечением многопользовательского доступа</b>		
<b>степень соответствия</b>	<b>Фактор качества</b>	<b>Фактор стоимости</b>
Нет (недопустимо)	0	1
<b>Возможность участия инструктора (если это необходимо!) ( <math>\Phi\delta_C</math> )</b>		
Да	1	2
Нет (недопустимо)	0	1
<b>Возможность участия «наблюдателей» (если это необходимо!) ( <math>\Phi\delta_D</math> )</b>		
Да	1	2
Нет (недопустимо)	0	1
<b>возможность голосового, видео или текстового общения (если это необходимо!) ( <math>\Phi\delta_E</math> )</b>		
Да	1	2
Нет (недопустимо)	0	1
<b>Скорость обновления (синхронизация с математической моделью, видеосистемой и т. д.) ( <math>\Phi\delta_F</math> )</b>		
Соответствует или превышает «порог скорости восприятия человека»	1	3
Меньше «порога скорости восприятия человека», но обучаемый этого не замечает	0,9	2
Меньше «порога скорости восприятия человека», и обучаемый это ощущает	0,5	1

Итог по группе «Взаимодействие с другими участниками обучения»:  

$$\Phi K_{\text{КОММУНИКАбельность}} = \frac{(\Phi\delta_B + \Phi\delta_C + \Phi\delta_D + \Phi\delta_E + \Phi\delta_F)}{5} ;$$

Ф10 — фактор, определяющий возможность использования имитаторов в системах управления обучением, сертификация ADL. Данная возможность косвенно влияет на формирования знаний, умений и навыков, т. к. не формирует эти навыки сама по себе. Но эта возможность позволяет передавать необходимые данные системе обучения, которая использует эти данные для коррекции обучения, тем самым может косвенно влиять на формирования знаний, умений и навыков. Данная возможность подробно рассмотрена в главах 3.9. и 4.7.

<b>Ф10 — фактор, определяющий возможность использования имитаторов в системах управления обучением</b>		
<b>степень соответствия</b>	<b>Фактор качества</b>	<b>Фактор стоимости</b>
<b>Поддержка стандарта SCORM (если это необходимо!)</b>		
Да	1	2
Нет (недопустимо)	0	1
<b>Характер взаимодействия с LMS-системой (SCO/Assert)</b>		
Запуск и взаимодействие с LMS-системой ("cmi.session_time", "cmi.score.raw", "cmi.score.min", "cmi.score.max", "cmi.score.scaled", "cmi.success_status", "cmi.completion_status" и т.д.)	1	2
Только запуск (не взаимодействует с LMS-системой)	0,8	1

Ф7 — Фактор, связанный с автоматическим и полуавтоматическим диагностированием и калибровкой (глава 3.14.). Данная возможность является важной в процесс работы обучаемых на имитаторе, т.к. гарантирует правильную работу всех средств и устройств ввода/вывода, сбои в работе которых могут вызвать путаницу у обучаемых и инструкторов, а также могут служить причиной неправильного обучения.

<b>Ф7 — Фактор, связанный с автоматическим и полуавтоматическим диагностированием и калибровкой</b>		
<b>степень соответствия</b>	<b>Фактор качества</b>	<b>Фактор стоимости</b>
<b>Поддержка стандарта SCORM (если это необходимо!)</b>		
Для всех устройств ввода/вывода предусмотрено диагностирование и калибровка.	1	2
Нет (недопустимо)	0	1

### **5.3. Определение стоимости разработки и эксплуатации имитатора (по установленным требованиям)**

Предлагаемый способ определения приблизительной стоимости разработки и эксплуатации имитатора (по установленным требованиям) основывается, на использовании человеко-часов, и учете ранее определенных значений 15+4 факторов (рисунок X932).

Сопоставлении затрат возможно либо в денежном отношении либо в необходимом количестве специалистов или человека часов, что представляется более предпочтительным.

Считаем, что, в общем случае, для разработки одного федерата из федерации потребуется:

- А человека-часов специалиста в предметной области (мат. модель);
- В человеко-часов специалиста в области имитационного моделирования (мат. модель);
- С человека-часов специалиста в области 3d-моделирования (графика);
- D человека-часов специалиста по звуку (звук);
- E человека-часов script-программиста (программная реализация);
- F человека-часов специалиста по «железу» (аппаратное обеспечение);
- G человеко-часов специалиста по тестированию (тестирование);

Ранее определенные факторы также влияют на количество человеко-часов для каждой категории (уточняют это значение).

$$A = A_{BASE} * Tl_{УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ} * Tl_{АДЕКВАТНОСТЬ}, \text{ где}$$

$A_{BASE}$  Базовое количество человека-часов специалиста в предметной области

$Tl_{УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ}$  Количество учитываемых факторов (параметров) в модели

$Tl_{АДЕКВАТНОСТЬ}$  Адекватность — точность модели [0-1];

$$B = B_{BASE} * \Phi_6, \text{ где}$$

$B_{BASE}$  Базовое количество человека-часов специалиста в области имитационного моделирования

$\Phi_6$  фактор, одновременно отвечающий за поддержку распределенной имитации и многопользовательский доступ

$$C = C_{BASE} * \Phi_1, \text{ где}$$

$C_{BASE}$  Базовое количество человека-часов специалиста в области 3d-моделирования

$\Phi_1$  Фактор качества синтезируемого изображения — степень соответствия синтезируемого изображения оригиналу

$$D = D_{BASE} * (\Phi_9 \Phi_{13} \Phi_2), \text{ где}$$

$D_{BASE}$  Базовое количество человека-часов специалиста по звуку

$(\Phi_9 \Phi_{13} \Phi_2)$  Группа факторов качества синтезируемого звука и системы формирования звукового окружения.

Зная необходимое количество человеко-часов и стоимость человеко-часа соответствующих специалистов, можно рассчитать общую стоимость, например математической модели федерата:

$$Cost_A = A * Cost_{1Hour A}, \text{ где}$$

$Cost_A$	Расходы на реализацию математической модели федерата
$A$	Необходимое количество человеко-часов для реализации
$Cost_{1Hour A}$	Стоимость одного часа специалиста в предметной области

Зная количество специалистов, можно рассчитать количество часов на разработку имитатора (продолжительность). Или, наоборот, зная ограничение на время разработки имитатора, можно найти количество необходимых специалистов), например математической модели федерата:

$$T_A = A / n_A, \text{ где}$$

$T_A$	Время на разработку математической модели федерата (час)
$A$	Необходимое количество человеко-часов для реализации
$n_A$	Количество специалистов в предметной области

Сумма времени — математика, графика и звук могут создаваться параллельно, а вот скрипт после них, тестирование только в конце....

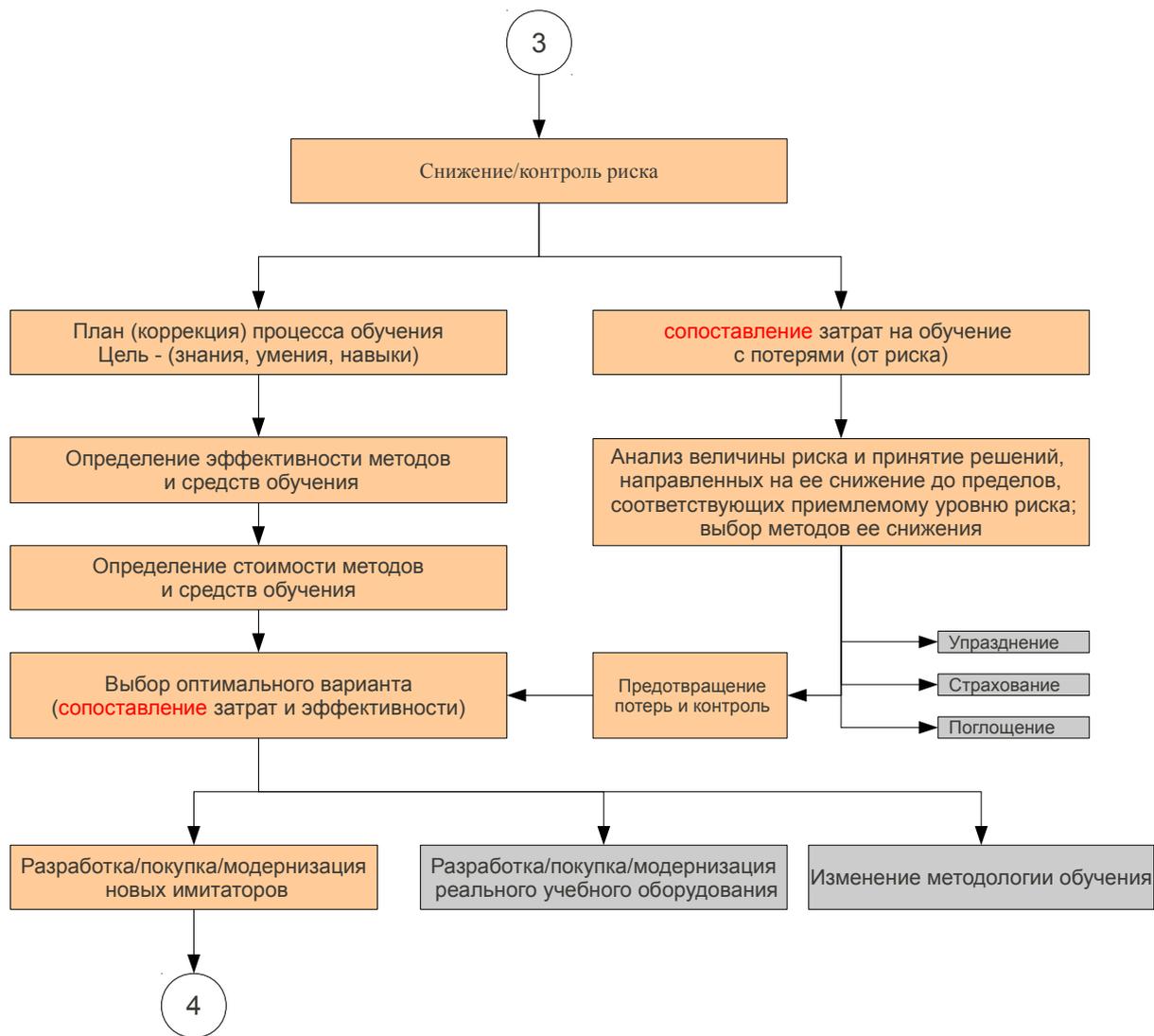
## + стоисоть оборудования .....

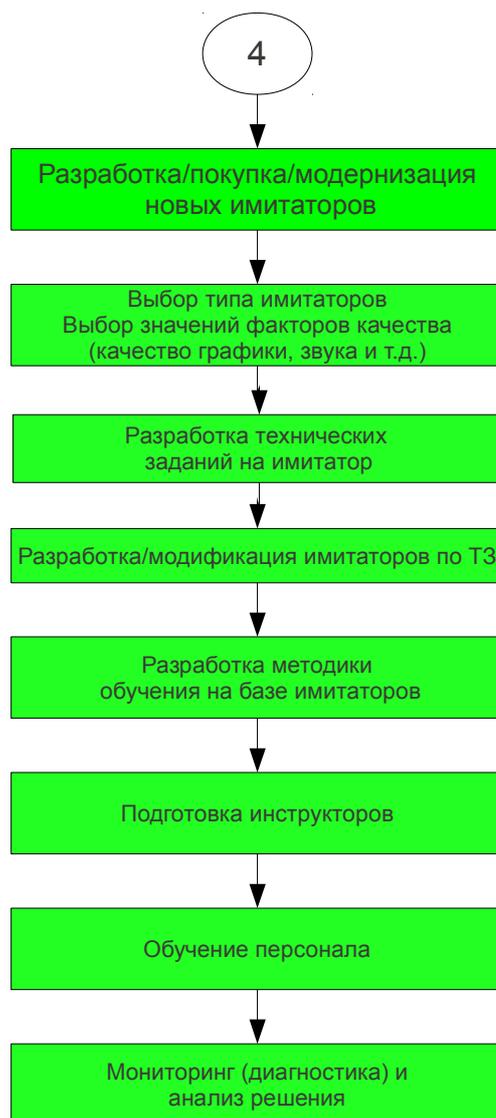
**количество федератов**, у каждого федерата есть атрибуты — это графика звук еще что-нибудь и т. д. Также есть мтематическая модель.....

1. Определение количества федератов в федерации, например, насос, фильтр, электродвигатель, трубопровод, помещение, манометры.... в зависимости от качество умножаем на коэффициенты....
2. Определение матем. Модели федератов, умножение на универсальность и адекватность
3. Определение аппаратных составляющих (железных федератов), плат ввода-вывода
4. Определение всех атрибутов федератов, графика, звуки и т.д.
5. ± ADL, сертификация, лицензирование - корректировка стоимости

Нагрузка на HLA = Ф6 Ф6 + T2 + Ф4 Ф11 +

СТОИМОСТЬ ДОРОГОЙ СЕТЕВОЙ АППАРАТУРА, если HLA качает нормально!!!!!!1





## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАБОТ

Номер этапа	Наименование этапов работ	Чем заканчивается этап
1	Исследование опасности и разработка сценариев возникновения и развития аварий.	Согласование сценариев аварий с Заказчиком
2	Разработка сценариев действий персонала при пуске, остановке и управлении процессом. Согласование сценариев действий персонала с Заказчиком.	Согласование сценариев действий персонала с Заказчиком
3	Разработка сценариев действий персонала для каждого аварийного события в сценарии возникновения и развития аварий. Согласование сценариев действий персонала с Заказчиком.	Согласование сценариев действий персонала с Заказчиком
4	Рекогносцировка и съемка видео пространства установки.	Аннотация
5	Создание компьютерного имитированного пространства.	Аннотация
6	Создание и наполнение баз данных и баз знаний для тренажера персонала.	Аннотация
7	Запись идеальных последовательностей действий и создание предварительной версии тренажера по технологическим схемам.	Аннотация
8	Запись идеальных последовательностей действий и создание	Аннотация

	предварительной версии тренажера по видео пространству.	Инсталляция
9	Поставка предварительной версии тренажера Заказчику для тестирования. Обучение пользователей Заказчика.	предварительной версии тренажера на компьютер Заказчика.
10	Устранение ошибок, выявленных при тестировании и отладка тренажера.	Аннотация
11	Поставка, установка и отладка полномасштабного тренажерного комплекса в компьютерном классе Заказчика. Обучение представителей Заказчика.	Инсталляция полномасштабного тренажерного комплекса на компьютер Заказчика
12	Гарантийное обслуживание	Устранение выявленных недостатков

Если ограничены ресурсы, то выбираем имитаторы с максимальным соотношением Эффективность\Стоимость до выработки ресурсов (наилучший вариант)

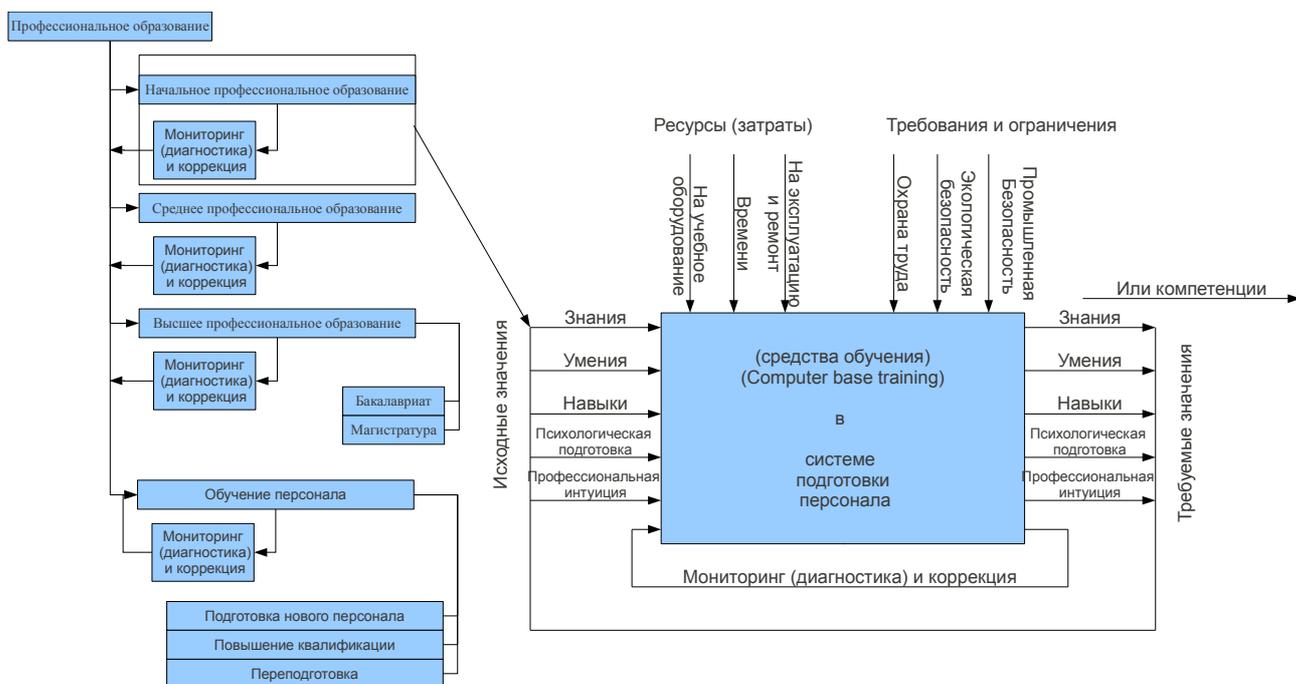
Если задана эффективность. То подбираем имитаторы с максимальным соотношением Эффективность\Стоимость до выхода на нужную суммарну. Эффективность

Если необходим оптимальный вариант, то выстраиваем ряд по сортировке с максимальным соотношением Эффективность\Стоимость и определение точки этой «оптимальности»

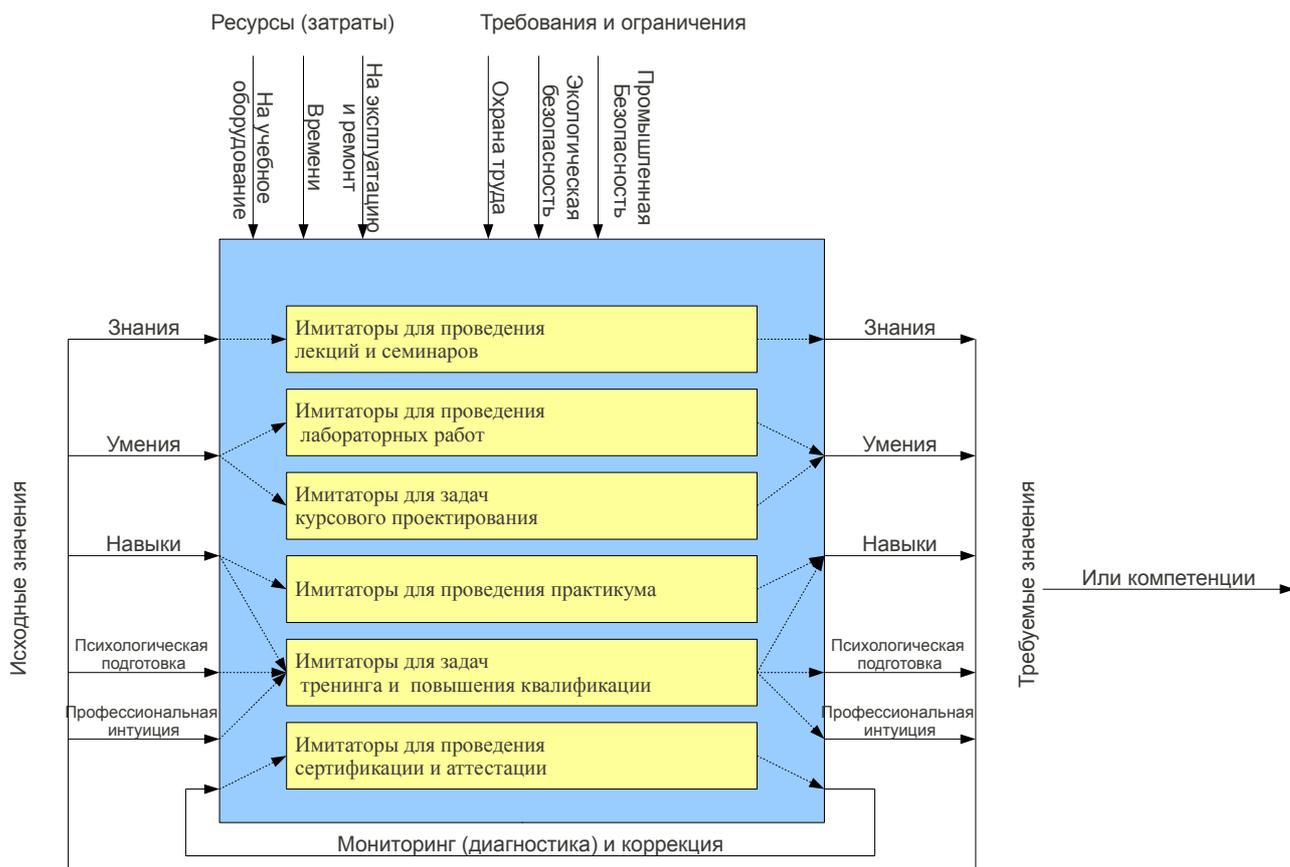
## 6. Использование имитаторов в СПО/ВПО

Решение вопросов классификации имитаторов, ключевых показателей эффективности и систематизации пользовательских требований позволяет перейти к решению вопроса о методике внедрения имитаторов в учебный процесс СПО и ВПО.

1. Цель: Обеспечить максимальные выходные значения компетенций на выходе (Знания Умения Навыки) при заданных ресурсах **при создании имитаторов** (требованиях и ограничениях) путем оптимального выбора весов (коэффициентов) факторов.
2. Цель: Обеспечить выполнение желаемого уровня компетенций (Знания умения навыки) при минимальных расходах ресурсов **при создании имитаторов** путем оптимального выбора весов (коэффициентов) факторов.



можно добавить инструктора и преподавателя (влияние)



## Вместо заключения

Технологии, применяемые при создании имитаторов постоянно совершенствуются. Последние данные о технологиях, методах создания и эксплуатации имитаторов можно получить на следующих конференциях посвященные имитаторам (а также в публикуемых материалах конференций):

- **IITSEC** (Interservice / Industry *Training*, Simulation and Education Conference). ITSE коференция и выставка предназначены для обеспечения взаимодействия между вооруженными силами, промышленностью, научным сообществом и правительственными организациями с целью улучшения образовательных программ. На выставке представят свою продукции наиболее инновационные компании в данной отрасли. Тематические разделы выставки: 3D графика; Симуляторы полетов; Информационные технологии; Общественная безопасность; Коммуникации; Авиакосмическая промышленность; Удаленное обучение. <http://www.iitsec.org>
- **The Winter Simulation Conference** (WSC) сфокусирована на моделировании систем, основной упор делается на дискретном моделировании событий и комбинированном дискретно-непрерывном моделированием. <http://www.wintersim.org/>
- SISO - Fall SIW SISO Fall Simulation Interoperability Workshop (SIW)
- SISO - Spring SIW SISO Spring Simulation Interoperability Workshop
- CyberTherapy Conference Organized by the Interactive Media Institute (IMI) - held annually in the US.
- **ITEC** (European Simulation Conference). ITEC готовит квалифицированных международных специалистов в области военной подготовки и военных игр. На выставке представлены инновационные товары, технологии, подходы и методы, применяемые для обучения и военного моделирования. Тенденции, новости и проблемы военной индустрии будут обсуждаются на конференциях с участием высокопоставленных правительственных делегатов и представителей военной промышленности из более чем 50 стран. Детализация тематики выставки ITEC: новейшие продукты и технологии в области военной подготовки и моделирования; методы и подходы, применяемые для обучения и военного моделирования; плюсы и минусы синтетической среды; обучение с использованием настоящей аммуниции и оружия; игровой подход к обучению; использование компьютерных технологий и др. <http://www.itec.co.uk/>
- **FSEMC** (Flight Simulator Engineering & Maintenance Conference). <http://www.aviation-ia.com/fsemc/index.html>

## Литература

- 1 Адаптер InfiniBand (HCA) - QLogic QLE7340 [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [http://www.dscon.ru/infiniband/qlogic\\_hca\\_ql7340.htm](http://www.dscon.ru/infiniband/qlogic_hca_ql7340.htm)
- 2 Башков К.А., Казак А.Б. Генераторы изображения для авиатренажеров // Зарубежная радиоэлектроника. - 1984, №8. - С. 60 - 68.
- 3 Бытовые и профессиональные стереоскопические средства корпорации СТЭЛ [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [http://3dstereo.ru/review\\_r.htm](http://3dstereo.ru/review_r.htm)
- 4 Валюс Н.А. Стереоскопическая фотография, кино, телевидение. М.: Искусство, 1986.
- 5 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/>.
- 6 Виртуальная реальность (Онлайн Энциклопедия Кругосвет) [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [http://krugosvet.ru/enc/nauka\\_i\\_tehnika/transport\\_i\\_svyaz/VIRTUALNAYA\\_REALNOST.html](http://krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/transport_i_svyaz/VIRTUALNAYA_REALNOST.html)
- 7 Воксел (Voxel) [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Воксел>
- 8 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.
- 9 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.
- 10 Гаммер. М.Д. Компьютерные имитационные тренажеры в открытом профессиональном образовании. Научно-практический журнал "Открытое образование" (ISSN 1818-4243, УДК 004:378 No.5 за 2009 / Сызранцев В.Н. Колесов В.И.
- 11 Гаммер. М.Д. Опыт проектирования распределенных тренажерных систем для обучения студентов нефтегазового направления. Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. / Тюмень, ТюмГНГУ 2009 №3 стр 103-108. /Сызранцев В.Н. Колесов В.И. Гильманов Ю.А.
- 12 Гаммер. М.Д. Опыт создания и использования компьютерных имитационных тренажеров в ТюмГНГУ. Материалы докладов 3 международной научно-технической конференции «Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли в образовании» ТюмГНГУ. –Тюмень, 2008. /Сызранцев В.Н. Колесов В.И. Гильманов Ю.А.
- 13 Гаммер. М.Д. Распределенные тренажерные системы. Новые образовательные технологии в вузе: сборник материалов 6 международной методической конференции, 2-5 февраля 2009 года. В 2 частях. Ч 1. Екатеринбург, ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2009 — стр 165-167 /Колесов В.И.
- 14 Гаммер. М.Д. Создание и использование электронных образовательных ресурсов в формате SCORM. Материалы региональной научно-практической конференции-выставки конференции «Инновации в образовании». – Тверь, 18 декабря 2008.
- 15 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.
- 16 Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому,

- технологическому и атомному надзору в 2007 году / Колл. авт. — Под общ. ред. К.Б. Пуликовского. — М.: Открытое акционерное общество «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2008. — 548 с.
- 17 ГОСТ 26387-84. Система человек-машина. Термины и определения // Государственный комитет СССР по стандартам. - М.: Изд-во стандартов, 1984.
  - 18 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.
  - 19 ГОСТ 6134-87. Насосы динамические. Методы испытаний
  - 20 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/part/?pid=776>
  - 21 Гуревич С. Б. и др. Голографическое телевидение / С. Б. Гуревич // Техника кино и телевидения. - 1970. - №7. - С.59-66.
  - 22 Гуревич С. Б., Константинов В. Б., Соколов В. К., Черных Д. Ф. Передача и обработка информации голографическими методами.— М.: Советское радио, 1978.
  - 23 Динамическая компиляция против статической компиляции - сравнение производительности [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.hardline.ru/1/12/3421/>
  - 24 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](http://dcs.isa.ru/www/vladimirv/diar/portal/diar_isa_home_1.html)
  - 25 Дистанционное обучение (ДО) [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Дистанционное\\_обучение](http://ru.wikipedia.org/wiki/Дистанционное_обучение)
  - 26 Дозорцев В. М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. Синтез, 2009. - 372 с.
  - 27 Зеркальные стереомониторы lcReflex [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.stereo-pixel.ru/lcreflex.htm>
  - 28 Иванов В. П., Батраков А. С. Трехмерная компьютерная графика / В.П. Иванов, А. С. Батраков. - М.: Радио и связь, 1995. - 225 с.
  - 29 Информационно-интерактивный портал "Российские электронные библиотеки" [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.elbib.ru/>
  - 30 Катыс Г.П., Катыс П.Г., Яковлев А.И. Трехмерные системы представления объемной информации / Г. П. Катыс, П.Г.Катыс, А. И. Яковлев. - М.: СИП РИА, 1998. - 112 с.
  - 31 Катыс П.Г., Яковлев А.И. Интерактивная компьютерная графика / П.Г. Катыс, 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. 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 международ. научн.-техн. конф., 7-9 октября 2003 г. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. - С.91-93.
  - 34 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.
  - 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 междунар. 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 междунар. науч.-техн. конф., 7-9 окт. 2003 г. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. - С.116-117.
- 38 Кроссплатформенная программная библиотека для работы с аудио аппаратурой компьютера OpenAL [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://en.wikipedia.org/wiki/OpenAL>
- 39 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)
- 40 Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов / Д. Марр - М.: Радио и связь, 1987.
- 41 Метадан учебного объекта (Learning Object Metadata) [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: IEEE P1484.12.1 Learning Object Metadata (LOM) -- Data Model
- 42 Методологии IDEF [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/IDEF>
- 43 Мобильная система Вооружённых Сил [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Мобильная\\_система\\_Вооружённых\\_Сил](http://ru.wikipedia.org/wiki/Мобильная_система_Вооружённых_Сил)
- 44 Моделирование сложных систем и виртуальная реальность // Вопросы кибернетики: сб.к науч. ст. [редкол.: Ю.М. Баяковский и А.Н.Томилини]. - М: Изд-во РАН, 1995. - №181. - 212с.
- 45 Мультифизика [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Мультифизика>
- 46 Наиболее распространенные коммуникационные технологии. [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://parallel.ru/computers/interconnects.html>
- 47 Общая характеристика систем виртуального окружения [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [www.sim-mfti.ru/content/972/node20.html](http://www.sim-mfti.ru/content/972/node20.html)
- 48 Операционная система реального времени [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/ОС\\_реального\\_времени](http://ru.wikipedia.org/wiki/ОС_реального_времени)
- 49 Отчёт Insight Media о состоянии индустрии систем виртуальной реальности [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: [www.insightmedia.info/pirspring2002more.htm](http://www.insightmedia.info/pirspring2002more.htm)
- 50 Отчеты Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.gosnadzor.ru/slugba/otchet.htm>
- 51 Первая 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.
- 52 Платонов К.К. Психологические вопросы теории тренажеров // Вопросы психологии. 1961. № 4. С. 77-86
- 53 Портал разработчиков имитационных систем в образовательной сфере [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: [www.modsim.org](http://www.modsim.org)
- 54 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>
- 55 Промышленная безопасность опасных производственных объектов [Электронный

- ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа:  
[http://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленная\\_безопасность](http://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленная_безопасность)
- 56 Профессиональные системы виртуальной реальности на базе РС [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [www.nvworld.ru/docs/reality.html](http://www.nvworld.ru/docs/reality.html)
- 57 РД 50-34.698-90. Методические указания. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы.
- 58 Рейтинг самых мощных общественно известных компьютерных систем мира [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа:  
<http://ru.wikipedia.org/wiki/Top500>
- 59 Рост Р. Дж. OpenGL. Трехмерная графика и язык программирования шейдеров. Для профессионалов / Р. Дж. Рост. - СПб.: Питер, 2005. - 428 с.: ил.
- 60 С.Н. Рожков, Н.А. Овсянникова. Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике. Терминологический словарь. М.: Парадиз, 2003.
- 61 Сайт IASIG (Interactive Audio Special Interest Group) [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: <http://www.iasig.org/>
- 62 Сайт компании Ascension-tech [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: [www.ascension-tech.com](http://www.ascension-tech.com)
- 63 Сайт компании eMagin [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: [www.emagin.com](http://www.emagin.com)
- 64 Сайт компании Sensics [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: [www.sensics.com](http://www.sensics.com)
- 65 Сайт ООО МНПО «ЭКОБЛИК» [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [www.noiseview.ru](http://www.noiseview.ru)
- 66 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>
- 67 Системы имитации осязания [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://en.wikipedia.org/wiki/Haptic>
- 68 Современные звуковые технологии в играх [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://www.ixbt.com:80/multimedia/sound-technology-in-games-2003>
- 69 Справочник Фотолюбителя. Сост. Е.А. Иофис. Общ. редакц. А.А. Фомина. М., "Искусство", 1976. 448 с. с ил.
- 70 Страуструп Б. Язык программирования C++. Спец.изд./ Б. Страуструп; пер. с англ. - М.: Изд-во Бином, СПб.: Невский диалект, 2000. – 1099 с.
- 71 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.
- 72 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.
- 73 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.
- 74 Техническая диагностика [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Техническая\\_диагностика](http://ru.wikipedia.org/wiki/Техническая_диагностика)
- 75 Техногенные аварии и катастрофы [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Авария>
- 76 Томилин А.Н., Афанасьев В.О. Виртуальная реальность / А.Н. Томилин, В.О. Афанасьев // Наука и жизнь. - 1999. - №2. - с.112, с.58-60.
- 77 Тренажер - имитатор бурения АМТ-231 [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://amt-s.spb.ru/amt231.html>

- 78 Уровни детализации (Levels Of Detail — LOD) [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Level\\_of\\_Detail](http://ru.wikipedia.org/wiki/Level_of_Detail)
- 79 Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики / Ф. Хилл. - СПб.: Питер, 2002. - 1088с.
- 80 Хуторский А.В. Современная дидактика: Учебник для вузов. — СПб: Питер, 2001. — 544 с.: ил
- 81 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.
- 82 Шикин Е.В., Боресков А.В. Компьютерная графика. Полигональные модели / Е.В. Шикин, А.В. Боресков. - М.: Диалог-МИФИ, 2001. – 464 с.
- 83 Эйнджел Эдвард. Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL, 2 изд.: Пер. с англ / Эдвард Эйнджел. - М.: Издательский дом “Вильямс”, 2001. - 592с.: ил.
- 84 Экологический менеджмент [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Экологический\\_менеджмент](http://ru.wikipedia.org/wiki/Экологический_менеджмент)
- 85 Advanced Distributed Learning. Sharable Content Object Reference Model (SCORM) 2004 / Перевод с англ. Е.В. Кузьминой. - М.: ФГУ ГНИИ ИТТ "Информика", 2005. - 29 с.
- 86 CUDA (Compute Unified Device Architecture) [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/CUDA>
- 87 GPGPU - техника использования графического процессора видеокарты для общих вычислений [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/GPGPU>
- 88 MPICH2 — реализация стандарта MPI [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/MPICH>
- 89 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](http://really.ru/3d_markets.htm)
- 90 ANSYS Multiphysics simulation software [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.ansys.com/>
- 91 Artwick B.A. Applied concepts in microcomputer Graphics / B.A. Artwick // Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs. - New Jersey, 1984. - 374 p.
- 92 BMW research projects - workshop applications at BMW. [Electronic resource]. – Electronic data. Mode access : [http://bmw.com.bn/asia\\_dl/bn\\_en/owners/service/research\\_projects/augmented\\_reality/augmented\\_reality\\_workshop\\_1.html](http://bmw.com.bn/asia_dl/bn_en/owners/service/research_projects/augmented_reality/augmented_reality_workshop_1.html)
- 93 Burdea G., Coiffet P. Virtual Reality Technology. - New York: John Wiley&Sons, Inc, 1994.
- 94 Choosing Authoring Tools Overview[Electronic resource].– Electronic data.- Mode access: [http://www.adlnet.gov/Technologies/Lab/LearningTechnologyLabDocuments/Library/webinar\\_ChoosingAuthoringTools\\_20100625.zip](http://www.adlnet.gov/Technologies/Lab/LearningTechnologyLabDocuments/Library/webinar_ChoosingAuthoringTools_20100625.zip)
- 95 COMSOL Multiphysics simulation software [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.comsol.com/>
- 96 Dawson, G.P. Pastures to Production and Beyond (The Training Challenge) // Proc. Of the Atlantic Simulation User's Conference, N.-Y. (NY), Oct., 1987.
- 97 Elmer - Open Source Finite Element Software for Multiphysical Problems [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.csc.fi/english/pages/elmer>
- 98 Embrey, D. Refinery Operators: Competency, Procedures and Best Operating Practice // Proc. Of the 1996 European Oil Refining Conference. Antwerp (Belgium), June, 1996
- 99 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.

- 100 Fairchild, B.T. And A.B. Clymer. Simulation Justification // Proc. Eastern Region Mini Conference Society Computer Simulation International. NJ, 1989. Pr. 1-32
- 101 Free Field Technologies site [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.fft.be>
- 102 IEEE Recommended Practice for High Level Architecture (HLA) Federation Development and Execution Process (FEDEP)
- 103 IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) - Federate Interface Specification 1516.2-2000
- 104 IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) - Framework and Rules 1516.1-2000
- 105 IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) - Object Model Template (OMT) Specification 1516.3-2003
- 106 IMS Global Learning Consortium, Inc [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: <http://www.imsproject.org/>
- 107 InfiniBand Performance [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: [http://www.mellanox.com/content/pages.php?pg=performance\\_infiniband](http://www.mellanox.com/content/pages.php?pg=performance_infiniband)
- 108 Inition company site [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.inition.co.uk>
- 109 Interactive Audio Special Interest Group site [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.iasig.org/>
- 110 IS-900 Inertial-Ultrasonic Motion Tracking System [Electronic resource]. – Electronic data. - Режим доступа: <http://www.intersense.com/>
- 111 ISO 10075 - Ergonomic principles related to mental workload.
- 112 ISO 13407 - Human centred design processes for interactive systems .
- 113 ISO 9241-10 (1996) Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDT)s.
- 114 Mersive company site [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.mersive.com/>
- 115 Message Passing Interface (MPI, интерфейс передачи сообщений) [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Message\\_Passing\\_Interface](http://ru.wikipedia.org/wiki/Message_Passing_Interface)
- 116 Motion capture [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: [http://en.wikipedia.org/wiki/Motion\\_capture](http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_capture)
- 117 Multi-monitoring for simulations [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.pcgameshardware.com/aid,687415/Multi-monitoring-for-simulations-Holodeck-possible-today/News/>
- 118 National Simulator Program (NSP) [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.faa.gov/about/initiatives/nsp/>
- 119 Nvidia Quadro G-Sync option card [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: [http://www.nvidia.com/page/quadrofx\\_gsync.html](http://www.nvidia.com/page/quadrofx_gsync.html)
- 120 Nvidia Tesla [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/NVIDIA\\_Tesla](http://ru.wikipedia.org/wiki/NVIDIA_Tesla)
- 121 OpenCL (Open Computing Language) [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/OpenCL>
- 122 Optical Motion Capture Systems [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.metamotion.com/motion-capture/optical-motion-capture-1.htm>
- 123 Performance of MPICH-MX over MX-10G [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.myri.com/scs/performance/MX-10G/MPICH-MX/>
- 124 Projected simulator display systems [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.barco.com/simulation/>
- 125 Real-time Process Optimization and Training Worldwide Outlook. Market Analysis and Forecast through 2010 — ARC Advisory Group, 2006

- 126 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.
- 127 SCORM 2004 4th Edition Test Suite [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.adlnet.gov/Technologies/scorm/>
- 128 Sensics head-mounted displays [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.sensics.com>
- 129 Simulation [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://en.wikipedia.org/wiki/Simulation>
- 130 SmartBuilder [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.suddenlysmart.com/smartbuilder.htm>
- 131 StereoMirror technology [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.planar3d.com/>
- 132 The DrillSIM-5000 [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: [http://www.drillingsystems.com/products/3\\_DrillSIM-5000](http://www.drillingsystems.com/products/3_DrillSIM-5000)
- 133 The report of the BP U.S. refineries independent safety review panel [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: [www.bp.com/liveassets/bp.../Baker\\_panel\\_report.pdf](http://www.bp.com/liveassets/bp.../Baker_panel_report.pdf)
- 134 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.
- 135 University of Michigan 3D Lab [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://um3d.dc.umich.edu>
- 136 Virtusphere for simulation training [Electronic resource]. – Electronic data. - Mode access: <http://www.virtusphere.com/>

## Об авторах



Ф.И.О.: Гаммер Максим Дмитриевич

Дата рождения: 23 сентября 1981

Обучался в Тюменском государственном нефтегазовом университете по специальности «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов» с 1999 по 2004 г. В 2004 присуждена квалификация «Инженер по специальности «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»». С 1 июня 2004 года поступил в очную аспирантуру ТюмГНГУ по специальности 05,02,13 – Машины, агрегаты и процессы (нефтегазовая отрасль).

Защитил диссертационную работу «Разработка системы автоматизированного проектирования компьютерных имитационных тренажеров» 14 декабря 2007 года в Ижевском государственном техническом университете. Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации (№ 15к/73 от 11 апреля 2008г.) присуждена ученая степень кандидата технических наук.

Имеет профессиональные знания в области машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов. Имеется практика помощника бурильщика эксплуатационного и разведочного бурения скважин на нефть и газ (IV разряд). Научная работа связана с созданием и использованием современных образовательных технологий, в т.ч. имитаторов на базе программно-аппаратной платформы.

Текущая работа:

В настоящее время занимает должность начальника отдела информационных технологий НИИ Электронных образовательных ресурсов ТюмГНГУ.

Научное издание

**Гаммер Максим Дмитриевич  
Сызранцев Владимир Николаевич**

**Имитаторы на базе программно-аппаратной платформы в техническом  
образовании**

- Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. - 271 с.