

# Виртуальное повествование как инновационная образовательная технология

Батурин Ю.М.<sup>†</sup>, Гёбель М.<sup>‡</sup>, Клименко С.В.<sup>†</sup>, Леонов А.В.<sup>†</sup>,  
Никитин И.Н.<sup>‡</sup>, Никитина Л.Д.<sup>‡</sup>, Серебров А.А.<sup>†</sup>, Уразметов В.Ф.<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Институт физико-технической информатики, Протвино, Россия

<sup>‡</sup>The Visual Decision Company, fleXilution GmbH, Köln, Germany

## Аннотация

*Статья посвящена описанию технологии виртуального повествования с целью её применения в инновационных образовательных программах. Предлагаемая методология обучения построена на основе использования технологии виртуального окружения (ВО) и программного инструментария Аванго. В первом разделе виртуальное повествование представлено как перспективный способ организации взаимодействия обучаемого (студента, школьника, специалиста) с электронной информационной системой и рассмотрены отличия виртуального повествования от других интерактивных приложений ВО. Во втором разделе представлена технология ВО, приведена классификация систем ВО, представлена схема установки ВО, пригодная для использования технологии виртуального повествования в сфере образования, описаны основные компоненты систем ВО. В третьем разделе рассмотрены принципы построения виртуального повествования, введено понятие сюжета как основного механизма разрешения нарративного парадокса и представлены примеры реализации виртуального повествования на базе Аванго: «Виртуальный планетарий», «Уроки из космоса для школьников и студентов», «Эксперименты на борту орбитальных станций и космических аппаратов», «Анализ политической сцены». В заключении рассмотрены перспективы применения виртуального повествования для задач образования, науки, промышленности и специальных приложений.*

**Ключевые слова:** виртуальное повествование, виртуальное окружение, виртуальный тренажёр, интерактивная модель, космический эксперимент

## 1 Введение

Исследования в области виртуального окружения (ВО) продолжаются более 15 лет. Они начинались с простых однопользовательских систем, неизменным атрибутом которых был «шлем-дисплей» или тяжёлые очки с дисплеями вместо стёкол и наушники на голове пользователя. Современные системы ВО — это многоканальные стереоскопические проекционные системы с высокой степенью погружения, поддерживающие интерактивное взаимодействие с большой аудиторией. В данной работе мы будем касаться, в основном, образовательных приложений инновационной технологии ВО, которые обеспечили широкое применение перспективного способа организации взаимодействия обучаемого с электронной обучающей системой — виртуального повествования.

Виртуальное повествование (virtual storytelling) — новый жанр компьютерных приложений, сочетающий в себе черты виртуального тренажёра, интерактивной модели, компьютерной игры [1]. Пользователь, который является участником виртуального повествования, выступает не в качестве пассивного наблюдателя, а в роли активного действующего лица, непосредственно влияя на процесс развёртывания интерактивного виртуального повествования. Виртуальное повествование как форма взаимодействия пользователя с электронной информационной системой (ЭИС), в частности, с компьютерной системой поддержки учебного процесса (eLearning, см. [3–5]) появилась благодаря развитию технологий анимации, мультимедиа и динамических документов [2]. Затем это направление представления информации человеку объединило в себе лучшие стороны технологии виртуального окружения [6] (virtual environment/reality — VE/VR) и науки искусствен-

ного интеллекта [7] (artificial intelligence — AI).

Мотивация написания данной работы связана с постановлением Правительства РФ от 14 февраля 2006 г. №89 «О мерах государственной поддержки образовательных учреждений, внедряющих инновационные образовательные программы» [8] и приказом Минобрнауки РФ от 2 марта 2006 г. №.44 «Об утверждении Порядка и критериев конкурсного отбора образовательных учреждений высшего профессионального образования, внедряющих инновационные образовательные программы» [9]. Цель работы — познакомить научную и педагогическую общественность, а также администрацию Минобрнауки РФ и образовательных учреждений, внедряющих инновационные образовательные программы, с технологиями виртуального повествования, которые мало известны в России, но уже давно и активно применяются продвинутыми детскими садами за рубежом [10, 11] и передовыми отечественными университетами, прежде всего, Московским физико-техническим институтом (МФТИ).

Человеку свойственно занимать активную роль в процессе получения информации из окружающей среды или от других людей: в исследовании, в обучении с преподавателем или без него (самообразовании) [12]. Активность проявляется: в свободном выборе и оперативном регулировании направления внимания; в свободном выборе объёма получаемой информации; в выборе степени концентрации на различных каналах восприятия (зрение, слух, осязание, обоняние, вкус). Новая информация встраивается человеком в существующую у него систему знаний, дополняет и трансформирует эту систему. Чтобы стать для человека новым знанием, получаемая информация должна быть интерпретирована и взаимосвязана с теми знаниями, которыми уже обладает человек [13]. Объём знаний, связи и ассоциации между ними уникальны для каждого человека. Поэтому для человека естественно регулировать поток получаемой информации согласно индивидуальным целям и особенностям.

Долгое время формы передачи документированной информации (зафиксированной на материальном носителе) ограничивались текстами, рисунками и другими символическими сообщениями. Адресат сообщения — читатель — исполнял пассивную роль, объём информации и направление внимания читателя регулировались автором документа. Электронные документы позволили использовать для передачи документированной информации различные каналы вос-

приятия, дали читателю возможность более активно участвовать в процессе получения информации [14]. Развитие технологий в сфере электронных документов привело к появлению нового способа организации интерфейса к ЭИС — динамического документа, формируемого системой в ответ на запрос пользователя и в соответствии с этим запросом [15]. Технология динамических документов дала пользователю гибкие возможности по выбору интересующей его информации из ЭИС и её представлению в требуемой форме.

Очередным шагом в развитии пользовательских интерфейсов к ЭИС стало виртуальное повествование. Технологии виртуального окружения и искусственного интеллекта позволили максимально приблизить процесс получения пользователем информации из ЭИС к форме, привычной и естественной для человека. Эволюцию способов организации процесса взаимодействия пользователя с ЭИС можно представить следующим образом: *электронный документ* → *динамический документ* → *виртуальное повествование*. По сути, магистральное направление развития ЭИС заключается в том, чтобы сделать взаимодействие с ними таким же естественным и удобным для пользователя, как общение с другим человеком.

Виртуальное повествование обязано своим развитием технологиям ВО и по сути является наиболее естественным интерфейсом к распределённым многопользовательским приложениям ВО — она позволяет задействовать для передачи информации все существующие каналы восприятия (пожалуй, кроме вкуса и обоняния) — зрение, слух, осязание. Виртуальное повествование разворачивается перед пользователем в виртуальном мире, позволяя естественным и интуитивным образом взаимодействовать с виртуальными объектами, регулировать направление внимания и объём получаемой информации. Виртуальные персонажи, наделённые искусственным интеллектом и индивидуальными стратегиями поведения, усиливают погружение пользователя в виртуальный мир, побуждают его принять роль, цели и «правила игры», предложенные автором, включиться в виртуальное повествование в качестве полноправного активного участника.

Основная задача виртуального повествования — передача информации пользователю от ЭИС. Виртуальное повествование отличается от виртуального тренажёра, интерактивной модели, компьютерной

игры, прежде всего, своей нарративной направленностью. Виртуальный тренажёр, в дополнение к нарративной функции, ориентирован на отработку навыков, на формирование поведенческих реакций, которые можно доводить до автоматизма без особого увеличения затрат (например, горючего для самолёта). В интерактивной модели нет сюжета, заданной автором нарративной конструкции, направляющей пользователя по определённым траекториям. В компьютерной игре на первом плане стоит развлечение пользователя, а элемент информирования или образования в лучшем случае играет второстепенную роль.

Уже достаточно надёжно установлено, что ВО даёт эффективный инструмент для исследования, проектирования и производства изделий (объектов, зданий, сооружений) в различных областях науки и техники, обеспечивая наиболее естественное (интуитивное) взаимодействие человека с компьютером. Точно также виртуальное повествование даёт наиболее эффективный инструмент для представления человеку информации. Особенно эффективными являются методы человеко-машинного взаимодействия с использованием технологии погружения исследователя (конструктора, технолога) в виртуальный мир исследуемой (проектируемой) модели, что достигается на установках виртуальной реальности, которых в мире уже насчитываются порядка тысячи. Хорошо известно, что степень погружения существенно зависит от реалистичности синтезируемых компьютером объектов и сцен. Психологами точно и объективно установлено, что человек наиболее эффективно действует в естественной для него реалистичной обстановке, любые отклонения от которой приводят к дискомфорту, болезненным ощущениям и потери «интуитивных (моторных) реакций», которые играют важную роль в творческом процессе исследования и/или проектирования.

В данной статье рассмотрены приложения технологии виртуального повествования с использованием программного инструментария Аванго. Далее (во втором разделе): представлена технология ВО; перечислены сферы приложений ВО; дан перечень задач, которые можно решать с использованием технологии ВО; приведена классификация систем ВО; представлена схема установки ВО, пригодная для использования технологии виртуального повествования в сфере образования; описаны основные компоненты систем ВО. В третьем разделе: рассмотрены принципы построения виртуального повествования; введено понятие сюжета как основного механизма разреше-

ния нарративного парадокса; представлены примеры реализации виртуального повествования на базе Аванго: «Виртуальный планетарий», «Уроки из космоса для школьников и студентов», «Эксперименты на борту орбитальных станций и космических аппаратов», «Анализ политической сцены». В заключении рассмотрены перспективы применения виртуального повествования для задач образования, науки, промышленности и специальных приложений.

## 2 Виртуальное окружение

Одно из популярных определений гласит: «виртуальная реальность — это синтезированное компьютером, интерактивное, трёхмерное окружение, в которое погружен человек» [16]. Это определение выделяет три основных характеристики виртуальной реальности. Во-первых, виртуальная реальность представляет собой трёхмерное окружение (сцену, модель), сформированное (синтезированное) компьютером. Во-вторых, виртуальная реальность интерактивна: взаимодействие пользователя с системой происходит в режиме реального времени, обработка реакции пользователя и формирование ответа системы происходит незаметно для пользователя. В-третьих, пользователь погружен в виртуальную реальность, то есть, восприятие человеком реального мира частично или полностью блокируется. Погружение также означает, что взаимодействие пользователя с системой происходит в удобной, естественной для человека форме, с максимальным приближением к характерным для человека поведенческим стереотипам. Это позволяет пользователю отвлечься от задачи трансляции своих реакций и воздействий на «компьютерный язык» и вести себя непосредственно, так же как в реальной жизни.

Термин «виртуальная реальность» широко распространён в популярной литературе, однако он представляется неудачным для использования в качестве научного термина. Мы отдаём предпочтение термину «виртуальное окружение», который в специальной литературе употребляется как более точный синоним «виртуальной реальности». Поскольку виртуальное окружение — это, прежде всего, технология взаимодействия человека и компьютерной системы, мы придерживаемся более релевантного определения этого термина, чем приведённое выше.

*Виртуальное окружение — это технология человеко-машинного взаимодействия,*

*которая обеспечивает погружение пользователя в трёхмерную интерактивную среду изучаемого явления или процесса и предоставляет естественный интуитивный интерфейс для взаимодействия с объектами (искусственными и/или реальными) в виртуальной среде.*

Применение систем ВО существенно обогащает представление больших массивов данных, позволяя взаимодействовать с объёмными моделями изучаемых объектов и исследовать их поведение и внутреннюю структуру. ВО обеспечивает «погружение» пользователя в искусственный мир исследуемого явления и прямое взаимодействие с данными в пространстве модели. ВО позволяет перейти на качественно более высокий уровень обработки данных, моделирования и проектирования экспериментов, создания сложных машин и механизмов, промышленных объектов и процессов.

Сфера приложений систем ВО охватывает как традиционные фундаментальные дисциплины (физика, математика, астрономия, медицина), так и прикладные науки: исследование космоса, вычислительная аэрогидродинамика (расчёты динамики течения потоков), океанология и геофизика (инженерия землетрясений), металлообработка (авто- и авиаиндустрия), сопротивление материалов (моделирование эластичных объектов), исследование и конструирование оболочек (корпусов подводных лодок и ядерных реакторов), анализ столкновений и разрушений (моделирование аварий и катастроф), биомедицинская инженерия (протезирование и диагностика) и, наконец, применения в оборонных областях и при ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Перечень практических задач, которые можно решать с помощью технологии ВО, достаточно широк и не ограничен приведённым списком:

- визуализация сложных инженерных сооружений и физических установок (атомные электростанции, корабли и подводные лодки, ядерные реакторы, ускорители и экспериментальные установки физики высоких энергий);
- моделирование чрезвычайных ситуаций и катастроф с учётом конкретного рельефа местности и имеющихся зданий и сооружений (ситуационное моделирование);
- визуализация моделей космических аппаратов и создание виртуальных лабораторий в космосе;

- визуализация критичных транспортных и дорожных сооружений (газо- и нефтепроводы, тоннели и мосты, кабельные системы и инженерные коммуникации);
- визуализация в системах конструирования (CAD) и быстрого макетирования (rapid prototyping);
- визуализация в автомобильной промышленности (обтекание, окраска, интерьер, динамика разрушения при столкновении и пр.);
- визуализация в авиационной промышленности;
- конструирование молекул в физической химии и фармацевтике;
- планирование и отработка технологий сборки сложных конструкций и строительства сложных сооружений;
- создание тренажёров управления военных и гражданских движущихся средств;
- моделирование поля боя и планирование боевых операций;
- визуализация в медицине и создание медицинских тренажёров;
- синтетическое искусство, телевидение и кино;
- создание виртуальных музеев, планетариев и лекционных залов;
- реконструкция в археологии и виртуальный туризм (путешествия по древним и современным городам).

Психологами замечено и доказано экспериментально, что при погружении пользователя в виртуальную среду и инициировании стереоскопического видения сцены, которое происходит на ментальном уровне, у человека происходит более интенсивный обмен информацией между левым и правым полушариями мозга, что возбуждает интуитивное мышление и иницирует возникновение новых идей при анализе какой-либо проблемы и/или большого объёма данных (особенно многомерных). При этом эффект возникновения новых идей усиливается при коллективной работе (эффект мозгового штурма). Этот факт находит все большее понимание и приводит к расширению применений стереоскопических систем ВО при создании приложений виртуального повествования.

## 2.1 Классификация систем ВО

На практике системами «виртуального окружения» называют широкий спектр приложений с разным

соотношением реальных и виртуальных объектов и разной степенью погружения пользователя. Между системами «чистого» виртуального окружения и реальным миром располагается целый ряд приложений, в отношении которых Пол Милграм (Paul Milgram) предложил использовать термин смешанное окружение (mixed reality — MR), рис.1 [17]. С одной стороны, это приложения, где реальные объекты дополнены трёхмерными компьютерными моделями — дополненная реальность (augmented reality — AR). С другой стороны, это системы ВО, в которые внедрены объекты или элементы реального мира — дополненная виртуальность (augmented virtuality — AV). Термин «дополненная виртуальность» получил широкое распространение в таких приложениях ВО, где в синтезированную компьютером трёхмерную модель внедрены видео-изображения реальных людей или объектов (телеприсутствие, кооперативная работа) [18]. Технологии дополненной реальности и дополненной виртуальности в настоящее время стали фактически самостоятельными перспективными направлениями развития систем ВО. Диаграмма Пола Милграма рис.1 получила название континуума «реальность-виртуальность» (reality-virtuality continuum) [17].



Рис.1. Диаграмма Пола Милграма.

Технологии дополненной реальности заключаются в том, что трёхмерная интерактивная модель, сформированная компьютером на основании реальных данных, накладывается на изображение объекта таким образом, что пользователь воспринимает объект и модель как единое целое. При этом основной задачей является не погружение пользователя в виртуальную сцену, а представление ему дополнительной информации о реальном объекте в удобной форме для восприятия и интерактивной манипуляции данными. Например, на изображение атомного реактора может быть наложена трёхмерная картина распределения температуры в реакторе, построенная на основе показаний датчиков и обновляемая в режиме реального времени с возможностью изменения масштаба, степени детализации и т.д. Технологии дополненной реальности намного менее требовательны к производительности систем визуализации, чем технологии «полного» ВО, что даёт существенную эко-

номии при разработке приложений.

Схематично система ВО, подходящая для решения задач виртуального повествования (рассказ об оригинальном изделии на выставке, урок или лекция с демонстрационными опытами для школьников или студентов, например, «Урок из космоса») показана на рис.2.

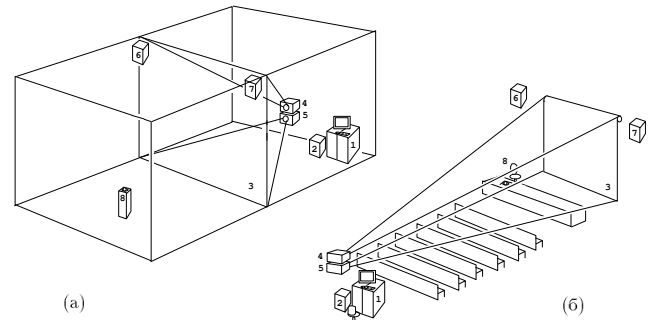


Рис.2. Принципиальные схемы систем ВО, включая мобильные: (а) схема установки для выставочного бута (обратная проекция); (б) схема установки для лекционного зала (прямая проекция). Цифрами на рисунке обозначены: (1) основной графический вычислитель; (2) вспомогательный вычислитель для синтеза звуковых эффектов; (3) экран из специального материала, сохраняющего направление вектора поляризации при отражении или пропускании света; (4,5) проекторы, снабжённые фильтрами линейной поляризации света; (6,7) аудио-система (динамики); (8) устройства ввода и управления (мышь, джойстик, трекбол).

## 2.2 Компоненты системы ВО

В простейшем случае подходящая нам система должна содержать следующие основные компоненты или подсистемы:

- мощный вычислитель (Linux-кластер) для обработки сцен, анимации и управления, оснащённый программным инструментарием Аванго;
- подсистему рендеринга (для графического преобразования описания модели в визуальное представление на экранные плоскости с точки зрения левого и правого глаз пользователя);
- стереоскопическую проекционную подсистему с одним или несколькими экранами (для визуального отображения модели);
- подсистему трекинга (для локализации и слежения за положением пользователя);

- подсистему синтеза звуковых эффектов;
- подсистему манипуляции данными (устройства ввода и управления).

Такая система ВО, доступная по стоимости для отечественных ВУЗов и даже школ и пригодная для тиражирования, была разработана Институтом физико-технической информатики (ИФТИ, Протвино) в результате выполнения проектов, поддержанных грантами РФФИ 01-07-90327, 04-07-08026, 05-07-08021. Для организации промышленного производства и поставки систем ВО заказчикам была создана инновационная компания СИМТеХ <www.sim-tex.ru> в рамках программы «СТАРТ» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (известного как Фонд Бортника И.М.). Компания СИМТеХ в процессе выполнения проекта по программе «СТАРТ» получила патент Роспатента на полезную модель «Система виртуального окружения на кластере персональных компьютеров» от 10 февраля 2006 г., что подтверждает авторские права компании на созданную систему ВО и обеспечивает защиту интеллектуальной собственности. Созданная установка и разработанная технология являются уникальными для России.

Основными конкурентными преимуществами созданной системы перед мировыми аналогами являются:

- использование кластера персональных компьютеров под управлением свободно-распространяемой ОС Linux в качестве вычислительной системы (для подсистем описания виртуальной модели и рендеринга) вместо суперкомпьютера и коммерческой ОС;
- использование программного инструментария с открытым кодом Аванго для кластера персональных компьютеров, а также оригинальных методов и технологий распределённых параллельных вычислений, которые обеспечивают такому кластеру производительность, достаточную для широкого круга приложений ВО;
- включение в систему оригинального программного модуля для устранения артефактов стерео-проеccionных систем, повышающего качество воспринимаемого стерео-изображения;

- включение в систему оригинального программного модуля для ускорения графической обработки на основе алгоритмов анализа видимости и исключения заслонённых объектов;
- включение в систему оригинального программного модуля, разработанного на основе новых методов высококачественной графической обработки прозрачных поверхностей в реальном времени;
- включение в систему оригинального программного модуля синхронизации вывода графической информации на несколько пар проекторов для создания панорамных установок ВО.

Использование общедоступных высокопроизводительных персональных компьютеров, элементов ВО, свободно-распространяемого программного обеспечения, а также включение в систему оригинальных программных модулей позволило создать программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий решение задач, ранее доступных лишь сложным и дорогим комплексам. Ниже на рис.3 приведена функциональная схема системы ВО.

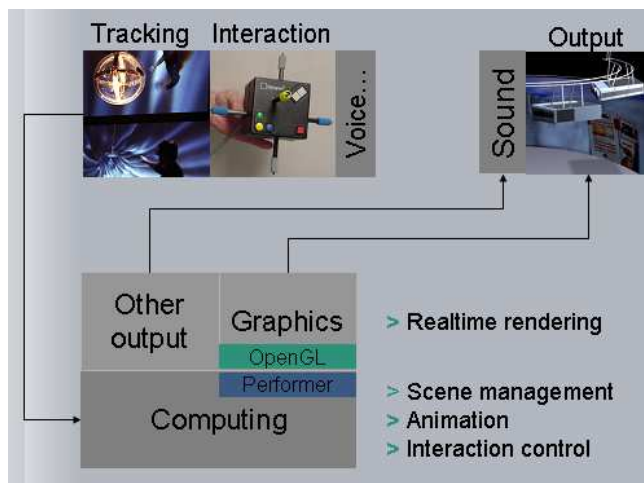


Рис.3. Функциональная схема системы ВО.

Программный инструментарий Аванго обеспечивает описание виртуальных миров (моделей) — сцены, объекты, персонажи, их взаимодействие между собой и с пользователями, а также отрисовку сцены (rendering), то есть преобразование графического описания текущего состояния трёхмерной модели в её визуальное представление на экранной плоскости. Стереоскопическая проекционная подсистема обеспечивает проецирование стерео-пар визуального представления модели на экран, создавая иллюзию

визуального погружения пользователя в трёхмерную виртуальную среду и блокируя при этом его восприятие реального мира. Подсистема слежения (tracking) отслеживает пространственное положение пользователей и обеспечивает взаимодействие с виртуальными объектами и перемещение в виртуальных сценах.

Система ВО может содержать и другие подсистемы в зависимости от задач и требуемой степени погружения пользователя в виртуальный мир. Дополнительные подсистемы усиливают иллюзию погружения и предоставляют пользователю дополнительные возможности взаимодействия с системой. Звуковая подсистема, чувствительная к положению и ориентации пользователя в пространстве, обеспечивает воспроизведение и синтез пространственных звуковых эффектов. Генератор тактильных ощущений создаёт иллюзию прикосновения к виртуальным объектам (специальные перчатки, костюмы и т.п.). Генератор силовых эффектов, связанный с платформой или сиденьем пользователя, воспроизводит или синтезирует удары, тряску, наклоны, повороты и т.п. [19]. Важным компонентом систем ВО является также методика взаимодействия с виртуальными объектами и персонажами, которая подменяет пользователю привычные способы взаимодействия в реальном мире.

Современные системы ВО позволяют посмотреть, послушать, потрогать и даже понюхать виртуальные объекты. «Последним оплотом» реальности пока остаётся вкус. Сложность и затраты на генерацию вкусовых ощущений пока неоправданно высоки по сравнению с тем дополнительным эффектом погружения, который она может дать. Вкус — наиболее экзотичный из всех каналов восприятия — пользуется популярностью на форумах киберпанков [20], а в современных системах пока остаётся незадействованным.

### 2.2.1 Подсистема рендеринга сцены

Одним из наиболее развитых программных инструментов для создания распределённых интерактивных приложений в виртуальном окружении является система Аванго [21]. Эта система была создана группой ведущих специалистов из разных стран в Отделе виртуальных окружений Института коммуникаций Немецкого центра информационных технологий (IMK, GMD, Санкт Августин, Германия) [22], и затем перенесена в среду Linux при участии специалистов ИФТИ и Кафедры системной интегра-

ции и менеджмента МФТИ в рамках международного проекта VeonPC [23–25]. Аванго представляет собой надстройку над OpenGL Performer [27], который, в свою очередь, является надстройкой над OpenGL. Система Аванго предоставляет гибкие возможности для разработки приложений [26] ВО, в том числе, образовательных.

Задачей Open GL является управление операциями в графической карте. Такими операциями могут быть, в частности, отрисовка примитивов (треугольников, линий, точек), использование различных графических мод (освещения, текстур, прозрачности), проекция изображения на плоскость экрана, стирание заслонённых деталей, маскировка. Изображение, полученное в результате выполнения этих операций, передаётся на видео-выход графической карты и может быть направлено на проектор, экран монитора, шлем-дисплей. Объектами OpenGL являются геометрические примитивы, текстуры, предназначенные для отображения на них, положение точки зрения наблюдателя и плоскость, на которую предполагается поместить результат — плоскость экрана.

OpenGL Performer формирует последовательный список команд для OpenGL. Задача OpenGL Performer — оптимизация графических процессов с помощью иерархической организации данных (представление сцены с помощью древовидных структур) и специальных техник ускорения отрисовки (стирание объектов за пределами пирамиды видимости, переключение уровней детализации, простейшие алгоритмы определения пересечений объектов). В принципе, возможностей Performer достаточно для создания работающего приложения. Но в рамках Performer это означает написание нового C++ объекта, внутри которого производится формирование графа сцены, присвоение материальных свойств, определение динамического поведения и взаимодействия объектов между собой и с пользователем. Изменение, например, расположения или размеров отдельных компонентов сцены требует перекомпиляции всего объекта. Связи с внешними устройствами в Performer также должен обеспечивать разработчик.

Аванго предоставляет разработчику удобный интерфейс для разработки приложений. Приложение собирается из отдельных блоков в процессе исполнения, не требуя перекомпиляции. Эти блоки представляют собой элементарные C++ объекты, предварительно скомпилированные в разделяемые библиотеки (shared objects), которые могут быть подгружены в оперативную память во время работы приложения.

Связи между объектами и с внешними устройствами организованы в Аванго в виде графа потоков данных, который также может изменяться во время работы приложения. Аванго предоставляет всем процессам распределённого приложения доступ к общему графу сцены (shared scene-graph). Каждый процесс обладает локальной копией графа сцены и информацией о состоянии объектов, которые синхронизированы для всех выполняемых процессов.

По своим функциям объекты Аванго разделяются на две основные категории — узлы (nodes) и датчики (sensors). Узлы — это элементы графа сцены, представляющие видимую геометрию. Узлы используются для описания объектов модели, которые могут отображаться в визуальном представлении. Совокупность узлов приложения составляет иерархическую структуру, которая называется графом сцены (scene graph). Сенсоры — это интерфейсы к внешним устройствам, например, к системному таймеру или мыши. Сенсоры обеспечивают взаимодействие модели с реальным миром, но не могут быть включены в граф сцены и не отображаются в визуальном представлении. Данные, генерируемые внешним устройством либо системой слежения, записываются в поля сенсора, затем вводятся в граф сцены посредством взаимосвязей между сенсорами и узлами. Таким образом, создание приложения в системе Аванго состоит в формировании графа сцены из имеющихся объектов типа «узел» и определения связей между ними и датчиками в виде графа потока данных.

Информация о состоянии каждого объекта представляется в виде совокупности полей (fields), иначе говоря, объекты Аванго являются полевыми контейнерами (fieldcontainers). Состояние объекта (например, его видимое положение, форма, окраска) однозначно определяются значениями его полей. Между полями данных различных объектов Аванго могут быть установлены взаимосвязи (fieldconnections). Если меняется значение поля-источника (source field), то такое же значение записывается в поле-адресат (destination field). Механизм взаимосвязей между полями позволяет задать дополнительные отношения между объектами, которые не могут быть описаны в рамках графа сцены. Взаимосвязи обеспечивают ввод данных из реального мира в виртуальную модель и позволяют организовать интерактивное взаимодействие пользователя с моделью. Комплекс взаимосвязей между полями различных объектов Аванго формирует граф потока данных (dataflow graph). Полный просчёт графа потока данных (dataflow

graph evaluation) осуществляется на каждом шаге отрисовки сцены (rendering frame).

Преобразование текущего состояния модели в трёхмерное визуальное представление требует высокой скорости доступа к объектам. Для этого все объекты, участвующие в процессе рендеринга, должны находиться в локальной памяти этого процесса. Поэтому для создания распределённых приложений (distributed application), то есть приложений, которые поддерживают одновременное выполнение нескольких процессов отрисовки на одном графе сцены (например, на разных компьютерах), необходимо обеспечить дублирование объектов для использования одного объекта в нескольких процессах.

Для создания распределённых приложений в Аванго используется два основных механизма: распределённая общая память (distributed shared memory, DSM) и потоковый интерфейс. DSM — это сегмент локальной памяти, который доступен одновременно нескольким процессам на одной машине. Каждый процесс обладает локальной копией сегмента DSM, все копии синхронизированы друг с другом. В сегменте DSM могут быть созданы группы распределённых объектов (distribution group). Каждый процесс Аванго может подключиться к одной или нескольким таким группам.

Объекты Аванго могут быть локальными (local object) или распределёнными (distributed object). Локальный объект существует в адресном пространстве одного процесса, распределённый объект копируется в соответствующую группу и далее в адресное пространство всех процессов, подключённых к этой группе. Для копирования объектов в системе Аванго используется универсальный потоковый интерфейс (streaming interface), который позволяет записывать информацию о текущем состоянии объекта в последовательный поток данных (stream), а затем реконструировать объект из потока.

Возможность создания распределённых приложений (distributed application) является ключевым отличием Аванго от аналогичных систем, предназначенных для разработки приложений виртуального окружения. Поддержка нескольких процессов отрисовки на одном графе сцены позволяет тестировать и отлаживать одновременно несколько модулей работающего приложения. Это существенно повышает эффективность коллективной работы и сокращает время разработки сложных приложений ВО.



## 2.2.2 Проекционная подсистема

Основной вклад в эффект погружения даёт стереоскопическая проекционная подсистема. Эффективная реализация одной только этой подсистемы с блокированием визуального канала восприятия видимых изображений из реального мира, позволяет добиться высокой степени погружения в виртуальный мир.

Из известных методов построения стереоскопических проекционных подсистем следует отметить очковые (затворные, поляризационные) и безочковые (растровые). Очковые методы основаны на том, что на экран проецируют левый и правый кадры стереопары, а зрителя снабжают очками, которые обеспечивают раздельное наблюдение левого и правого кадров стереопары. В растровых методах используется специальный линзово-растровый стереоэкран, который имеет зоны стереоскопического видения, такие что зритель может раздельно видеть левый и правый кадры стереопары [28].

Затворный метод основан на попеременном проецировании кадров стереопары на экран с высокой частотой вертикальной развёртки (обычно 120 Гц, или 60 кадров в секунду для каждого глаза) синхронно с открыванием и закрыванием левого и правого окуляров на очках зрителя. Основным недостатком затворного метода является утомляемость глаз из-за низкочастотного мерцания не только изображения на экране, но и окружающей обстановки, что вызывает утомление и дискомфорт при длительном наблюдении стереоизображений. Недостатком затворного метода является также необходимость использования тяжёлых очков, с питанием от батарейки или от внешнего источника. Затворные методы широко использовались в первых системах ВО и отличались высокой стоимостью. В последнее время более популярными стали недорогие поляризационные методы с использованием недорогих, легких и эстетичных очков.

Поляризационные методы основаны на одновременном проецировании на экран левого и правого кадров стереопары с использованием разной поляризации для разных кадров и применении очков с соответствующими поляризационными фильтрами на левом и правом окулярах. Поляризацию используют в двух вариантах — линейную (например, для левого глаза — на 52.5 минуты, для правого — на 7.5 минуты) и круговую (например, для левого глаза —

по часовой стрелке, для правого — против часовой стрелки) [29].

Наибольшее распространение в настоящее время получили стереоскопические проекционные системы, основанные на линейной поляризации. Это связано с простотой реализации поляризационных фильтров на проекторах и на очках пользователя. Линейная поляризация широко применяется в стереокинотеатрах, например, iMax [30]. Основным недостатком систем с линейной поляризацией заключается в том, что наклон головы зрителя влево или вправо несколько снижает качество стереоэффекта (приводит к появлению «духов» изображения). Зритель должен преимущественно держать голову таким образом, чтобы его глаза были на одном уровне по горизонтали. В работе [31] было проведено исследование различных типов помех стереоизображения в системах ВО и для схем с линейной поляризацией были разработаны методы их устранения, которые основаны на предварительной фильтрации изображения перед передачей его на экран. Интенсивность помехи, вызванной вышеописанными физическими причинами, линейно связана с интенсивностью исходного изображения. При выборе коэффициента коррекции происходит полная компенсация помехи. Необходимыми условиями для такой компенсации являются точная настройка линейности проекционной системы. В силу различия интенсивности помехи для разных цветовых компонент коэффициенты коррекции для каждой компоненты должны настраиваться отдельно. Предложенный метод устранения артефактов систем линейной поляризации реализован в системе Аванго, используя текстурные отображения. При этом все необходимые операции выполняются графической картой, что обеспечивает высокую скорость обработки.

Системы с круговой поляризацией [29] технологически сложнее, чем с линейной. Круговая поляризация имеет небольшое преимущество по сравнению с линейной — наклон головы не влияет на качество стереоэффекта, что естественно повышает степень комфорта зрителя. Недостаток состоит в том, что круговая поляризация обеспечивает точное разделение изображений только для одной длины волны. Для других длин волн разделение является неполным, в результате чего появляются побочные цветные изображения. Стереоскопические проекционные системы с круговой поляризацией пока не получили массового распространения.

Ещё одним перспективным очковым методом явля-

ется формирование цветного стереоизображения с использованием различных наборов базовых цветов для разных глаз. Реализация этого метода для проекционных стереоскопических систем запатентована фирмой BARCO в 2003 г. [32]. Суть его заключается в том, что левый и правый кадры стереопары раскладываются на компоненты (цветовые каналы) по различным наборам базовых цветов и проецируются на экран, а зритель использует очки для отдельного наблюдения левого и правого кадров стереопары разными глазами путём фильтрации этих наборов базовых цветов.

В последнее время приобретают все большую популярность безочковые стереоскопические проекционные системы с линзово-растровыми стереоэкранами [28, 33]. Несмотря на масштабное финансирование таких разработок ведущими производителями, в безочковых системах пока не удаётся добиться приемлемого качества изображения. Основным недостатком линзово-растровых стереоскопических систем является необходимость неподвижного удержания головы зрителя в зонах избирательного стереоскопического видения. Ширина каждой зоны видения не превышает расстояния между зрачками глаз, при этом смещение глаз относительно центра зоны на два и более сантиметра приводит к существенному снижению яркости наблюдаемого изображения. Если зритель меняет положение и выходит из зоны видения, стереоэффект теряется. Строгая фиксация положения зрителя относительно зон видения даже в течение нескольких минут вызывает дискомфорт, утомление, потерю внимания, так как зритель вынужден сидеть неподвижно и постоянно визуально искать оптимальный ракурс (центр зоны видения) для чёткого наблюдения стереоэффекта.

### 2.2.3 Подсистема слежения

Взаимодействие с виртуальными объектами и перемещение в виртуальных сценах производится с помощью специальных устройств [34]. В простых конфигурациях в качестве такого устройства может использоваться обыкновенная мышь, в более сложных установках используются системы слежения (tracking). Существуют разнообразные системы слежения, основанные на разных принципах: механические, электромагнитные, оптические, ультразвуковые. Наиболее распространены электромагнитные системы слежения, которые регистрируют положение и ориентацию датчиков, прикрепляемых к оч-

кам или одежде пользователя, а также предметам, используемым в качестве устройств взаимодействия. Пространственное разрешение современных систем слежения составляет доли миллиметра, чего достаточно для большинства приложений.

Для поддержания ощущения полного погружения в виртуальную реальность важно отслеживать положение головы (точнее — глаз) пользователя. Используя данные систем слежения, графический обработчик производит отрисовку сцены, соблюдая правильную перспективу для точки зрения пользователя. Недостаток этой схемы состоит в том, что обычно учитывается точка зрения только одного пользователя. Остальные пользователи наблюдают искажения, которые усиливаются по мере отдаления от этой точки зрения. Для большой аудитории учёт всех точек зрения невозможен. В этом случае вместо отслеживания индивидуальных точек зрения задаётся фиксированная оптимальная точка зрения для аудитории в целом, относительно которой и производится отрисовка сцены.

## 3 Виртуальное повествование

Технология ВО позволила существенно обогатить традиционные формы интерактивных приложений, прежде всего трёхмерные модели и виртуальные тренажёры [35]. Под интерактивной системой (interactive) или системой реального времени (real time) понимается такая система, где реакция компьютера на действия пользователя происходит для него не заметно. Первыми приложениями систем ВО стали интерактивные стереоскопические модели сложных физических объектов, модели технологических установок и процессов, виртуальные тренажёры (имитаторы), научно-популярные стереофильмы. Технология ВО расширила возможности реализации традиционных интерактивных приложений за счёт использования различных каналов передачи информации, повышения интенсивности передачи информации по этим каналам посредством их синхронизации друг с другом и блокирования пользователя от внешнего мира, предоставления интуитивного интерфейса для манипуляции данными. Однако роль ВО не ограничилась одним лишь количественным развитием и усовершенствованием традиционных форм интерактивных приложений.

Освоение возможностей ВО привело к качественному изменению способа организации потока инфор-

мации, получаемого пользователем в процессе взаимодействия с ЭИС. Погружение пользователя в виртуальный мир позволяет вовлечь его в происходящие там процессы в качестве полноправного участника, сделать пользователя не пассивным наблюдателем, а активным действующим лицом виртуального мира. Возможность естественного перемещения по виртуальному миру, интуитивного взаимодействия с виртуальными объектами и персонажами даёт совершенно новое качество — пользователь начинает «жить» в виртуальном мире так же, как в реальном, переносит свои подсознательные механизмы и стереотипы поведения в виртуальную среду. Смещение акцента с роли пассивного получателя информации (зрителя, слушателя) на роль действующего лица виртуального мира и активного участника разворачивающихся там процессов привело к появлению новой формы интерактивных приложений — виртуального повествования [36].

Термины виртуальное повествование (virtual storytelling) и интерактивное повествование (interactive storytelling) не являются вполне устоявшимися. В литературе можно встретить такие названия, как интерактивная история (interactive story, interactive narrative), нелинейное интерактивное повествование (non-linear interactive narrative), интеллектуальное виртуальное окружение (intelligent VE), виртуальное развлекательно-образовательное окружение (virtual edutainment environment), контекстно-зависимая игра (context-dependent game), драматургическая игра (dramaturgical gameplay), интерактивная драма (interactive drama) и др. Для обозначения человека — участника виртуального повествования употребляются термины пользователь (user), игрок (player), зритель (spectator), публика (audience), персонаж (character), актёр (actor). На наш взгляд, термин «пользователь» является наиболее нейтральным и подходит в большинстве случаев.

Виртуальное повествование — это новая форма организации пользовательского интерфейса ЭИС. Виртуальное повествование обеспечивает погружение пользователя в виртуальный мир с использованием технологии ВО и включает пользователя в определённый сюжет (сценарий) в качестве действующего лица. Основной задачей виртуального повествования является информирование или обучение пользователя, при этом пользователь играет активную роль в прохождении сюжета и имеет определённую свободу действий в виртуальном мире. До появления си-

стем ВО наибольшее вовлечение пользователя в процесс человеко-машинного взаимодействия обеспечивали, по-видимому, компьютерные игры с развитой графикой и сложным сюжетом. Технология ВО, в отличие от компьютерных игр, позволяет добиться высокой степени погружения пользователя в виртуальный мир даже при достаточно простом сюжете и второстепенной роли развлекательной составляющей. Это открывает широкие возможности по созданию разного рода обучающих и тренировочных приложений в виртуальном окружении.

Виртуальное повествование строится из сцен (scene), которые соединяются между собой переходными областями (transition area). Объекты, которые могут отображаться в визуальном представлении сцены, описываются в виде иерархически организованного графа сцены (scene graph). Переходные области (туннели) позволяют снизить нагрузку на систему отрисовки при переходе пользователя от сцены к сцене. В рамках сцены описывается также освещение, геометрия и физические свойства пространства, звуковое сопровождение, внутренний таймер, механизмы входа, выхода и перезагрузки сцены. Запуск событий (например, звуковых эффектов) или активизация персонажей в сцене могут производиться либо по внутреннему таймеру, либо на основе данных о перемещении пользователя, регистрируемых системой слежения. Пользователь может перемещаться по сценам и соединяющим их переходным областям либо в режиме ручной навигации (свободный полет, свободный полет вдоль поверхности, свободный полет в коридоре и т.п.), либо в режиме автоматической навигации по заранее заданным траекториям. Траектории движения также могут использоваться для синхронизации музыкального сопровождения с визуальным представлением сцен.

Ключевым преимуществом виртуального повествования перед другими близкими приложениями ВО является наличие сюжета. Сюжет направляет повествование по определённой траектории, предоставляя пользователю относительную свободу в выборе траектории и способов её прохождения. Сюжет может разворачиваться в рамках одной сцены или включать прохождение нескольких сцен. Основные элементы сюжета изображены на рис.4.

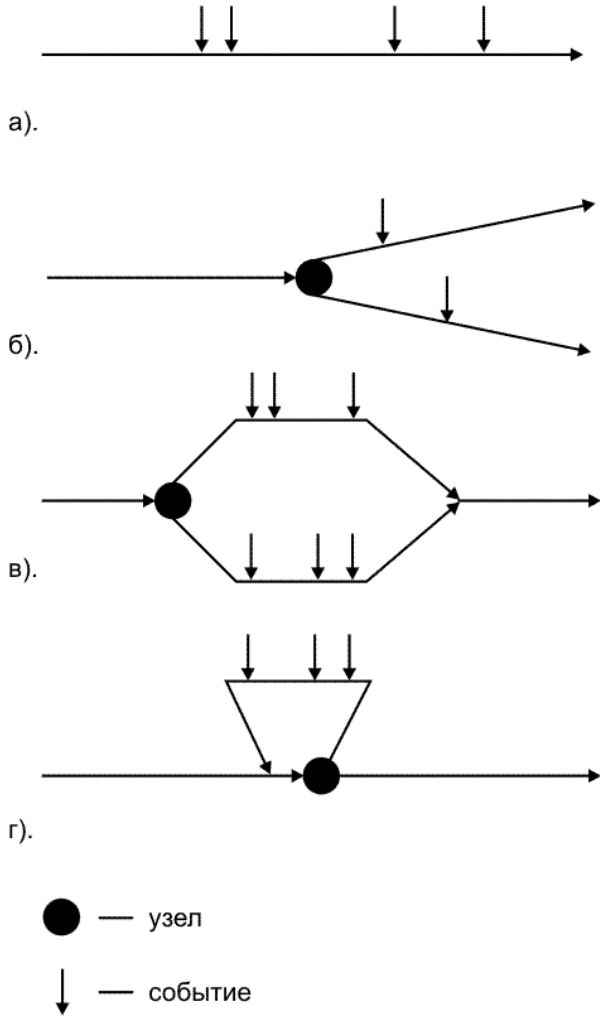


Рис.4. Основные элементы сюжета: а) линия; б) развилка; в) пучок; г) петля

Основной задачей при разработке приложений в жанре виртуального повествования является достижение баланса между собственно повествованием (narrative), то есть передачей пользователю определённой информации по заданному сценарию, и интерактивностью (interactivity), то есть возможностью пользователя влиять на развитие повествования и процесс получения этой информации. Эти функции во многом конкурируют между собой: чем жёстче регламентирован процесс передачи информации пользователю, тем меньше у него возможностей влиять на этот процесс; чем больше свободы у пользователя, тем сложнее направить его внимание на требуемую информацию. Эта проблема получила название «нарративного парадокса» (narrative

paradox), или «парадокса совмещения развлечения и образования» (edutainment paradox) [37]. В последнее время после опубликования в 1997 г. доклада Национального научно-исследовательского Совета США «Моделирование и имитация — связывание развлечений с обеспечением обороноспособности» [38] термин «edutainment» стал особенно популярным как среди разработчиков обучающих систем (education), так и среди разработчиков компьютерных и телевизионных развлечений (entertainment) [40]. Уже сформулировано понятие «серьёзная игра»<sup>1</sup>, которое активно используется для преодоления психологического барьера негативного отношения к играм и игровым технологиям в обучении [39].

В виртуальном повествовании можно выделить участки, которые не несут значимой информации (создающие иллюзию свободы пользователя), и значимые события, которые собственно и формируют повествование. Событие — это предусмотренный разработчиком акт взаимодействия системы с пользователем, имеющий определённое значение в контексте информирования, обучения или тренировки пользователя.

Особый тип событий составляют узлы — ситуации явного или неявного выбора пользователем одного из нескольких вариантов дальнейшего повествования, в зависимости от которого он в дальнейшем испытывает различные последовательности событий. К набору узлов и событий необходимо добавить точку входа пользователя в виртуальное повествование (начало повествования) и точку выхода (конец повествования). Тогда можно определить сюжетную линию как последовательность узлов, событий и участков между ними от точки входа до точки выхода, по которой может пройти пользователь. Объединение всех сюжетных линий и является сюжетом виртуального повествования. Если сюжет состоит из одной сюжетной линии (т.е. не имеет узлов), говорят о линейном сюжете, иначе — о нелинейном сюжете.

Важным элементом виртуального повествования является гид — виртуальный персонаж, закадровый голос или реальный человек. Гид выполняет следующие задачи:

— помогает пользователю освоиться с новой тех-

<sup>1</sup> «Серьёзная игра: умственное противостояние компьютеру, проводимое по определённым правилам, с использованием развлекательных приёмов для достижения правительственных или корпоративных целей в области образования, обучения, здравоохранения, государственной политики или стратегической коммуникации» [39]

нологией (перемещение по виртуальному миру, взаимодействие с виртуальными объектами);

- представляет пользователю виртуальное повествование (рассказывает, в чем заключается сюжет и что будет происходить с участником истории);
- объясняет, какие задания требуется выполнить пользователю, и мотивирует выполнять эти задания с наилучшим результатом.

Пример гида-аватара в путешествии по Солнечной системе показан на рис.5.



Рис.5. Гид-аватар «Виртуального планетария»

Разработка приложений виртуального повествования в последнее время становится одним из наиболее перспективных направлений при построении электронных обучающих систем. Далее рассмотрим конкретные примеры виртуального повествования, ориентированные на разные образовательные задачи.

### 3.1 Виртуальный планетарий

Образовательное приложение «Виртуальный планетарий» предназначено для обучения школьников астрономии с использованием технологий виртуальной реальности. Приложение разработано для установки CyberStage и перенесено на Linux-PC кластеры специалистами ИФТИ в рамках сотрудничества с Фраунгоферовским институтом медиакоммуникаций (Санкт Августин, Германия) с использованием программного инструментария Аванго [41, 42]. Виртуальный планетарий был впервые продемонстри-

рован на выставке ZeitReise («Путешествие во времени») <[www.zeitreise.net](http://www.zeitreise.net)>, которая была открыта с 12 мая по 25 июня 2000 года в Академии искусств в Берлине для «путешественников во времени и исследователей времени в возрасте от 6 до 15 лет» [43]. Виртуальный планетарий также неоднократно демонстрировался на международных выставках CeBIT (Ганновер, Германия).

В России постоянные экспозиции виртуального планетария были созданы ИФТИ и установлены в Институте космических исследований РАН (ИКИ РАН, Москва), в Научно-исследовательском центре электронной вычислительной техники (НИЦЭВТ, Москва) и в МФТИ.

Приложение использует специальные методы для реалистичного отображения астрономических объектов. Объекты отображаются так, как они были бы видимы из иллюминатора космического корабля, с сохранением действительных угловых размеров всех объектов для любой точки зрения. Модели объектов основаны на реальных астрономических данных и изображениях. Изображения отобраны из общедоступных архивов NASA и Американского геологического общества и помещены на сферические модели планет как текстуры, рис.6.



Рис.6. «Виртуальный планетарий»: Нептун и Тритон

Приложение представляет 3200 ярчайших звёзд (вплоть до звёздной величины 5,6, то есть видимые невооружённым глазом при наилучших усло-

виях наблюдения), 30 объектов Солнечной системы (9 планет и крупнейшие спутники, а также кольца Сатурна), 88 созвездий, которые отображаются на небесной сфере в виде схем соединения звёзд прямыми линиями либо в виде изображений со старинной звёздной карты. База данных содержит текстовые и звуковые описания астрономических объектов, которые вызываются пользователем, либо воспроизводятся автоматически в зависимости от выбранного режима навигации. Звуковые описания могут воспроизводиться как в форме закадрового голоса, так и в форме речи виртуального персонажа — аватара (avatar, virtual character, virtual guide), рис.5. Стереоскопическая проекционная система создаёт иллюзию открытого космического пространства.

Для представления объектов Солнечной системы в виртуальной модели использована нелинейная геометрическая модель. Проблема состоит в том, что размер Солнечной системы (диаметр орбиты Плутона) и размеры малых объектов (Фобос, Деймос) различаются более чем в  $10^9$  раз. Координаты объектов такой сцены не могут быть правильным образом представлены современным графическим программным обеспечением, основанном на четырёх-байтовом представлении вещественных чисел. В приложении использовано специальное нелинейное преобразование, которое отображает астрономические координаты из диапазона  $1 \dots 10^{10}$  км в координаты виртуальной модели в диапазоне  $1 \dots 50$  м. Преобразование выбрано таким образом, чтобы удовлетворить двум условиям: сохранить действительные угловые размеры планет для любого положения камеры и запретить проникновение внутрь планет при движении камеры. Скорость движения камеры также меняется нелинейно таким образом, чтобы время перелёта между любыми двумя планетами было сравнимым по порядку величины.

Навигация производится либо с помощью указки, положение и ориентация которой регистрируются электромагнитной системой слежения, либо с помощью джойстика или мыши. В пространстве виртуальной модели указка представлена как зелёный луч, с помощью которого пользователь может выбирать направление движения и интересующие его объекты. Для отображения информации о выбранных объектах и маршруте используется панель навигации, сходная с окном HTML-браузера. Простое указание на объект вызывает отображение его описания на навигационной панели. Выбор объекта в списке планет и созвездий на навигационной панели иницииру-

ет движение к выбранному объекту или отображение созвездия. Для ручного управления движением применяют развороты указки (джойстика, мыши) и нажатие на кнопку. С движением наблюдателя связано звуковое сопровождение. Две музыкальные темы, представляющие состояние покоя и быстрого движения, смешиваются в соответствии со скоростью движения.

Обучающее приложение «Виртуальный планетарий» может использоваться как в режиме интерактивной модели с ручной навигацией, так и в режиме виртуального повествования с автоматической навигацией по заданному сюжету. Пользователь может выбирать маршрут путешествия по виртуальной Солнечной системе, рассматривать карту звёздного неба и схемы созвездий, наблюдать модели планет, спутников и астрономических явлений, читать или прослушивать интересующую его информацию о наблюдаемых объектах. Приложение может применяться в школах и других учебных заведениях в качестве эффективного и увлекательного дополнения к традиционному курсу астрономии.

### 3.2 Уроки из космоса



Рис.7. Сеанс связи со школьниками

Во время полёта космической станции «Мир» космонавтом А.А. Серебровым была проведена успешная работа по образовательной программе, предусматривающая привлечение учащихся к изучению космической техники, особенностей условий космического полёта, наук о Земле [44]. Во время полёта в прямом эфире проводились встречи экипажа

со школьниками, находящимися в ЦУПе, с демонстрацией опытов, картин Земли и космоса, интерьеров станции. Программы встреч готовил сам ведущий — А.А.Серебров. После полёта было выпущено несколько видеофильмов по физике, географии, экологии, см. рис.7 — рис.10. Весь тираж быстро разошёлся, но повторение его ни тогда, ни на современном уровне (DVD) пока не состоялось.



Рис.8. Капля жидкости в невесомости

В NASA действует образовательная программа, которая сводится к обсуждению учащимися и экипажем Международной космической станции (МКС) вопросов по различным областям знаний во время телеконференции. Активной стороной в американской форме обучения из космоса оказывается сторона школьников, а при смене аудитории вопросы обычно повторяются. Такой подход, конечно, упрощает работу экипажу, но не формирует системных знаний у учащихся. Накопленный большой опыт по организации и проведению учебных сеансов на космической станции «Мир» может служить надёжной методологической базой для продолжения «Уроков из космоса» на основе технологии виртуального повествования.

В процессе внедрения инновационных образовательных программ было бы целесообразно возобновить российскую программу обучения для школьников и студентов. Но встреч даже на регулярной основе учащихся с космонавтами, работающими на борту МКС, будет все же недостаточно, ввиду того, что загруженность экипажа основной работой не позволит поставить уроки из космоса на системном уровне. Поэтому предлагается, используя реальные уроки из кос-

моса и совместив их с технологией виртуальной реальности, развить большой образовательный проект в жанре виртуального повествования. Своевременная инициатива в данном направлении Европейского космического агентства и большой потенциал МКС, учитывая технические возможности экипажа на российском сегменте МКС (фото-оборудование и видео-оборудование для внутренних съёмок и съёмок через иллюминатор, оборудование для съёмок в открытом космосе, аппаратура высокого разрешения, радиолюбительская система связи, система баллистико-навигационного обеспечения экипажа), несомненно, обеспечат выполнение предлагаемого проекта.



Рис.9. Гирискосп в невесомости

### 3.3 Эксперименты в космосе

Образовательное приложение «Эксперименты в космосе» предназначено для обучения научных сотрудников методике постановки технических, физических, химических, биологических, биотехнических и других экспериментов в условиях космического полёта. Условия на борту орбитальной станции и любого космического аппарата существенно отличаются от привычных, земных, что необходимо учитывать при планировании, подготовке и постановке экспериментов. Погружение пользователя в обстановку орбитального модуля позволяет наглядно продемонстрировать ограничения, накладываемые условиями космоса, и показать последствия наиболее распространённых ошибок [45].

Эксперименты на орбитальных станциях и космических аппаратах имеют свои особенности. Чрезвычай-

но высокая стоимость исследований в космосе обязывает правильно готовить проведение космических экспериментов (КЭ) на борту, небольшая ошибка может привести к существенным погрешностям, если не полной потере результатов. Международный характер сотрудничества и большое количество научных школ, участвующих в постановке экспериментов, различающаяся компоновкой научного оборудования и правил работы с ним в модулях разных стран-партнёров по МКС требует предусматривать не только технические, но и методические сопряжения различных стадий КЭ. Постановщики КЭ нередко не учитывают, что этапы выведения на орбиту, орбитального полёта и спуска с орбиты резко различаются по уровням воздействия ряда факторов, и при подготовке эксперимента опираются на некий единый образ космической базы для эксперимента.

Но главная особенность КЭ — уникальное сочетание факторов, влияющих на исследуемый процесс. Между тем опыт выполнения КЭ на орбитальном комплексе «Мир» и научные исследования на МКС показали, что в КЭ учитывается, в основном, фактор невесомости (микрогравитация) [46]. Ряд других факторов таких, как электромагнитные и корпускулярные потоки спокойного Солнца, протонные и оптические вспышки, радиовсплески на Солнце, параметры солнечного ветра, возмущения ионосферы и магнитосферы, в некоторых экспериментах считаются второстепенными или экранированными [45]. Учёт воздействия этих факторов и возможных эффектов их нелинейного взаимодействия представляет значительный интерес, особенно при исследовании квантовых и биологических систем.

В космическом полете взаимодействие факторов выражено резче, чем в обычных условиях (среда обитания — это многофакторная система с количественным преобладанием того или иного фактора). Например, посещая тренажёр МКС с целью знакомства с интерьером станции и планирования размещения своей научной аппаратуры, постановщик КЭ обычно не догадывается, что за ровными панелями модуля огромный объем пространства полностью заполнен многочисленными системами, которые создают совершенно необычную электромагнитную обстановку [47]. Для российского сегмента МКС характерна особенно высокая насыщенность оборудованием, генерирующим электромагнитные поля широкого спектра и различной интенсивности.

Визуализация такого оборудования с виртуальной анимацией силовых линий электромагнитных полей

поможет учитывать реальную электромагнитную обстановку на борту и позволит, с одной стороны, с большей адекватностью оценивать возможные влияния в ходе экспериментов, вызываемые электромагнитными полями, а с другой — целенаправленно разрабатывать методы и средства снижения и компенсации нежелательных последствий для здоровья экипажа.

Ошибки экспериментаторов встречаются как на стадии планирования, так и обработки результатов КЭ. Рассмотрим КЭ, который проводится регулярно — исследование акустической обстановки в Служебном модуле МКС с использованием шумомера — «Анализатор акустического шума БК 2260» [48]. Разовые акустические замеры в контрольных точках в соответствии со схемой, имеющейся в бортовой документации, выполняют члены экипажа, а результаты измерений анализируют специалисты на Земле. Понятно, что высокая точность измерений здесь не требуется, и вполне достаточно заключение типа: «в момент измерений уровень шума в отсеках СМ МКС превышает предельно-допустимые значения для рабочего периода на 2 — 20 дБА, а для периода сна (в каютах) — на 14,5 — 15,5 дБА». Но тем более удивляет следующий за ним вывод: «Различие с предыдущими замерами в точке 1 (66 дБА относительно 62 дБА) связано с тем, что при первом измерении оператор стоял к вентилятору спиной и загораживал его, а при повторном измерении — лицом, при прочих равных условиях». Критерий отнесения шума к категории постоянных как раз состоит в том, что в процессе измерений на временной характеристике шумомера «медленно» уровень сигнала не изменяется более 5 дБА. Особо стоит отметить утверждение, что «космонавт стоял» в невесомости, которое демонстрирует неадекватность представлений постановщиков эксперимента реальным условиям проведения измерений.

Похожий случай — указание в инструкции по проведению одного из КЭ «вернуть стеклянную трубку запаянным концом вверх». Как это ни странно, даже серьёзные учёные не задумываются о том, что в невесомости «верха» и «низа» нет. Апофеозом неверных устоявшихся представлений о невесомости может служить фрагмент сценария несостоявшегося фильма Ю.Кары, для съёмки которого артист В.Степков готовился к полёту на станцию «Мир». Диалог на борту орбитальной станции:

— «Это дело надо отметить».



— У меня как раз сохранилась бутылочка хорошего коньяка. Доставай рюмку»

Демонстрация виртуального эпизода с попыткой «разлить» в невесомости жидкость из бутылки по рюмкам навсегда бы запомнилась всем желающим придумать нечто своё для космического полёта. Поведение капли жидкости в невесомости прекрасно видно на рис.10 в демонстрации А.А.Сереброва на борту станции «Мир».

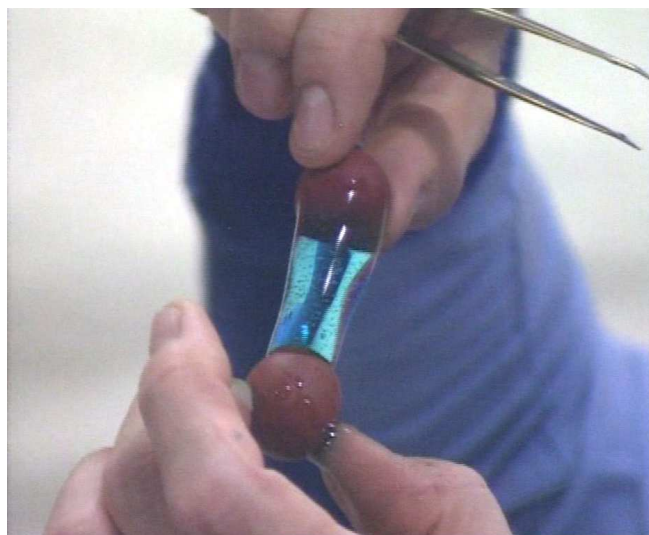


Рис.10. Поведение капли

Таким образом, решение проблемы постановки космического эксперимента лежит не только на пути разработки методик выделения значимых и фундаментальных факторов (по направлениям исследований), математических моделей взаимодействия исследуемого объекта с комплексом значимых факторов, создания комплекса имитационных моделей космического эксперимента, но также и интерактивных моделей КЭ в виртуальном окружении.

Приложение «Эксперименты в космосе» разрабатывается в настоящее время в Институте физико-технической информатики на основе анализа КЭ, проведённых на орбитальной станции «Мир» в 1986 — 2000 гг., а также КЭ, постановка которых осуществляется на МКС с 2001 года по настоящее время.

### 3.4 Анализ политической сцены

Образовательное приложение «Анализ политической сцены» предназначено для обучения студентов

навыкам анализа политической ситуации. Политический ситуационный анализ заключается в определении ключевых действующих лиц, главных сюжетных линий и значимых событий, описании взаимосвязи этих элементов с использованием различных формализованных техник (матриц связности, матриц влияния и т.п.) [49], [50], [51] и прогнозировании развития ситуации на ближайший период. Критерием точности и глубины проведённого анализа является степень соответствия между прогнозом и реальным развитием ситуации. Приложение предоставляет пользователю модель политической сцены с заданным потоком внешних событий и набор виртуальных персонажей с неизвестными пользователю стратегиями поведения. В качестве модели политической сцены используется пьеса Шекспира «Король Иоанн». Пользователю предоставляется возможность включать или исключать из модели действующих лиц и внешние события и наглядно моделировать развитие ситуации с разными входными условиями, проверяя, таким образом, точность своего анализа.

Использование произведений Шекспира для построения виртуальных миров, совмещающих научные и развлекательные задачи, приобретает в последнее время все большую популярность. В частности, профессор Университета Индианы (Блумингтон, США) Эдвард Кастронова (Edward Castronova) [52] в 2006 г. получил грант в размере 240 000 USD от частного фонда MacArthur Foundation на разработку многопользовательской ролевой игры Arden: The World of Shakespeare, построенной по мотивам пьес Шекспира. На начальном этапе события игры будут опираться в первую очередь на пьесу «Ричард III». Предполагается, что игра станет средой для проведения социальных экспериментов. Профессор Кастронова с 2000 г. занимается вопросами социального и экономического устройства многопользовательских ролевых игр в Интернете, его взгляды отражены в недавно изданной книге «Синтетические миры: бизнес и культура сетевых игр» [53].

## 4 Заключение

В статье представлена современная и перспективная технология взаимодействия пользователя с электронной информационной системой — виртуальное повествование, которая может стать технологической базой инновационных образовательных программ. Рассмотрены современные технологии вир-

туального окружения и программный инструментальный Аванго для создания приложений в виртуальном окружении, описаны принципы построения виртуального повествования и представлены примеры реализации. Можно ожидать, что по мере развития технологий ВО и искусственного интеллекта приложения виртуального повествования будут все в большей степени применяться для организации интерфейсов к компьютерным системам поддержки процессов обучения. В частности, жанр виртуального повествования может эффективно применяться для создания инструкций по эксплуатации и сопроводительной документации к технологически сложным изделиям, в том числе, военного назначения, в рамках концепций CALS, PLCS, PLM <sup>2</sup>.

В заключение можно сделать выводы, что технология виртуального повествования может применяться как основа инновационных образовательных программ в широких сферах приложений:

1. Виртуальные лекционные аудитории для коллективного обучения.
2. Создание виртуальных культурных памятников и реконструкция утраченных археологических объектов, виртуальные музеи.
3. Тренажёры для задач исследования космоса и других задач гражданской и военной тематики.
4. Центры ВО для дизайна и быстрого создания прототипов.
5. Центры ВО для интерпретации больших массивов геологической и сейсмической информации.
6. Ситуационные центры для руководителей государственных организаций и администрации местного самоуправления различных рангов.
7. Ситуационные центры для советов директоров коммерческих компаний.
8. Презентационные системы для демонстрации и маркетинга сложный и дорогих изделий (архитектура зданий, мебель, ювелирные украшения, уникальные образцы самородков и кристаллов).
9. Центры виртуальной реальности для индустрии развлечений.

<sup>2</sup>iCALS — первоначально Computer Aided Logistic Support, в настоящее время Continuous Acquisition and Life cycle Support. PLCS — Product Life Cycle Support. PLM — Product Life Management. Все три термина означают практически одно и то же: система управления электронной документацией и обмена информацией о технологически сложном изделии на всех этапах его жизненного цикла.

Накопленный нами опыт и полученные новые знания в области применения систем ВО открывают широкие возможности для реализации ряда инновационных проектов под общим названием «Разработка инновационных образовательных программ на основе технологии виртуального повествования для широкого использования в различных образовательных приложениях, в проектировании и производстве сложных изделий, в медицине и экологии, а также в других областях социальной сферы»

## 5 Благодарности

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить своих коллег из ИФТИ и Кафедры СИМ МФТИ В.П. Алешина, В.О. Афанасьева, Д.А. Байгозина, П.А. Брусенцева, А.С. Бугаева, М.И. Гуревича, В.Ф. Захарушкина, И.П. Казанского, В.И. Нифонтова, В.А. Петрухина, В.А. Скорика, Е.А. Слободюка, А.И. Сурина, С.А. Фомина, П.В. Фролова, М.В. Фурсу, Д.А. Шкаровского за существенный вклад в развитие технологии виртуального окружения и её внедрение в образование. Авторы благодарны Российскому фонду фундаментальных исследований (РФФИ) за частичное финансирование наших исследований по грантам 96-01-01273, 99-01-00451, 00-07-90165, 01-07-90327, 02-01-01139, 02-07-90001, 02-07-90363, 02-07-93013, 02-07-93016, 04-07-08026, 04-07-90003, 04-07-90039, 04-07-90423, 04-07-97211, 05-01-01028, 05-07-08021, 05-07-90344, 05-07-90390, 06-07-03007, 06-07-08030, 06-07-93031, 06-07-95009. Авторы благодарны Фраунгоферовскому институту медиакоммуникаций (Санкт Августин, Германия) за плодотворное международное сотрудничество и гостеприимство, Минпромнауки РФ и Федеральному министерству образования и науки Германии (BMBWF) за финансирование международных проектов.

## Список литературы

- [1] *“Digital Storytelling”*// Special issue Computer & Graphics, Vol.26, Num.1, 2002, pp.1-66
- [2] Байгозин Д.А., Батурин Ю.М., Гёбель М., Клименко С.В., Леонов А.В., Никитин И.Н., Никитина Л.Д. *«Интерактивное повествование в виртуальном окружении: обучающая система «Виртуальный Планетарий»*// Вычислительные методы и программирование. — 2004, Т.5, No.2, с.192-205

- [3] Palloff & Pratt. "Building Learning Communities in Cyberspace". San Francisco: Jossey-Bass, 1999
- [4] Ekaterina Prasolova-Førland. "Virtual Spaces as Artifacts: Implications for the Design of Educational CVEs" // Proc. of Cyberworlds 2003, December 3-5, Singapore, pp.396-403
- [5] Lee Chye Seng, Tan Tiong Hok. "Humanizing E-Learning" // Proc. of Cyberworlds 2003, December 3-5, Singapore, pp.418-422
- [6] Youngblut C. "Educational Uses of Virtual Reality Technologies". Institute for Defence Analyses, 1998
- [7] "Artificial Intelligence Tools in education" // Proceedings of the IFIP TC3 Working Conference, Frascati, Italy, 26-28 May 1987, Elsevier, Edited by P.Ercoli, R.Lewis, 1987
- [8] Постановление Правительства РФ от 14 февраля 2006 г. No.89 «О мерах государственной поддержки образовательных учреждений, внедряющих инновационные образовательные программы», <http://www.mon.gov.ru/proekt/shkola/2222/>
- [9] Приказ Минобрнауки РФ от 2 марта 2006 г. No.44 «Об утверждении Порядка и критериев конкурсного отбора образовательных учреждений высшего профессионального образования, внедряющих инновационные образовательные программы», <http://www.mon.gov.ru/proekt/shkola/2245/>
- [10] Bruckman A. "MOOSE Crossing: Construction, Community, and Learning in a Network Virtual World for Kids", MIT, Boston, MA, 1997
- [11] Gervail J.-P., Popovici D.-M., Tisseau J. "Educative Distributed Virtual Environments for Children" // Proc. of Cyberworlds 2003, December 3-5, Singapore, pp.382-387
- [12] Смирнов С.Д. «Педагогика и психология высшего образования: От деятельности к личности» // Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский центр «Академия», 2005, с.12, с.198-199
- [13] Брунер, Джером С. «Психология познания» — М.: Прогресс, 1977, 412 с.
- [14] Клименко С.В. и др. «Электронные документы в корпоративных сетях» — М.: Эко-Трендз, 1999, 272с.
- [15] Леонов А.В. «Динамический документ — ключевой объект современных информационных систем» // Proc. VEonPC'2003, изд.ИФТИ, Протвино, 2003, ISBN 5-88835-009-5, с.150-169.
- [16] Aukstakalnis S. and Blatner D. "Silicon Mirage — The Art and Science of Virtual Reality" — Berkeley: CA, Peachpit Press, 1992.
- [17] Milgram P. and Kishino F. "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays" — IEICE Transactions on Information Systems E77-D (12), 1994.
- [18] CSCW 2006, November 4-8, Banff, Alberta, Canada, <http://www.cscw2006.org/index.html>
- [19] D.A. Bowman, E. Kruijff, J.J. LaViola, Jr, I. Poupyrev. "3D User Interfaces: Theory and Practice" — Addison-Wesley, Pearson Education, Inc., 2004, 478p.
- [20] <http://cyberpunkreview.com/forums/viewtopic.php>
- [21] Аванго home page: <http://www.avango.org/>
- [22] Tramberend, Henrik. "Avango: A Distributed Virtual Reality Framework" // Rosenblum, L., Astheimer, P., Teichmann, D. (eds.): Proceedings Virtual Reality 1999, IEEE Computer Society Press, Conference, Houston, Texas, 1999, с.14-21
- [23] VEonPC'2001 «Первая международная конференция по системам виртуального окружения на кластерах персональных компьютеров», 22-25 сентября 2001 г., Протвино, ИФТИ; 26-29 сентября 2001 г., Иркутск, Озеро Байкал, изд. ИФТИ, Протвино 2001 г., ISBN 5-88835-032-X, 188 с.
- [24] Virtual Environment on PC Cluster'2002, Workshop Proceedings, Protvino-St.Petersburg, ISBN 5-88835-011-7, pub. by ICPT 2002, 185 p.
- [25] Третья международная конференция VEonPC'2003 «Системы виртуального окружения на Linux-кластерах персональных компьютеров», 9-11 июня 2003 г., Москва, НИВЦ МГУ; 12-15 июня 2003 г. Ханты-Мансийск, Югорский НИИИТ, изд. ИФТИ, Протвино 2003 г., ISBN 5-88835-009-5, 184 с.
- [26] Клименко С.В., Никитин И.Н., Никитина Л.Д. «Аванго: система разработки виртуальных окружений» — Москва-Протвино, 2006, Институт физико-технической информатики, ISBN 5-88835-017-6, 252 с.
- [27] J.Rohlf and J.Helman. "IRIS Performer: A High Performance Multiprocessing Toolkit for Real Time 3D Graphic" // In A. Glassner, editor, Proceedings of SIGGRAPH'94, pp.381-395
- [28] Ежов В.А. «Трёхмерный дисплей: выбор реализуемых и перспективных технических решений» — Публикации ООО «Корпорация СТЭЛ», [http://3dstereo.ru/download\\_r.htm](http://3dstereo.ru/download_r.htm)
- [29] Стереомир. С.Рожков и Н.Овсянников. «Краткий толковый словарь терминов стереоскопии. В 4-х частях» — <http://www.stereomir.ru/encycl.htm>
- [30] <http://en.wikipedia.org/wiki/IMAX>
- [31] Klimentko S.V., Nikitin I.N., Nikitina L.D. "Reducing Optical Crosstalk in Affordable Systems of Virtual Environment" // Proc. of Cyberworlds 2003, December 3-5, Singapore, pp.100-105
- [32] Патент WO 2005/039192 A1 (BARCO N.V.), приоритет 21 октября 2003 г.
- [33] Ezhov V.A., Studentsov S.A. "Volume (or stereoscopic) images on the screens of standard computer and television displays" // Proc. SPIE, 2005, v.5821, pp.102-116

- [34] Meyer, H. L. Applewhite and F. A. Biocca, "A Survey of Position Trackers", Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 1, No. 2, 1992.
- [35] Афанасьев В.О., Брусенцев П.А., Клименко С.В., Михайлюк М.В., Торгашев М.А., Фомичев В.М. «Опыт применения и перспективы развития систем виртуального окружения в космических тренажёрах и системах телеприсутствия»// Труды Третьей международной конференции VEOPC'2003 «Системы виртуального окружения на Linux-кластерах персональных компьютеров», 9-11 июня 2003 г., Москва, НИВЦ МГУ; 12-15 июня 2003 г. Ханты-Мансийск, Югорский НИИИТ, изд. ИФТИ, Протвино 2003 г., ISBN 5-88835-009-5, с.5-20
- [36] Göbel, Martin et al. "On Creating Virtual Reality Stories And Interactive Experiences" //in Proc. GraphIcon, 2000.
- [37] Sobral D., Machado I., Paiva A. "Machiavellian Characters and the Edutainment Paradox"// Proceedings of the 4th International Working Conference on Intelligent Virtual Agents — IVA 2003. Springer
- [38] M. Zyda and J. Sheehan, eds., "Modeling and Simulation Linking Entertainment & Defense", National Academy Press, 1997; <http://books.nap.edu/cata-log/5830.html>
- [39] Michael Zyda, "From Visual Simulation to Virtual Reality to Games", Computer, vol.38, no.9, 2005, pp.25-32
- [40] "Edutainment"// Special issue Computer & Graphics, Vol.30, Num.1, 2006, pp.1-28
- [41] Klimenko S., Nikitin I., Burkin V., Göbel M., Hasenbrink F., Tramberend H. "Virtual Planetarium in CyberStage" // Proc. 6-th Eurographics Workshop on Virtual Environments, 2000.
- [42] Klimenko S., Nielson G., Nikitina L., Nikitin I., Strassner J. "Virtual Planetarium: Learning Astronomy in Virtual Reality" // Proc. ED-MEDIA, 2004.
- [43] S.V.Klimenko, I.N.Nikitin, Virtual Planetarium at Exhibition ZeitReize. ERCIM News No.43, October 2000.
- [44] Полтавец Г.А. «Аэрокосмическое образование детей в непрерывной системе обучения»// В сб.: Космос в фокусе политики, экономики, культуры. — М.: Информационно-издательский дом «Новости космонавтики», Издательский центр «Экспринт», 2002, с.190-203
- [45] Батурин Ю.М., Жуков В.М. «К вопросу о методологии космического многофакторного эксперимента»// Труды Шестой международной научно-практической конференции «Пилотируемые полёты в космос», 10-11 ноября 2005 г., Звёздный городок, с.83-85
- [46] Батурин Ю.М. «К вопросу о классификации космических экспериментов»// Труды Шестой международной научно-практической конференции «Пилотируемые полёты в космос», 10-11 ноября 2005 г., Звёздный городок, с.85-86
- [47] Жорина Л.В., Змиевский Г.Н. «Основы взаимодействия физических полей с биологическими объектами. Воздействие ионизирующего и оптического излучения» — М.: Издательство МГТУ имени Н.Э.Баумана, 2006.
- [48] Куклев Ю.И. «Физическая экология» — М.: «Высшая школа», 2003, с.60-62.
- [49] Харари Ф. «Теория графов» — М.: «Мир», 1973, с.178-182
- [50] Кристофидес Н. «Теория графов. Алгоритмический подход» — М.: «Мир», 1978, с.25-27
- [51] Котелкин А.И., Мусин М.М. «Матрицы влияния. Теория и практика экономического управления» — М.: «Лето», 2003, 296 с.
- [52] «Персональная страница Эдварда Кастронова в Интернете» — <http://mypage.iu.edu/castro/home.html>
- [53] Castronova, Edward. "Synthetic Worlds: The Business and Culture of Online Games" — University Of Chicago Press, 1 ed. (Nov. 2005), 2 ed (Oct. 2006), 334 с.