

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ВИРТУАЛЬНОГО ОКРУЖЕНИЯ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

КЛИМЕНКО С.В., д-р физ.-мат. наук, БРАГУТА М.В., асп.

Рассматривается возможность применения технологии виртуального окружения в процессе диспетчерского управления в целях создания виртуальных диспетчерских щитов как одного из способов эффективной подготовки высококвалифицированного персонала, а также для использования в качестве источника визуализации на диспетчерских пунктах управления. Рассмотрены перспективы применения технологии виртуального окружения для решения задач отображения информации на диспетчерских пунктах управления.

Ключевые слова: виртуальное окружение, виртуальный тренажер, диспетчерское управление.

USING THE VIRTUAL ENVIRONMENT SYSTEM FOR INFORMATION VISUALIZATION IN THE FIELD OF POWER ENGINEERING SYSTEMS MANAGEMENT

S.V. KLIMENKO, Doctor of Physics and Mathematics, M.V. BRAGUTA, Post Graduate Student

The authors consider the opportunity to apply virtual environment technology for monitoring process of designing virtual dispatcher panels as a way of efficient highly skilled specialists training and also for using them as a visualization source at the management control stations of. The article speaks about the perspectives of applying virtual environment technology to solve information reflection tasks at the management control stations.

Key words: virtual environment, virtual simulator, monitoring.

Введение. Эффективная работа диспетчерского персонала является важнейшим фактором в обеспечении надежного функционирования энергосистем. Оценку состояния энергосистемы диспетчерский персонал производит по визуализируемой информации. Правильное представление о состоянии управляемого объекта зависит не только от полноты полученной информации, но и от способа ее визуализации.

В связи с реформой электроэнергетики в РФ появилось множество компаний с различными видами собственности и территориальной структуры, на которых необходима установка новых или модернизация существующих диспетчерских пунктов управления. В то же время обострившаяся конкуренция между энергокомпаниями приводит к повышенной ротации кадров и, как следствие, большим временным и финансовым потерям компаний на обучение диспетчерского персонала. Все это увеличивает поток информации и повышает требования как к диспетчерскому и технологическому персоналу, так и к возможности адаптации систем управления электрическими сетями и систем визуализации данных к новым прогрессивным методам и технологиям управления. В связи с этим в РАО «ЕЭС России» приняты «Концепция по обеспечению надежности в электроэнергетике» [1], «Стандарт организации профессиональной подготовки, переподготовки, повышения квалификации персонала СО ЕЭС П12005» [2], а также «Регламент деятельности образовательных учреждений РАО «ЕЭС России» [3], предусматривающие комплексный подход к реализации мероприятий, включающий и человеческий фактор, и направленные на обеспече-

ние надежности, экономичности, эффективности и безопасности выработки, распределения и потребления электрической энергии и тепла. Кроме того, принято решение о разработке «Комплексной программы РАО «ЕЭС России» по управлению человеческими ресурсами и профессиональной подготовки кадров» [4].

В настоящее время происходит постепенное внедрение в центры диспетчерского управления средств отображения информации на основе видеокубов [6], благодаря большой функциональности и унификации этой технологии. Вместе с тем следует отметить высокую стоимость этой технологии и, как следствие, зачастую небольшое информационное поле, что затрудняет их повсеместное внедрение в диспетчерских щитах и тем более в учебно-методических центрах. Также следует отметить, что необходима адаптация персонала, привыкшего к классическим мнемоническим схемам, и эффективное обучение новых операторов диспетчерских пунктов, зачастую рассматривающих монитор (плазменную панель) компьютера или коллективный проекционный экран как нечто абстрактное и не имеющее отношения к реальным объектам электроэнергетики.

Диспетчерские щиты, задействованные в системах управления электроэнергетическими процессами, проблематично использовать в экспериментах и в процессе обучения в связи с опасностью моделирования нестандартных ситуаций, а их компьютерные модели зачастую тривиальны и не позволяют полноценно «погружать» обучаемого в процесс управления, учитывая психологический фактор присутствия на существующем диспетчерском щите управления.

Таким образом, можно сформулировать основные требования к средствам отображения данных как к одному из главных факторов в процессе оценки сложившейся ситуации и принятия решения диспетчером:

- простота навигации оператора в предоставляемой информации;
- учет классических ассоциаций оператора;
- возможность расширения объемов визуализируемой информации;
- простая адаптация к изменению состава визуализируемой информации;
- низкая стоимость средств визуализации информации;
- близость к исторически сложившимся средствам визуализации.

На наш взгляд, необходимо обратить внимание лиц, принимающих решения по развитию технологии управления энергетическими системами в РФ и по подготовке персонала диспетчерских пунктов, на возможность использования систем виртуального окружения (ВО) (которые мало известны в России, но уже давно применяются в различных областях науки и обучения персонала за рубежом) в сфере подготовки высококвалифицированного персонала для управления электроэнергетическими системами и применения данной технологии как основного или вспомогательного источника визуализации на диспетчерских щитах управления.

Существующие системы визуализации диспетчерской информации. В электроэнергетике широко распространены диспетчерские мнемонические щиты на основе мозаичной панели (рис. 1), предназначенные для визуального отображения параметров телесигналов (ТС) и телеизмерений (ТИ), а также восприятия управляющих и контролирующих действий оператора в автоматизированных системах диспетчерского управления (АСДУ) [5].

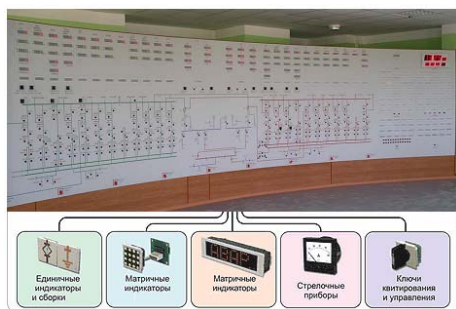


Рис. 1. Диспетчерский щит на основе мозаичной мнемонической схемы и его элементы

Мозаичная панель представляет собой конструкцию решетчатого типа, собираемую из пластиковых модулей, устройство которых позволяет собирать изогнутые щиты. Панель заполняется единичными элементами мнемонической схемы – мозаичными плитками с нанесенными неактивными элементами мнемосхемы,

многоуровневыми матричными индикаторами, стрелочными приборами и др. [6].

К преимуществам мнемонических щитов следует отнести: наглядность представления информации; статическую психологическую привязку мнемонита к реальным объектам. Основными недостатками являются: сложность модернизации, обслуживания; низкая надежность световых индикаторов; ограничение по количеству отображаемых сигналов и сложность представления больших распределенных схем.

В недавнее время началось использование плазменных панелей или видеокубов в центрах диспетчерского управления [6]. Видеоцена (рис. 2) как средство отображения коллективного пользования дополняет функциональность диспетчерского щита возможностью вывода различной динамической информации для ее коллективного анализа оперативно-диспетчерским персоналом.



Рис. 2. Применение видеостен в центрах диспетчерского управления

Виртуальное окружение. В последние годы все более востребованными становятся возможности систем виртуальной реальности, позволяющие воспроизводить в виртуальной среде объекты (их структуру, вид, поведение и взаимодействие), которые в режиме реального времени могут копировать поведение своих реальных прототипов, находящихся и функционирующих в реальной среде [7].

Термин «виртуальная реальность» широко распространен в популярной литературе, однако он представляется неудачным для использования в качестве научного термина. Мы отдаем предпочтение термину «виртуальное окружение» и придерживаемся следующей его трактовки:

«Виртуальное окружение – это технология человеко-машинного взаимодействия, которая обеспечивает погружение пользователя в трёхмерную интерактивную среду изучаемого или моделируемого явления или процесса и предоставляет естественный интуитивный интерфейс для взаимодействия с объектами» [8].

Использование систем ВО обеспечивает возможность представления больших массивов

данных, взаимодействия с трехмерными моделями исследуемых объектов. Применение систем ВО позволяет перейти на более высокий качественный уровень обработки данных, моделирования и проведения экспериментов, разработки сложных машин и механизмов, создания тренажеров и систем управления сложными технологическими процессами.

Ряд задач, решаемых с применением технологии ВО, достаточно широк, среди них:

- моделирование чрезвычайных ситуаций и катастроф с учетом конкретного рельефа местности и имеющихся зданий и сооружений [9];
- визуализация моделей космических аппаратов и создание виртуальных космических лабораторий [10, 11];
- визуализация и моделирование экологической обстановки [12];
- визуализация в медицине и создание медицинских тренажеров [13].

Психологами доказано, что при погружении пользователя в виртуальную среду и иницировании стереоскопического видения виртуальной 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 рассмотрении и анализе большого объема данных. При этом максимальный результат достигается при коллективной работе (эффект «мозгового штурма»). Человеку свойственно занимать активную роль в процессе получения информации из окружающей среды или от других людей: в процессе исследования, обучения с преподавателем или без него (самообразования) [14]. Активность проявляется в свободном выборе и оперативном регулировании направления внимания, в выборе степени концентрации на различных каналах восприятия (зрение, слух, осязание, обоняние, вкус). Новая информация встраивается в существующую систему знаний, дополняет и трансформирует эту систему. Чтобы стать новым знанием, получаемая информация должна быть интерпретирована и взаимосвязана с теми знаниями, которыми уже обладает человек [15].

Классификация систем ВО. На сегодняшний момент существует широкий спектр систем ВО, различаемых по соотношению реальных и виртуальных объектов и разной степени погружения. Между системами полного виртуального окружения и реальным миром располагается целый ряд приложений, в отношении которых Пол Милграм (Paul Milgram) предложил использовать термин «смешанная реальность» (mixed reality – MR) (рис. 3) [16]. С одной стороны, это приложения, где реальные объекты дополнены трехмерными 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 приложениях ВО, в которых синтезированную компьютерную модель дополняют видеоизображения реальных людей и объектов (телеприсутствие, кооперативная работа) [17]. Технологии дополненной реальности и дополненной виртуальности стали фактически самостоятельными перспективными направлениями развития систем ВО. Диаграмма Пола Милграма (рис. 3) получила название континуума «реальность-виртуальность» (reality-virtuality continuum) [16].

Если внешний вид реальных объектов, их строение и структура воспроизводятся с высокой точностью, а также данные об этих объектах позволяют достоверно воспроизводить их поведение в виртуальной среде (в реальном времени), то виртуальную среду можно рассматривать как средство наблюдения за реальными объектами и реальными событиями, не требующее нахождения в самой реальной среде.



Рис. 3. Диаграмма Пола Милграма

Системы виртуального окружения с такими возможностями выделяют в отдельный класс, поскольку эти системы имеют ярко выраженные функциональные особенности. В таких системах реальные объекты фактически управляют своими «виртуальными двойниками», т. е. в определенном смысле поведение виртуальных объектов индуцируется поведением реальных объектов. Такие виртуальные среды называются индуцированным виртуальным окружением (ИВО) [7].

Аппаратные конфигурации систем виртуального окружения. Многопользовательские системы виртуального окружения, ориентированные на большие аудитории виртуального окружения, создаются на основе крупномасштабных проекционных систем (рис. 4). Это отличает их от установок индивидуального пользования, таких как «виртуальные шлемы». В настоящее время разработаны три основных типа проекционных систем:

1. CRT-проекторы используют три электронно-лучевые трубки, производящие красную, синюю и зеленую компоненты изображения, сведенные вместе, сфокусированные на экране.
2. LCD-проекторы имеют три жидкокристаллические панели и яркий источник, свет которого разделяется на красную, зеленую и си-

нюю компоненты, пропускается через соответствующие панели, затем вновь объединяется и проецируется на экран.

3. DLP-проекторы используют специальную плату, состоящую из множества специфических зеркал, каждое из которых имеет два положения: отражающее свет в линзу с дальнейшим попаданием на экран и отклоняющее его от линзы. Зеркала могут переключаться в течение микросекунд, что позволяет модулировать сигнал для получения непрерывного перехода яркости для каждого пикселя [7].

Взаимодействие с виртуальными объектами и перемещение в виртуальных сценах производится с помощью специальных устройств. В простых конфигурациях в качестве такого устройства может использоваться обыкновенная мышь, в более сложных установках используются системы слежения (tracking).

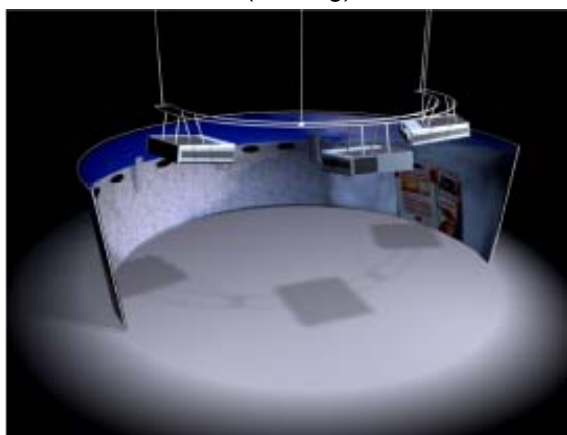


Рис. 4. Система ВО iCone. Система полного погружения, использующая бесшовную проекцию активных стереоизображений на широкоугольный (230°) искривленный экран. Высота экрана – 2,8 м, радиус кривизны нижнего края – 2,96 м, верхнего – 3,3 м

Компоненты системы ВО. В простейшем случае система ВО должна состоять из следующих компонентов:

- вычислитель для обработки сцен, анимации и управления;
- подсистема рендеринга (для графического преобразования модели в визуальное представление на экранные плоскости с точки зрения левого и правого глаз пользователя);
- стереоскопическая проекционная подсистема с одним или несколькими экранами;
- подсистема трэкинга (для локализации и слежения за положением пользователя);
- подсистема синтеза звуковых эффектов;
- подсистема манипуляции данными.

Использование общедоступных высокопроизводительных персональных компьютеров, элементов ВО, распространенного программного обеспечения, а также включение в систему оригинальных программных модулей позволило создать программно-аппаратный

комплекс, функциональная схема которого приведена на рис. 5.

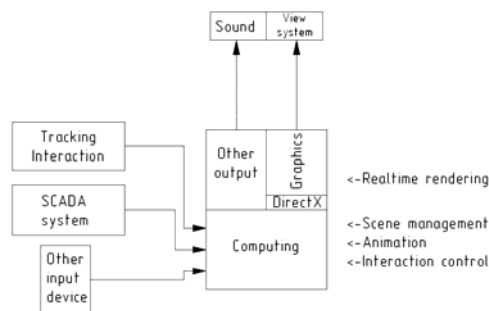


Рис. 5. Функциональная схема разрабатываемой системы ВО

Применение технологий виртуальной реальности для обучения диспетчерского персонала. Виртуальное окружение - идеальная обучающая среда. Обучение с использованием виртуального окружения позволяет наглядно проводить тренировки, показывать обучающимся все аспекты реального объекта или процесса, что в целом дает колоссальный эффект, улучшает качество и скорость образовательных процессов и уменьшает их стоимость [18].

Компоновка систем ВО совместно с различными элементами тренажерных технологий позволяет создавать тренажеры с большим коэффициентом адекватности (погружения).

По мере развития и удешевления тренажерные технологии начинают проникать и в другие отрасли: авто- и судовождение, школьное и вузовское обучение [8] и пр. Тренажерные и симуляционные технологии к настоящему времени сформировались в успешно развивающуюся отрасль мировой индустрии.

Виртуальные диспетчерские щиты (ВДЩ) управления и обучения, оборудованные системами ВО, позволяют принимать более оперативные и объективные решения путем анализа больших объемов информации с использованием эффекта «погружения» пользователя.

При «погружении» оператора (диспетчера) в виртуальную среду перед ним визуализируется «активная» электрическая схема наблюдаемой системы (рис. 6).

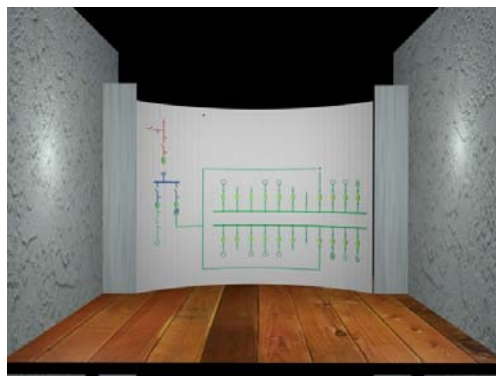


Рис. 6. ВДЩ в виртуальной среде управления

Посредством устройств управления оператору предоставляется возможность изменения масштаба электрической схемы и ее ориентации в виртуальном мировом пространстве. В качестве источника визуализируемых данных может использоваться любая SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) система телемеханики и сигнализации [19].

При работе на номинальной нагрузке и при номинальных параметрах, когда режим поддерживается средствами автоматики, оператор выполняет только наблюдательские функции. Однако в этом режиме не исключена возможность выхода из строя тех или других систем или появления возмущений со стороны потребителя энергии, что требует от оператора быстрого перехода от наблюдательских функций к функциям принятия решения и выработке управляющих воздействий. Поэтому оператор должен всегда находиться в состоянии высокой готовности к действию. Степень готовности к действию – важный показатель надежности человека как звена системы управления, так как определяет эффективность и своевременность управления процессом при появлении отклонений технологических параметров.

При переходе энергоустановки из одного состояния в другое (пуск, останов, переход с одной нагрузки на другую) деятельность оператора, как правило, полностью регламентирована соответствующими инструкциями, т.е. оператор работает по детерминированному алгоритму. Каждый последующий этап работы оценивается на основе анализа поступающей информации о состоянии энергоустановки. Этот вид деятельности вызывает высокое напряжение всех психофизиологических процессов (особенно памяти) вследствие необходимости анализа большого потока информации, осуществления большого числа управляющих воздействий в определенной последовательности в заданные промежутки времени. Учитывая сложность алгоритмов управления, в этих условиях необходимо постоянно поддерживать готовность оператора к действию по управлению в этих режимах.

По заключению психологов [20, 21], деятельность оператора по управлению любым объектом регулирования рассматривается как сложный поведенческий акт, включающий процессы восприятия и переработки информации и формирования и выполнения на этой основе двигательных действий. В структуре сенсомоторного навыка управления объектом регулирования двигательный компонент является интегральным показателем, отражающим полноту и качество переработки оператором информации, поступающей по каналам различных анализаторов. В конечном итоге почти вся информация, воспринятая оператором, реализуется в управляющих движениях. По этим

причинам совершенно недопустимо отсутствие в тренажере адекватного воспроизведения штатного человеко-машинного интерфейса, лишение человека-оператора возможности получения и развития ориентационно-моторных навыков, реализации итоговой интегральной двигательной функции переработки поступающей информации в целях борьбы с аварийностью по вине персонала.

Оператор в основном выполняет функции принятия решения по управлению системой, как правило, в условиях неполной информации о процессе, отсутствия известного алгоритма управления и высокой психической напряженности, вызываемой большой ответственностью за принимаемые решения, опасностью и дефицитом времени. В этом случае у оператора (в зависимости от квалификации и опыта) может отсутствовать ясное представление о том, как восстановить нормальный режим, появляется состояние эмоционального стресса, вследствие чего может быть допущен ряд серьезных неоправданных ошибок или вообще не принимаются никакие меры по устранению возникшей аварии.

Развитие и закрепление способности оператора правильно работать в условиях эмоционального стресса достигается целенаправленным обучением на тренажере в условиях предаварийных и аварийных ситуаций, максимально приближенных к реальным.

Таким образом, рассмотрев деятельность оператора в контуре автоматизированной системы управления энергоустановки, можно кратко сформулировать основные требования к его профессиональным знаниям, умениям и навыкам:

- прием информации с наименьшим количеством ошибок;
- доведение навыков принятия решений до стереотипного уровня, до четко выраженных связей «вход-выход»;
- быстрая и четкая реализация принятых решений с помощью органов управления;
- ответственный контроль за результативностью исполнения реализованных решений [4].

Применение технологии ВО в целях подготовки высококвалифицированного персонала позволяет отработать действия диспетчера в условиях аварийной ситуации при его полном «погружении» в модель реально существующего объекта.

Функциональные возможности и преимущества использования ВДЦ. Предполагается, что описанная выше система визуализации должна выполнять следующие функции:

- интерактивная высококачественная визуализация для процессов управления и образовательных целей, виртуальное моделирование и прототипирование различных процессов и объектов;

- 3D-визуализация реальных данных состояния энергообъектов в реальном масштабе времени и высококачественная визуализация имитационного моделирования;

- виртуальная отработка взаимодействия человека и различных технических устройств и систем.

При выделении оператором отдельного элемента электрической схемы происходит индикация значений ТИ и ТС посредством оконного интерфейса. Также предоставляется возможность телеуправления выбранным элементом.

Таким образом, использование ВДЦ способствует:

- повышению качества, обоснованности и контроля исполнения сложных, стратегических решений, принимаемых в условиях дефицита времени и недопустимости серьезных ошибок, вызывающих аварийные ситуации в энергосистеме;

- повышению заинтересованности обучающегося персонала в изучении регламентов, физических принципов работы и правил работы автоматики;

- эффективному обучению персонала на всех уровнях иерархии и сокращению времени на переподготовку;

- моделированию аварийных ситуаций в режиме реального времени в целях отработки действий диспетчерского персонала по их локализации и ликвидации.

Особенно эффективно в данных направлениях применяются технологии Augmented Reality, что позволяет совместить реальную картину событий с различными виртуальными вариантами действий и адекватно смоделировать различные сценарии развития событий. Подобная технология позволяет оперировать виртуальными моделями в пространстве возможных решений и принимать сложные решения не путем выбора из вариантов, заранее подготовленных экспертными группами, а на основе глубокого самостоятельного анализа имеющихся данных по существу решаемого вопроса.

Заключение

По мере развития технологий виртуального окружения и искусственного интеллекта приложения виртуального окружения будут находить все большее применение для организации интерфейсов компьютерных систем обучения персонала и управления сложными технологическими процессами.

Разработка ВДЦ является принципиально новым подходом к системам визуализации и обучения в электроэнергетике, что дает возможность снять множество ограничений, наложенных на объем визуализируемой инфор-

мации, а также быстро и эффективно развить ориентационно-моторные навыки обучаемого персонала за счет полного погружения оператора или обучаемого персонала в виртуальную среду.

Список литературы

1. **Концепция** обеспечения надежности в электроэнергетике. – М.: РАО «ЕЭС России», 2004.
2. **Стандарт** организации профессиональной подготовки, переподготовки, повышения квалификации персонала СОЕЭС ПП12005. – М.: РАО «ЕЭС России», 2006.
3. **Регламент** деятельности образовательных учреждений. – М.: РАО «ЕЭС России», 2005.
4. **Магид С.И., Загредтинов С.Ш., Архипова Е.Н., Музыка Л.П.** Проблемы современного тренажеростроения через призму технологии // Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации. – 2007. – №1. – С. 35–52.
5. **ГОСТ 21480-76.** Система «человек-машина». Мнемосхемы. Общие эргономические требования.
6. <http://www.cts.spb.ru/mosaic.htm> – ЗАО «Системы связи телемеханики».
7. **Клименко С.В., Никитин И.Н., Никитина Л.Д.** Аванго: система разработки виртуальных окружений. – Москва-Протвино: Институт физико-технической информатики, 2006.
8. **Виртуальное повествование** как инновационная образовательная технология / Ю.М. Батуринов, М. Гёбель, С.В. Клименко и др. – Протвино: Институт физико-технической информатики, 2006.
9. **Voicu Popescu, Chris Hoffmann, Sami Kilic, Mete Sozen, Scott Meador.** Producing High-Quality Visualizations of Large-Scale Simulations, Purdue University // Proc. 14th IEEE Visualization Conference (VIS'03) 2003 IEEE.
10. **Ekaterina Prasolova-Fotland.** Virtual Spaces as Artifacts: Implications for the Design of Educational CVEs // Proc. of Cyberworlds. – Singapore, 2003, December 3–5. – P. 418–422.
11. **Klimentenko S., Nikitin G., Nikitina L., Gobel M., Hasenbring F., Tramberend H.** Virtual Planetarium in CyberStage: Proc. 6-th Eurographics Workshop on virtual Environments, 2000.
12. **Judy Bayard Cushing, Nalini Nadkarni, Mike Ficker, Youngmi Kim.** The Canopy Database Project Component-Driven Database Design and Visualization for Ecologists. – Olympia WA 98502 USA, Proc. of 14th IEEE Visualization Conference (VIS'03), 2003, IEEE.
13. **McInerney T., Broughton S.** HingeSlicer: Interactive Exploration of Volume Images Using Extended 3D Slice Plane Widgets: Dept. of Computer Science Ryerson University. – Toronto, Graphics Interfaces, 2006.
14. **Брунер Джером С.** Психология познания. – М.: Прогресс, 1977.
15. **Смирнов С.Д.** Педагогика и психология высшего образования: От деятельности личности: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – С. 12, 198–199.
16. **Milgram P. And Kishino F.** A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays: IEICE Transactions on Information Systems E77-D (12), 1994.
17. **CSCW 2006**, November 4–8, Banff, Alberta, Canada, <http://cscw2006.org>.
18. **Virtual Environment Group (VE Group)** – <http://www.ve-group.ru/publications/products72.html>.
19. **ОАО «Электроцентраладда» (ОАО «ЭЦН»)** – <http://www.ecn.ru>.
20. **Забродин Ю.Л., Фришкин Е.З., Шляхтин Г.С.** Особенности решения сенсорных задач человеком. – М.: Наука, 2001.
21. **Котин М.А.** Курс инженерной психологии. – Таллин: Валгус, 1988.

Клименко Станислав Владимирович,
ОАО «Научно-исследовательский центр электронной вычислительной техники» (г. Москва),
доктор физико-математических наук, профессор, начальник отдела,
адрес: 117405, Москва, Варшавское шоссе, д. 125, НИЦЭВТ, отд. 64,
e-mail: Stanislav.Klimenko@gmail.com

Брагута Максим Валериевич,
ЗАО «Электроцентроавтоматизация», аспирантура НИЦЭВТ,
начальник отдела АИИС, аспирант,
e-mail: Braguta.Maxim@gmail.com