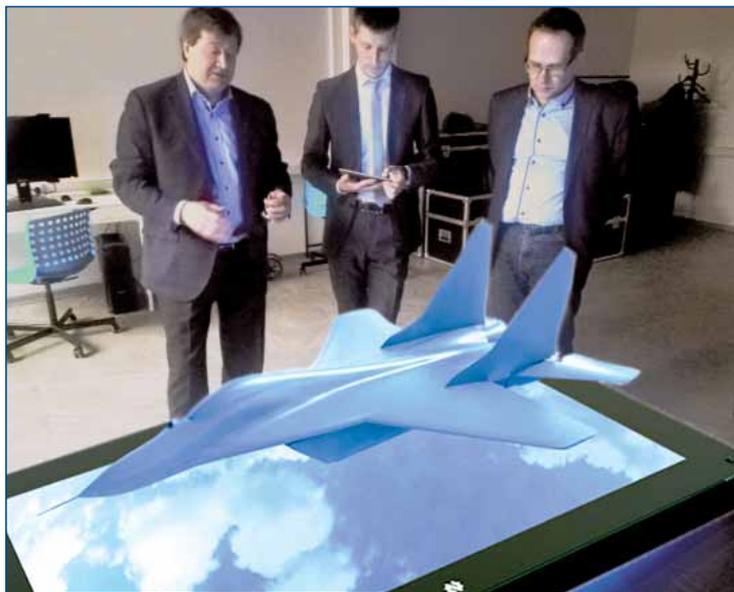


# ТЕХНОЛОГИИ ТРЕХМЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ИНЖЕНЕРНОМ ДЕЛЕ



**Александр Александрович Богомолов**, компания Nettle  
**Сергей Викторович Кувшинов**, к.т.н. дир. МИНОТ РГГУ  
**Константин Викторович Харин**, дир. ЦТПО МИНОТ РГГУ

*В работе обсуждаются вопросы визуализации разрабатываемых объектов с использованием технологии MotionParallax3D. Практический опыт применения данной технологии в образовательных процессах дополнительного образования позволяет сделать заключение о том, что у учащихся достаточно быстро формируется "объемное" мышление, в результате которого количество конструкторских ошибок и неточностей резко сокращается.*

*The article discusses visualization of the developed objects using MotionParallax3D technology. Practical experience of application of this technology in the engineering education, it can be concluded that the students fairly quickly formed a "three-dimensional" thinking, in which the number of design errors and inaccuracies are reduced dramatically.*

**Ключевые слова:** 3D-моделирование, трехмерная визуализация, технология MotionParallax3D  
**Keywords:** 3D-modeling, three-dimensional visualization, MotionParallax3D technology.

Цифровые технологии - инструмент принципиального переформления и переосмысления окружающего мира, причем инструмент альтернативный. Можно сказать, что в XXI веке закончился "меловой период" в образовании, на смену ему пришла эпоха концептуально новых цифровых устройств и технологий. Среди них в первую очередь следует отметить мобильные и интерактивные технологии, технологии беспроводного доступа, технологии трехмерной визуализации и ряд других. Они решительно настраивают людей на продуктивную работу с гипермедиа, интеллектуальными программами, обеспечивают контроль и мониторинг различных сторон жизни и в особенности - всех участников высокотехнологичного инженерного учебного процесса.

Под воздействием всего спектра технологий и оборудования, сетевых коммуникаций радикально меняется и сама парадигма образования XXI века. На наших глазах происходит трансформация обучения во времени и пространстве. За счет тотального насыщения пространства учебных заведений, городов, средств транспорта и т.д. сетевыми устройствами приема и передачи данных, возможности выхода в сеть Интернет у учащихся появляется уникальная возможность оперативного доступа к образовательным ресурсам. Впервые в истории образования учащиеся перестают быть жестко привязаны к стенам учебного заведения. В настоящее время разработчики образовательных порталов все чаще используют дизайн обучающих систем и модулей, рассчитанный на доступ с мобильных, не стационарных компьютеров типа: смартфон, планшетный компьютер и других, тем самым создавая комфортные условия для обучения, выполнения творческих заданий вне классных комнат образовательного учреждения. Особенно это становится полезным при длительных стажировках, экспедициях студентов, необходимости пребывания в других часовых поясах. Учащиеся могут учиться где хотят, когда хотят и сколько хотят!

Постепенно образовательные ресурсы "перекочевывают" в Интернет вместе с программным инструментом обработки информации. Обучение становится "облачным". Несколько подробнее стоит остановиться на данной новой реалии современной жизни - использование облачных технологий. Облачные вычисления представляют собой динамически масштабируемый способ доступа к внешним вычислительным ресурсам в виде сервиса, предоставляемого посредством Интернета, при этом пользователю не требуется никаких особых знаний об инфраструктуре "облака" или навыков управления этой "облачной" технологией. Под "облаком" подразумевается не сам Интернет, а набор аппаратного и програм-

многo обеспечения, который обеспечивает обработку и исполнение заявок. В общем случае сервисы облачных вычислений представляют собой онлайн-овые приложения, доступ к которым обеспечивается посредством обычного Интернет-браузера. Учащемуся нет необходимости обладать производительным компьютером для запуска программного приложения, ему достаточно лишь обратиться через Интернет к соответствующему ресурсу, предоставляющему сервис облачного вычисления. Сегодня целевая аудитория технологий облачных вычислений - это уже не только высококвалифицированные в области информационных технологий пользователи, разработчики собственного программного обеспечения, но и студенты, школьники, молодые исследователи с начальным уровнем владения информационными технологиями. Данная технология имеет ряд заметных преимуществ. Первое - гибкость. Учащиеся и преподаватели могут сконцентрироваться на содержательных аспектах работы вместо того, чтобы расходовать время и ресурсы на управление технологической инфраструктурой. Второе - эффективность. Повышается продуктивность за счет сокращения затрат на технологическое обеспечение работ. Третье - простота. Пользователи могут применять существующие навыки разработки на знакомых языках для создания веб-приложений и служб, а также управления ими как в облачных центрах обработки данных, так и в локальных. Четвертое - надежность. У учебных заведений отпадает необходимость содержания большого штата системных администраторов и лаборантов. В европейских и азиатских странах все больше образовательных услуг переходит в облачные хранилища, и учащиеся, заходя на сайты своих учебных заведений, даже не подозревают, что обслуживание происходит распределенными ресурсами "облака".

Еще одной из особенностей современного образования является то, что появляется возможность более тесной медийной коллаборации участников образовательного процесса. Мультимедиа - это не просто компьютерные технологии, а вполне специфический язык общения, и не только пользователей с компьютерными устройствами. Учащиеся обмениваются информацией между собой, используя текст, графику, видео и анимацию - информационными блоками достаточной информационной емкости для передачи смыслов. Таким образом, происходит формирование определенных типов аудио- видео- графических сообщений, которые закладывают новый тип коммуникаций. Стремительное развитие систем видеоконференцсвязи, сетевых видео- и аудио- сервисов формирует определенную культуру медийного взаимодействия молодых лю-

дей. Ведение диалога с использованием компьютерных сетей, аудиовизуальных образов, включение их в образовательные процессы приводит к формированию определенного типа мышления, осуществления медийных, "пространственных" коллабораций. Учебники становятся все более зрелищными, в обучающих системах текст все больше заменяется медиа, дополненной реальностью, и в ответах на поставленные вопросы учащиеся все больше привлекают медийные объекты. Учебный процесс трансформируется с рождением нового языка медиа коммуникаций, и в этой ситуации важно ликвидировать тот разрыв, который неизбежно происходит в общении преподавателей, носителей традиционной культуры и учащихся "говорящих" на "новом" языке.

В условиях изобилия образовательных ресурсов происходит изменение роли педагога, наставника. Суть происходящей трансформации заключается в том, что педагог теряет "монополию" на знание, он перестает быть единственным источником знаний для учащихся - он становится навигатором в новом информационном океане данных и знаний. Следовательно, педагог должен осваивать новую область профессиональной деятельности, приобретает компетенции образовательного, "методологического" гида, путеводителя, менять форму взаимоотношений и взаимодействий. Большую роль начинают играть и новые виды учебных материалов, развивающих у учащихся навыки самостоятельного поиска ответов на учебные, проектные проблемы, навыки критического мышления для сопоставления и анализа информации, воспитания отношения к педагогу, как к партнеру в решении учебно-исследовательской проектной задачи. С течением времени обучение все больше становится гибридным и гибким. Развитие сетевых, коммуникационных технологий, технологий дистанционного обучения приводит к органичному сращиванию таких форм как: очное и дистанционное (заочное). Приходя домой из учебного заведения, уезжая на несколько дней, учащийся не должен чувствовать себя оторванным от учебного процесса. Соответствующим образом меняется и управление учебным процессом, в котором группа учащихся может состоять из очных, временно отсутствующих и заочных студентов. С развитием организации такого вида, получение образовательных услуг становится гибридным, т.е. появляется возможность более комфортного планирования всего времени обучения. Сегодня уже редкое явление, когда у высших учебных заведений нет дистанционной сетевой, Интернет формы обучения, а в ближайшем будущем это будет и в школах.

В последние пять лет наблюдается устойчивая тенденция к широкому внедрению в образование технологий трехмерной визуализации, особенно в инженерные специальности. Процесс перехода на трёхмерное восприятие информации, и соответственно на "трехмерное" мышление происходит не так быстро. Однако мы наблюдаем его существенное воздействие на процессы обучения. Трёхмерная визуализация уже применяется в большинстве видов деятельности: при конструировании и проектировании, при моделировании, при анализе данных и информации. Если раньше в образовании трёхмерное мышление развивалось только на специализированных предметах, таких как стереометрия, черчение, компьютерная графика и другие, то теперь всё чаще учащийся должен мыслить и воспринимать информацию "рельефно", объёмно по самым различным предметам.

Трёхмерные визуальные технологии становятся фундаментом, основой для построения структуры новой цифровой образовательной среды, организации проектного, учебно-исследовательского, и что особенно важно, производственного пространства нового типа [1]. Внедрение технологий 3D, цифровых персональных производственных процессов в образовательные учреждения дает уникальную возможность преподавателям находить новые способы работы с учебными и научными материалами по технологии case-studies, в особенности в специальном образом инсталлированном помещении - цифровой лаборатории.

Благодаря инновациям в области трехмерного прототипирования, совершенствования цифровых производственных машин, станков с ЧПУ стало возможным существенно снизить их стоимость

и упростить работу по наладке и непосредственно работе. Сегодня цифровая производственная лаборатория оборудуется набором универсальных инструментов, управляемых с компьютера, где возможно оперативно воспроизвести задуманное, спроектированное изделие, изготовить макет, а в некоторых случаях и само изделие. Такое оснащение позволяет лаборатории конкурировать с серийным производством. В Европе и США они уже показали свою возможность значительно облегчить создание единичных высокотехнологичных устройств для специфических нужд. В состав цифровой лаборатории, где изделие проходит от стадии зарождения концепции до действующего образца, включается комплекс аудиовизуального оборудования: 3D видеопроекторы, интерактивные средства управления визуализацией (интерактивные панели, столы, доски и др.), акустические системы объемного звука; коммуникационного оборудования для осуществления дистанционной связи и проведения многоточечных видеоконференций высокого качества; цифрового производственного оборудования - станки лазерной резки и гравировки, плазменные резаки, ножевые резаки для резки листовых материалов, трехосевые станки с ЧПУ, управляемые с компьютера субтрактивные фрезерные и токарные станки [2]; средства быстрого прототипирования - 3D-сканер, для быстрого создания точнейших трехмерных моделей имеющихся деталей, объектов, артефактов, их реинжиниринга и декомпозиции, и 3D-принтер для быстрого создания функциональных прототипов по разработываемым моделям с применением разнообразных технологий из различных материалов: пластиков, фотополимеров, металлов, бумаги и др. Дополнительно может использоваться оборудование для фрезеровки печатных плат: двумерные, высокопрецизионные фрезерные станки, а также рабочие места для разработки, сборки и тестирования микропроцессорной и цифровой электроники.

В российской системе образования отработка на практике цифровых производственных технологий стала возможной в конце 2012 года, когда Департамент образования г. Москвы создал на базе крупнейших 19-ти московских вузов Центры технологической поддержки образования - своеобразные цифровые лаборатории. В Международном институте новых образовательных технологий Российского государственного гуманитарного университета была создана подобная экспериментальная площадка российского образования для исследования и внедрения инновационных цифровых технологий в учебный процесс школ и вузов [3].

Этим центрам близки "по духу" STEM-центры (Science, Technology, Engineering, Mathematics) - сеть исследовательских лабораторий, поддерживающая научную, техническую и инженерную составляющую в дополнительном образовании [4]. Проект призван повысить интерес к инженерным и техническим специальностям и мотивировать молодых людей к продолжению образования в научно-технической сфере. STEM-лаборатории делают современное оборудование и инновационные программы более доступными для всех, заинтересованных в инженерной и исследовательской деятельности.

Учащиеся на базе таких цифровых лабораторий могут в течение очень короткого времени пройти путь от замысла до воплощения идеи, и, что оказывается весьма важно, получить результат в короткое время, а не останавливаться на презентациях и компьютерных моделях изделий. В рамках лаборатории происходит формирование нового типа проектного мышления молодых людей. Правда, этот процесс происходит не сразу. Развитие стереоскопических технологий, которые позволяют увидеть реальный или виртуальный мир в более естественном виде - объёмно, только первый шаг. Технологии 3D компьютерной графики, которые позволяют моделировать виртуальные объекты (пространства), создавать трехмерные модели и печатать их на 3D принтерах - следующий шаг в переходе на "трехмерное" мышление.

Трёхмерное проектное восприятие уже применяется в большинстве видов деятельности: при конструировании и проектировании, при моделировании, при анализе данных и информации. В большинстве отраслей уже применяются многие элементы трехмерного мышления: в технике, в образовании, в науке, в медицине и других

областях. В центрах ведется обучение в областях: моделирования, прототипирования, проектирования и дизайна. Учащиеся учатся мыслить объемно (системно) и создавать трехмерные материальные объекты. Процесс трехмерного мышления: трехмерное восприятие; трехмерное моделирование; обучение в 3D стерео; интерактивные 3D стерео приложения; разработка собственных трехмерных виртуальных объектов; "материализация" виртуальной реальности, 3D печать моделей; - и как следствие развитие творческих способностей.

Следует особо отметить, принципиально изменившийся в последние десятилетия подход к инженерно-конструкторской деятельности вообще, связанный с массовым применением компьютерных технологий, ориентацией на цифровые производственные процессы и значительным ускорением процесса конструирования от зарождения идеи, начального эскизирования до создания первых прототипов и их комплексного анализа. Современный специалист-инженер должен обладать такими основными компетенциями как:

- ◆ творческое и критическое мышление;
- ◆ аналитическая культура с привлечением знаний из различных областей;
- ◆ способность к сотрудничеству в интернациональных, межкультурных и междисциплинарных коллективах;
- ◆ способность к самостоятельному обучению в условиях стремительного обновления и совершенствования производственных процессов и технологий, появления новых материалов;
- ◆ способность к разработке новых идей и обладание совершенными навыками работы с новым высокотехнологическим оборудованием и информационными системами при постоянном обновлении версий ПО, модификации региональных и международных стандартов проектирования и т.п.

Современное рабочее место инженера-разработчика, проектировщика, дизайнера состоит из графической рабочей станции с профессиональным программным обеспечением, которая выполняет роль и "чертежного станда", и средства автоматизации расчетов, связанных с прочностью, надежностью создаваемых механизмов и конструкций, их сопряжением с другими имеющимися или еще только проектируемыми узлами и агрегатами готового изделия. Разнообразие оборудования, рассчитанное на работу, в первую очередь, не с плоскими классическими чертежами, а часто изначально с трехмерными объектами, выдвигает и новые требования к системе визуализации, которая должна обеспечивать эффективное отображение этих объектов в различных ракурсах и максимально реалистичном виде.

В качестве расширения возможностей уже получивших свое распространение стереомониторов для отображения объемных моделей с эффектом глубины предлагается использовать на различных этапах деятельности устройства визуализации, которые с некоторой долей условности можно назвать "голографическим монитором" или "голографическим столом", в частности, разрабатываемые российской компанией Nettle по технологии MotionParallax3D [5].

Термин "голографический" используется нами для обозначения того, что предлагаемые технологии визуализации позволяют точно и реалистично для человека передавать изображения трехмерных объектов с разных ракурсов по аналогии со ставшей уже традиционной для специалистов голографией, где для записи и воспроизведения изображения используется высокостабильное лазерное излучение [6]. В некотором смысле виртуальные отображения на MotionParallax3D дисплеях близки к мультиплексным голограммам, предложенным Ллойдом Кроссом [7], но намного полнее представляют демонстрируемый объект, что позволяет рассматривать их как полноценные голограммы в прямом смысле значения этого слова - как полную оптическую информацию об объекте.

В итоге процесс проектирования и прототипирования может характеризоваться следующими основными свойствами и преимуществами:

- ◆ высокая степень детализации моделей;
- ◆ демонстрация деталей любого размера, масштабирование;
- ◆ декомпозиция объекта, сборка/разборка на элементы;



**Рис. 1** Технологическая цепочка процесса моделирования и прототипирования

1. Создание исходной 3D-модели с использованием известных пакетов САПР и моделирования.
2. Виртуальное прототипирование, при котором технология MotionParallax3D позволяет рассмотреть объект со всех ракурсов для всесторонней оценки прототипа, выявления коллизий, ошибок проектирования, возможностей доработки и пр.
3. Изготовление физического прототипа методами 3D-печати

- ◆ анимация работы узлов, возможность посмотреть на механизм в процессе его работы;
- ◆ расширенные возможности для отображения: передача цветов и визуальных свойств материалов (металл, пластик и т.д.);
- ◆ презентационные возможности: на выходе получается модель, которую можно использовать в рамках выставочных мероприятий;
- ◆ распределенное взаимодействие между участниками процесса: возможность отправить 3D-модели в электронном виде на другой конец света для оценки;
- ◆ экономия времени, материалов и ресурса оборудования, необходимых для 3D-печати [8].

Технологическая цепочка процесса разработки проекта от создания модели до получения прототипа будет состоять из трех взаимосвязанных этапов (рис. 1). При этом включение второго этапа (виртуального прототипирования) позволяет сэкономить время, материалы и ресурс оборудования на ранних этапах проектирования.

Многоракурсное трехмерное изображение создает иллюзию объемного объекта, обозреваемого со всех сторон, но формируемого на плоском экране. Пользователь в данном случае не отделен от реального мира - видя перед собой как реальные, так и виртуальные объекты, и не замечая разницы в их поведении, мозг человека полностью верит в формируемую иллюзию. В этом смысле предлагаемые MotionParallax3D дисплеи имеют преимущество перед шлемами виртуальной реальности, которые, как правило, полностью изолируют пользователя от реального мира, в то время, как MotionParallax3D дисплеи в той или иной степени позволяют ориентироваться в окружающем пространстве. Но это также накладывает на них определенные ограничения: поскольку пользователь видит одновременно и реальные и виртуальные объекты, необходимо, чтобы их поведение было идентичным. Проекция виртуальных объектов рассчитывается таким образом, что изображение, которое видит пользователь, полностью совпадает с изображением, которое он увидел бы, если бы виртуальный объект был реальным и находился в соответствующей точке реального пространства. Для

построения и отображения корректных проекций виртуальных объектов системе виртуальной реальности требуются актуальные координаты, из которых осуществляется наблюдение виртуального мира (положение глаз пользователя).

Для просмотра используются специализированные затворные 3D-очки с активными маркерами, по которым система с высокой точностью отслеживает положение пользователя в пространстве. На основе данных о положении глаз зрителя система рассчитывает проекцию виртуального объекта на плоскость экрана. В отличие от стереодисплеев, задействующих только бинокулярное зрение, MotionParallax3D дисплеи задействуют такой механизм восприятия объёма, как параллакс движения, т.е. смещение частей изображения друг относительно друга с угловой скоростью, пропорциональной разнице расстояния между ними и наблюдателем, при изменении их взаимного расположения. Этот механизм восприятия объёма задействуется путём постоянного перестроения изображения, исходя из актуальных координат глаз пользователя. Благодаря этому, виртуальные объекты смещаются друг относительно друга и относительно видимых реальных объектов по тем же законам и принципам, что и объекты реального мира. Это позволяет мозгу выстраивать целостную картину, содержащую одновременно реальные и виртуальные объекты с визуально неотличимым поведением. Но за счет перестроения проекции в режиме реального времени в данном случае объекты воспринимаются как имеющие определенную форму, объём, и расстояние от глаз пользователя и, тем самым, реалистичными со всех ракурсов. При этом управление положением и масштабом изображения на экране может осуществляться с помощью: традиционной компьютерной "мыши"; беспроводной сенсорной панели (тачпада), планшетов и смартфонов под управлением различных мобильных ОС; игровых джойстиков различных производителей; многоосевых 3D-манипуляторов. Еще одним способом управления является сенсорный бесконтактный контроллер, позволяющий пользователю взаимодействовать с объектами, управляя жестами.

В описываемых устройствах особое внимание уделяется геометрической корректности проекции как наиболее значимому показателю качества отображения информации. На геометрическую корректность проекции влияют точность отслеживания положения пользователя и промежуток времени между моментом начала определения положения пользователя и моментом вывода изображения на экран (задержка). Точность отслеживания непосредственно влияет на корректность проекции виртуального объекта и определяется общей геометрической ошибкой, зависящей от архитектуры и геометрии средств отслеживания и качества калибровки, а также интегрального показателя ошибки, вносимой шумом.

В системе трекинга используются уникальные камеры российской разработки с частотой считывания в штатном режиме до 900 кадров в секунду. Система из четырех камер гарантирует миллиметровую точность и устойчивость работы даже в агрессивных условиях по освещенности. Рабочая зона по вертикальному и горизонтальному (в плоскости экрана) углу обзора системы трекинга - более 170°. При этом оптическая система трекинга не требует калибровки в процессе эксплуатации, даже после транспортировки оборудования.

Промежуток времени между моментом начала определения положения наблюдателя и моментом вывода изображения на экран является основной причиной геометрической некорректности проекции 3D-сцены в системах MotionParallax3D. Причиной возникновения задержки является то, что на все операции по определению положения пользователя, построению и выводу проекции, требуется время.

Особенностью зрительного восприятия человека является то, что мозг воспринимает такую задержку отображения виртуальных объектов не как временное отставание, а как искажение геометрии виртуальных объектов. В этом случае диссонанс между информацией, поступающей к пользователю по зрительному каналу восприятия и от вестибулярного аппарата, может привести к проявлению у человека симптомов так называемого "киберукачивания", симптомами которого является тошнота, головная боль или боль в глазах [9].



Рис. 2 Комплексное решение для оборудования "голографической" учебной лаборатории

Особенностью технологии MotionParallax3D дисплеев и столов является распределенная обработка данных трекинга: в каждую из высокоскоростных камер встроен микроконтроллер с собственным ПО на базе Embedded Linux, которое обрабатывает полученные данные и передает уже готовые для централизованной обработки сведения о положении маркеров. Также для повышения качества восприятия виртуальных трехмерных объектов и значительного уменьшения шансов проявления у пользователя вышеописанных симптомов применяется технология предсказания положения пользователя, что позволяет частично компенсировать задержку, однако точность и горизонт предсказания во многом зависят от разнообразных внешних факторов.

Для создания собственного контента учащимся предоставляется пакет средств разработки. Внедрение данной технологии отображения в образовательные процессы требует и специального подхода к установке учебных лабораторий. Такой полнофункциональный компьютерный центр может включать в себя несколько рабочих мест с полным набором оборудования и стандартного ПО и MotionParallax3D мониторами для интерактивного изучения со всех ракурсов и конструирования моделей, выполнения практических, творческих работ. Центральное рабочее место преподавателя позволяет управлять моделями на рабочих системах учащихся. 3D-проектор и проекционный экран или интерактивная доска дают возможность транслировать в режиме 2D или стерео (для просмотра в очках) отдельных ракурсов выбранной модели на всю аудиторию (рис. 2).

Образовательный контент может состоять из анимированных моделей объектов и явлений из различных учебных дисциплин, большая часть из которых вызывает проблемы при традиционном обучении в силу сложности визуализации в обычных плоских иллюстрациях, например, конструктивно-компоновочные схемы авиационных двигателей, летательных аппаратов или сложного оборудования. Весьма перспективным применением голографических столов может являться оснащение учебных лабораторий инженерных вузов, где демонстрируются и изучаются натурные объекты техники. На столах может быть воспроизведено достаточное большое количество разнообразных конструкций, которые нет возможности разместить в ограниченном учебном пространстве. За счет функции зуммирования уча-



Рис. 3 Визуализация элементов конструкции отсека оборудования летательного аппарата

щиеся могут "проникать" внутрь конструкций и изучать их устройство (рис. 3).

Создается виртуальная учебная экспозиция частей и агрегатов того или иного сложного технического изделия (рис. 4).

Из перспектив технологии MotionParallax3D можно отметить технологические возможности увеличения количества пользователей путем увеличения частоты кадров стереомонитора при корректном разделении предназначаемых каждому глазу видеопотоков или проецированием изображения индивидуально в каждый глаз с помощью специальных очков.

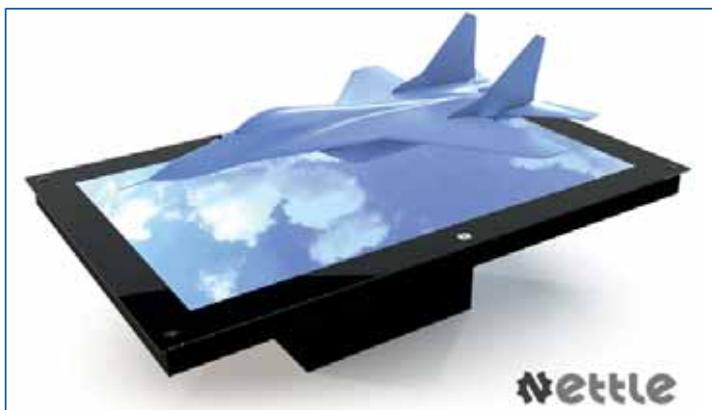


Рис. 4 Виртуальный экспонат учебной лаборатории частей и агрегатов планера ЛА

Важным является также упрощение интеграции систем визуализации с ПО для 3D-моделирования или создания трехмерного контента в различных областях, напрямую не связанных с цифровыми технологиями, включая например, промышленный дизайн. Особый интерес представляет разработка устройств для навигации и манипуляции виртуальными объектами вплоть до полного "погружения" пользователя в построенный виртуальный мир в образовательных целях (рис. 5).

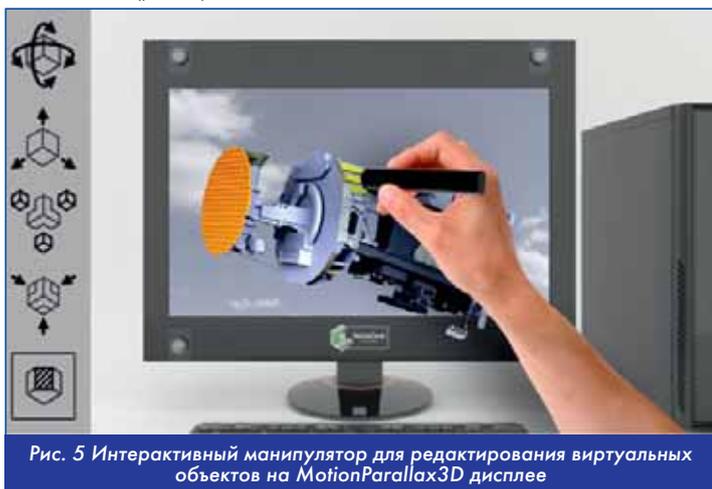


Рис. 5 Интерактивный манипулятор для редактирования виртуальных объектов на MotionParallax3D дисплее

Таким образом, с целью интенсификации процесса подготовки будущих специалистов в первую очередь инженерных специальностей, достаточно широко стали использоваться технологии персонального производства, построенные на базе машин лазерной резки, 3D принтеров, плоттеров, станков с ЧПУ и др. Для визуализации разрабатываемых объектов традиционно используются 3D видеопроекторы, стереоскопические мониторы, однако для более качественного отображения реалистичной трехмерной картины объекта, создания эффекта "присутствия" может быть весьма успешно применена технология MotionParallax3D. Практический опыт применения данной технологии в образовательных процессах инженерных специальностей позволяет сделать заключение о том, что у учащихся достаточно быстро формируется "объемное" мышление, в результате которого количество конструкторских, проектных ошибок и неточностей резко сокращается. Новые технологии трехмерного отображения катализируют переход инженерного образования с репродуктивного типа на креативный. **П**

**Литература**

1. Кувшинов С.В. Технологии трехмерной визуализации для преподавания гуманитарных дисциплин // Запись и воспроизведение объемных изображений в кинематографе и других областях: VI Международная конференция, Москва, 17-18 апреля 2014 г.: Материалы и доклады. - М.: ВГИК, 2014, с. 239-245.
2. Кувшинов С. В. EduBrication -инновационный тренд европейского образования // Инновационные технологии в кинематографе и образовании: Научно-практическая конференция. Москва, 29-31 октября 2014 г.: Материалы и доклады. - М.: ВГИК, 2014, с. 178-184.
3. Концепция центра технологической поддержки образования / РГГУ. Институт новых образовательных технологий и информатизации. М.: РГГУ, 2013. 48 с.
4. О STEM-центрах [эл. ресурс]. [http://stemcentre.ru/about\\_stem](http://stemcentre.ru/about_stem)
5. Голографические миллионы [эл. ресурс]. <http://www.rbc.ru/newspaper/2014/05/14/56beb80f9a7947299f72d0cc>
6. MotionParallax3D [эл. ресурс] <https://ru.wikipedia.org/wiki/MotionParallax3D>
7. Голография [эл. ресурс] <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F>
8. Кувшинов С. В., Усков Г. Н., Применение технологий виртуальной реальности и комплексных стереоскопических 3D-систем в образовательных процессах //Международный научный журнал, №4, 2013, с.57-64.
9. Кувшинов С.В. Эйфория и риски тотальной трехмерной дигитализации культурно-образовательного пространства // Современное состояние культуры и общества: особенности и перспективы развития России: сб. науч. статей / отв. ред. А.В. Костина. - М.: Изд-во Моск. гуманит. ун-та, 2013, с. 129-134.

Связь с авторами: [kuvshinov@rggu.ru](mailto:kuvshinov@rggu.ru)

