

Перспективы использования 3D-технологий для развития информационно-аналитической платформы «История современной России»

Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках проекта № 13-31-11003 «Разработка междисциплинарной информационно-аналитической платформы «История современной России».

Аннотация: Активное применение 3D-технологий в историко-культурологических исследованиях началось более четверти века назад. Однако, несмотря на постоянное увеличение числа масштабных 3D-проектов в России и за рубежом, вопрос об эффективности использования методов трехмерной визуализации и «виртуальной реальности» с точки зрения достижения поставленных научных и образовательных целей является предметом для дальнейших размышлений и обсуждений. Поскольку одной из главных задач дальнейшего развития созданной при поддержке РГНФ (проект № 13-31-11003) информационно-аналитической платформы «История современной России» является повышение популярности этого ресурса, в работе исследованы различные 3D-технологии и проекты с точки зрения оценки перспектив реализации подобных подходов для привлечения интереса аудитории к вопросам отечественной истории конца XX-начала XXI вв.

Для решения исследовательских задач применялись методы индукции, дедукции, абстрагирования, формализации, систематизации, сравнения, другие аналитические методы.

Проанализированы преимущества и недостатки различных технологий 3D-сканирования, а также возможности, достижения и основные проблемы, связанные с использованием методов трехмерной визуализации для решения задач сохранения, исследования, реставрации и реконструкции объектов историко-культурного наследия. Дана оценка перспектив использования 3D-решений для дальнейшего развития информационно-аналитической платформы «История современной России».

Ключевые слова: историко-культурное наследие, история современной России, 3D-сканирование, 3D-модель, 3D-печать, аддитивные технологии, виртуальная реконструкция, виртуальный музей, Digital Humanities, трехмерная визуализация

Введение

Интернет-революция и широкое развитие новых компьютерных технологий дают все больше новых возможностей для сохранения в цифровом виде объектов историко-культурного наследия и обеспечения к ним свободного доступа не только исследователей, но также самой широкой пользовательской аудитории. Одним из актуальных направлений сотрудничества представителей общественно-гуманитарных наук (историков, археологов, архитекторов, культурологов и др.) и специалистов в области информационно-коммуникационных технологий является использование 3D-сканирования для создания виртуальных моделей самых различных трехмерных объектов – от орнаментированных глиняных черепков до старинных соборов и целых городов. Помимо того, что полученные цифровые объекты намного удобнее изучать и интерпретировать, чем двумерные изображения, 3D-копии помогают облегчить создание баз данных для проектов

реконструкции, сохранения или воссоздания памятников архитектурного, археологического и историко-культурного наследия.

Кроме того, все более широкое использование современных аддитивных технологий и методов 3D-визуализации позволяет привлекать внимание пользователей всех возрастов и любого уровня образования к вопросам истории и культуры путем создания комплексной интерактивной познавательной среды, как в Интернете, так и в музейных залах.

Однако применение 3D-технологий в историко-культурологических исследованиях - нетривиальная задача, которая является принципиально междисциплинарной и требует разработки новых теоретических и методологических подходов в самых разных отраслях знания. Как отмечают специалисты, несмотря на постоянно расширяющееся число масштабных 3D-проектов и все увеличивающуюся мощь средств 3D-визуализации, вопрос о научной ценности и потенциале этих методов является предметом для дальнейших размышлений и обсуждений [1].

Настоящая работа была предпринята с целью исследования возможностей применения современных технологий 3D-визуализации исторических артефактов для решения задач, связанных с дальнейшим развитием и модернизацией информационно-аналитической платформы «История современной России» (создана в рамках реализации поддержанного РГНФ проекта № 13-31-11003 «Разработка междисциплинарной информационно-аналитической платформы “История современной России”»).

Наиболее распространенные технологии 3D-сканирования

Как известно, основной целью 3D-сканирования является создание карты точек поверхности объекта. Последующий процесс реконструкции (экстраполяции) точек позволяет цифровым образом воссоздать формы объекта. Если в процессе сканирования были получены не только координаты точки, но также данные о цвете, то это позволяет воссоздать текстуру поверхности. Кроме того, необходима привязка изображений к единой системе координат. Таким образом, в результате применения этих методов создается полноценная трехмерная модель сканируемого объекта.

Существует два метода 3D-сканирования: контактный и бесконтактный. В вопросе создания трехмерной модели объекта культурно-исторического наследия применение контактного метода 3D-сканирования можно практически исключить, так как сканируемый объект может быть деформирован или поврежден при контакте.

Бесконтактный метод сканирования может быть осуществлен двумя типами устройств: активными и пассивными. Активные сканеры излучают волны (чаще всего применяют лазер или свет, реже ультразвук или рентгеновское излучение) и анализируют их отражение от сканируемого объекта. Пассивные сканеры собирают и анализируют только информацию об отражении от объекта естественного излучения.

В настоящее время наиболее часто используется четыре типа сканеров: времяпролетные сканеры, триангуляционные сканеры, ручные лазерные сканеры и бесконтактные пассивные сканеры.

Времяпролетные лазерные 3D-сканеры относятся к типу активных сканеров. Для исследования объекта в них использует лазерный луч. В основе этого типа сканера лежит времяпролетный лазерный дальномер. На основе времени пролета лазерного луча до объекта и обратно, лазерный дальномер определяет расстояние до него. Лазер используется в качестве светового импульса, который посылается в сторону сканируемого объекта, счетчик фиксирует время прохождения луча лазера от момента излучения до момента пока импульс не отразится от поверхности объекта и не будет зафиксирован детектором. Зная скорость света, значение которой величина постоянная, измерив, время пролета луча до объекта и обратно, можно вычислить расстояние, на которое переместился свет. Расстояние до объекта будет равняться половине расстояния, которое преодолел луч за время прохождения от сканера до поверхности объекта и обратно.

Точность сканирования устройств основанных на этом принципе зависит от точности измерения времени пролета луча. Для сканирования с точностью 1 мм необходимо устройство должно считать время с точность порядка 3 пикосекунды.

Лазерный дальномер определяет расстояние только одной точки в заданном направлении. Меняя направление лазерного луча, устройство сканирует все «поле зрения» точка за точкой. Это достигается путем вращения системы зеркал, которое меняет направление луча лазерного дальномера. Современные времяпролетные 3D-сканеры, могут выполнять сканирование со скоростью от 10 000 до 100 000 точек за одну секунду.

Лазерные 3D-сканеры, использующие принцип триангуляции, также относятся к типу активных сканеров, которые используют лазерный луч для того, чтобы сканировать объект. Данный метод сканирования, одним из первых, предложил Национальный научно-исследовательский совет Канады еще в 1978 г. Как и времяпролетные 3D-сканеры, триангуляционные устройства посылают на сканируемый объект лазерный луч, а отдельно стоящая камера фиксирует точки на поверхности, куда падает лазер. Перемещая лазерный луч по объекту, камера фиксирует точки рельефа поверхности. Технология называется триангуляцией потому, что камера, лазерный излучатель и сама лазерная точка на поверхности объекта образуют своеобразный треугольник. В этой системе известна длина одной из сторон треугольника – это расстояние между лазерным излучателем и камерой. Также известен угол лазерного излучателя, а угол камеры определяется по расположению лазерной точки в поле обзора камеры. Эти три характеристики полностью формируют размер треугольника и указывают на расположение угла лазерной точки. Обычно, для ускорения процесса сканирования, в сканерах данного типа, вместо лазерной точки используют лазерную полосу.

Ручные лазерные сканеры работают по принципу триангуляции, который был описан выше. Сенсор измеряет расстояние до поверхности объекта, в то время как лазерный луч или полоса проецируется на объект из ручного излучателя. В роли сенсора часто используется прибор с зарядовой связью или координатно-чувствительный детектор. Так как во время сканирования сканер находится в движении, а данные фиксируются относительно внутренней системы координат сканера, для определения точного положения устройства в пространстве зачастую используются специальные метки или используют природные особенности фона, для последующего приведения результатов сканирования к единой системе координат. Так же движения ручного сканера во время сканирования может фиксироваться средствами внешнего слежения. Для этих целей зачастую используют лазерный трекер со встроенной камерой, который определяет положение сканера в пространстве. Еще одним способом слежения за сканером является фотограмметрия. Для обеспечения данного способа используют 3 камеры, которые фиксируют движение сканера в трехмерном пространстве. Зачастую, в обоих методах используют инфракрасные светодиоды, движение которых фиксируется камерами со специальными фильтрами.

Весь объем данных сканирования и движения сканера собирается компьютером и на основе анализа создается карта точек трехмерного пространства, которая в свою очередь преобразуется в триангулированную сетку. Далее специальное программное обеспечение создает трехмерную модель объекта, используя так называемый «неоднородный рациональный B-сплайн» (NURBS - специальная математическая форма для генерации кривых и поверхностей). Совмещая данные трехмерного сканирования с данными от пассивных датчиков сбора видимого света, ручные сканеры могут фиксировать полную текстуру поверхности, что позволяет создавать полноценную 3D-модель сканируемого объекта.

Бесконтактные пассивные сканеры фиксируют только отраженный естественный свет. Помимо улавливания видимого спектра света они могут фиксироваться, к примеру, инфракрасное и другие типы излучения.

Пассивный метод сканирования относительно дешевый, так как не требует использования дорогостоящего специализированного оборудования, достаточно обычной цифровой камеры и специализированного программного обеспечения.

Стереоскопические системы предполагают использование двух видеокамер, которые расположены в разных местах. По анализу различий изображения каждой из камер, можно определить расстояние до каждой точки. Данный способ по своему принципу похож на стереоскопическое зрение человека.

В фотометрических системах, как правило, используется одна камера, которая производит съемку нескольких кадров. После чего происходит восстановление модели объекта по каждому пикселю на снимках.

Построение модели выполняется с использованием так называемой «силуэтной техники», в которой анализируется серия фотографий трехмерного объекта на контрастном фоне. Преобразуя и экструдируя полученные силуэты, исследователь формирует оболочку объекта. Недостатком данного метода является отсутствие возможности сканирования углублений объекта (например, этим способом невозможно отсканировать внутреннюю часть вазы).

Кроме того, существуют методы, основанные на том, что пользователь обнаруживает и идентифицирует некоторые особенности формы объекта, опираясь на множество различных его изображений, что позволяет в итоге создать приблизительную трехмерную модель объекта простой формы. Таким функционалом обладает ряд современных программных продуктов, например, D-Sculptor, iModeller, Autodesk ImageModeler или PhotoModeler.

Преимущества и недостатки различных методов лазерного 3D-сканирования

Поскольку каждый метод сканирования обладает своими преимуществами и недостатками, то выбор конкретного оборудования в каждом случае определяется особенностями исследовательской задачи и сканируемых объектов. Например, диапазон действия триангуляционных сканеров составляет всего лишь несколько метров, но этот недостаток компенсируется очень высокой точностью измерений. Точность сканирования устройств, основанных на принципе триангуляции, может достигать порядка десятков микрометров. Что же касается времяпролетных устройств, то они оптимально подходят для работы с очень большими расстояниями, вплоть до нескольких километров. Сканеры такого типа чаще всего используются для решения задач по съемке архитектурных или географических объектов. К недостаткам этих устройств можно отнести относительно малую точность измерения (погрешность до 1 мм). Это связано с тем, что скорость света очень высока и измерение времени движения луча от излучателя до объекта и обратно выполняется с большой погрешностью.

Так же на точности сканирования времяпролетных сканеров влияет исследование краев объекта. При послании одного лазерного импульса, он отражается сразу из двух мест. В этом случае координата точки рассчитывается, исходя из расположения сканера, при этом берется среднее значение двух отраженных лучей, в результате точка будет определена неверно. При этом, чем больше разрешающая способность сканера, тем выше вероятность попадания луча на край объекта. Данная проблема решается использованием специального программного обеспечения, которое позволяет фиксировать сканеру только первое отражение, игнорируя второе.

Выполнение задачи сканирования объекта у устройств с низкой разрешающей способностью при скорости работы 10 000 точек в секунду, займет несколько секунд. Сканирование же с большим разрешением потребует выполнения нескольких миллионов операций, что может занять не одну минуту. На точность сканирования может повлиять движение сканера или объекта сканирования. Это связано с тем, что каждая точка фиксируется в определенный момент времени и определенном месте. По этой причине высокоточные сканеры зачастую устанавливают на фиксированную платформу, чтобы

исключить воздействия возможных вибраций. В последнее время ведутся активные исследования того, как можно компенсировать влияние вибрации на искажение данных.

Стоит упомянуть и тот факт, что при сканировании в одном положении в течение длительного времени может произойти небольшое смещение сканера из-за изменения температуры. Если на штатив сканера с одной стороны воздействует солнечные лучи, то в таком случае штатив будет расширяться из-за нагрева, а данные сканирования будут искажаться. При этом некоторые лазерные сканеры обладают встроенными компенсаторами, которые корректируют работу сканера при любом движении.

Ручные сканеры удобны тем, что имеют малые габариты и достаточно компактны. К тому же применение в них как активных, так и пассивных технологий сканирования позволяют создавать не только трехмерную модель объектов, но и текстуру поверхностей. В следствии чего результатом сканирования является полноценная трехмерная модель.

Применение технологий 3D обработки и визуализации данных в проектах сохранения объектов историко-культурного наследия

Постоянное развитие компьютерных технологий и совершенствование технического оборудования приводит к расширению применения 3D-сканирования в области сохранения, моделирования и реконструкции (в том числе поврежденных и даже утраченных) объектов историко-культурного наследия. Наиболее широко данная технология используется в архитектуре, археологии и истории. Как отмечают эксперты, возрастание энтузиазма ученых в освоении этих технологий связано также с возможностью компенсировать недостаток средств для сохранения или восстановления исторических объектов традиционными способами [2].

Среди преимуществ технологии 3D-сканирования – получение точной трехмерной цифровой копии объекта; возможность бережной, бесконтактной обработки поврежденных экспонатов; применение методов компьютерного моделирования для восстановления или реставрации разрушающихся или исчезнувших объектов; сохранение модели в объеме с возможностью последующей репликации; предоставление пользователям возможности осмотра виртуальных копий в любых проекциях; создание цифровых хранилищ трехмерных объектов.

Логическим продолжением 3D-сканирования является 3D-печать. Это направление сейчас активно развивается и набирает популярность. Уже сейчас точность некоторых моделей 3D-принтеров составляет 0.025 мм - 0.05 мм, что позволяет напечатать реплику объекта высочайшего качества. При печати объектов физические размеры, которых выходят за границы возможностей принтера, объект может быть напечатан по частям или в масштабе, таким образом, могут быть напечатаны макет исторических зданий, архитектурных комплексов или даже целых городов.

Напечатанная на 3D-принтере модель экспоната после незначительной обработки (например, наложение цвета) фактически становится полноценной репликой объекта. В ближайшее время ожидается появление принтеров полного цикла, которые будут не только отпечатывать 3D-объекты, но и наносить окраску, соответствующую оригиналу. Примером применения технологии 3D-печати является образовательный проект, разработанный Американским музеем естественной истории [3]. Его целью является обучение студентов методам сравнения анатомии ископаемых путем использования технологий 3D-сканирования, моделирования и печати.

Все эти новые методы и возможности активно используются современными исследователями в России и за рубежом.

Первые работы в области трехмерного моделирования в гуманитарных науках были предприняты британским исследователем, «пионером виртуальной археологии и визуализации археологических данных» Полом Рейли (*Reilly, Paul*) еще в 1980-х гг. [4, 5].

Активное применение 3D-технологий визуализации в исторических и археологических исследованиях началось в 1990-х гг. в ведущих вузах США,

Великобритании и Франции, Италии, Испании, других европейских стран. А в России эта работа началась на рубеже XX-XXI вв. [6, 7].

Многие из проектов трехмерного сканирования и реконструкции историко-культурных проектов получили мировую известность.

Например, в конце 1990-х – начале 2000-х гг. группа преподавателей и студентов факультета компьютерных наук Стэнфордского университета (США) под руководством профессора Марка Левуа (*Levoy, Marc*) реализовала цифровой проект «Микеланджело» (*Digital Michelangelo Project*). Используя обычный лазерный триангуляционный сканер компании Cyberware, группа выполнила сканирование произведений великого итальянского скульптора Микеланджело Буонарроти (1475-1564), находящихся во Флоренции (знаменитые статуи «Давид», «Рабы» и еще четыре скульптуры из часовни Медичи). Точность сканирования составила 0,25 мм, что дало возможность увидеть на изображении следы от инструмента Микеланджело. Такая детализация сканирования потребовала обработки очень большого количества данных (порядка 32 гигабайт), что заняло около 5 месяцев [8, 9]. В 2004 г. цифровая модель, созданная Стэнфордским университетом, была использована для восстановления разрушающейся статуи Давида.

Другим масштабным проектом стэнфордского факультета компьютерных наук стала работа по 3D сканированию обломков знаменитой «Forma Urbis Romae» - гигантской мраморной карты античного Рима (*Digital Forma Urbis Romae Project*) [10].

Карта размером 60 футов шириной и 45 футов высотой (примерно 18,3x13,7 м) датируется временем правления Септимия Севера (Septimius Severus, римский император в 193-211 гг. до н.э.) и является, пожалуй, одним из самых важных документов древнеримской топографии. Однако эта карта была найдена разбитой на 1186 кусков, которые покрывают только некоторую часть оригинальной поверхности. До сих пор этот огромный пазл остается одной из величайших нерешенных проблем классической археологии, хотя обломки дают много ключей для решения загадки: совпадения краев фрагментов, толщина и физические характеристики элементов, направления прожилок в мраморе, совпадения рисунков на карте с границами домов и улиц, найденными во время археологических раскопок в современном Риме и так далее. Однако поиски совпадений и проверка версий до последнего времени являлись исключительно сложным делом в силу больших размеров, веса и многочисленности мраморных фрагментов. Исследователи решили оцифровать все эти обломки в 3D формате, чтобы с помощью компьютерных алгоритмов найти совпадения и составить, наконец, этот гигантский пазл.

В 1999 г. с помощью лазерных сканеров и цифровых цветных камер был отсканирован и сфотографирован каждый известный фрагмент мраморной карты. Полученная база данных имела объем 40 гигабайт и состояла из 8 миллиардов многоугольников, отображающих грани реальных обломков, и 6 тысяч цветных изображений. Дальнейшая работа состояла в кропотливом создании полигональных сеток для цифровой модели каждого фрагмента карты и цветных мозаичных фотографий высокого разрешения. На данный момент на сайте проекта имеются в свободном доступе трехмерные изображения всех 1186 мраморных обломков, продолжается работа по созданию алгоритмов для поиска совпадающих частей и складывания «мозаики».

Пожалуй, одним из самых масштабных примеров использования технологии 3D-сканирования является проект Smithsonian X 3D, который реализуется Смитсоновским институтом (США) совместно с компанией Autodesk [11]. Целью проекта является перевод в цифровой вид более 137 миллионов экспонатов, которые находятся в музеях США, с последующим размещением их в свободном доступе в сети Интернет. Как отмечают сами авторы проекта, амбициозность этой цели демонстрирует простой расчет: если оцифровывать один музейный экспонат в минуту круглые сутки без выходных, то такая работа займет 260 лет. В настоящее время музеи, участвующие в проекте, определили примерно 10% наиболее значимых экспонатов из своих коллекций для приоритетной двухмерной и трехмерной обработки.

В настоящее время на сайте проекта доступны трехмерные модели таких всемирно известных объектов, как скульптуры «Космического Будды» (URL: <http://3d.si.edu/explorer?modelid=44>), ружья Дэвида Ливингстона (URL: <http://3d.si.edu/explorer?modelid=60>), одна из первых моделей самолетов братьев Райт 1903 г. (URL: <http://3d.si.edu/explorer?modelid=48>) и др. Трехмерные цифровые копии этих и других экспонатов имеют высокое качество и детализацию. Пользователям также предоставлены инструменты для изучения экспоната с любого ракурса, возможности увеличения изображения, создания собственной световой сцены (до трех источников света в пространстве с возможностью, изменения их интенсивности и цвета). Кроме того, пользователь может изменять резкость текстур, измерять расстояние между точками объекта, получать срез объекта в любой плоскости и много другое.

Не менее грандиозным представляется проект CyArk 500, в рамках которого некоммерческая организация CyArk поставила перед собой задачу перевести 500 памятников Всемирного культурного наследия ЮНЕСКО в цифровые модели и таким образом сохранить их для потомков [12]. На данный момент оцифрованы уже 40 крупных объектов, в частности, выполнены работы по созданию высококачественных трёхмерных моделей индуистского храма Ангкор в Камбодже [13], древнеримского города Помпеи, погибшего в результате извержения Везувия, священного города майя Чичен-Ица в Мексике, Гробницы Восточной Цин – комплекса усыпальниц китайских императоров, и знаменитой американской горы Рашмор [14].

Российские специалисты не менее активно занимаются использованием технологий лазерного сканирования и трехмерной визуализации в самых различных областях, связанных, прежде всего, с историческими реконструкциями и сохранением памятников истории и культуры.

С 2011 г. кафедра исторической информатики Исторического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова реализует проект виртуальной реконструкции монастырей города Москвы (URL: <http://hist.msu.ru/3D/monastery-auth-1.htm>). В частности, в 2011-2012 гг. при поддержке РФФИ была выполнена историческая реконструкция одного из крупнейших монастырских комплексов Москвы XIX века – монастыря «Всех скорбящих радости» и прилегающей городской застройки (URL: http://hist.msu.ru/3D/Joy_of_all_sorrow.htm). На основе оригинальных исторических источников проведен анализ эволюции пространственной инфраструктуры монастырского комплекса с использованием методов 3D моделирования. Для популяризации полученных научных данных подготовлены онлайн видео-тур и коллекция фотоизображений. В рамках работ также создана библиотека электронных публикаций по реализованным проектам виртуальной исторической реконструкции [15].

В 2011-2013 гг. Центр виртуальной истории науки и техники Института истории естествознания и техники им. С.И.Вавилова РАН создал трехмерную цифровую модель знаменитой Шуховской башни, построенной в Москве по проекту академика Владимира Григорьевича Шухова (1853-1939) в 1920-1922 гг. Как отмечают авторы проекта, их работа была мотивирована предаварийным состоянием башни, отсутствием полноценной инженерной документации, а также праздничными датами – 90-летним юбилеем башни в 2012 г. и 160-летним юбилеем В.Г.Шухова в 2013 г. Трехмерная модель башни выполнена в единой системе координат с точностью около 1 см. Кроме того, на сайте проекта представлена интерактивная 3D презентация (программное обеспечение) для стереовизуализации полученных трёхмерных данных (облака точек и полигональной 3D модели) и дополнительной информации, связанной с моделью [16].

3D-сканирование стало обыденным делом в работе архитекторов и градостроителей для оценки масштабов реставрационных работ. Например, в 2014 г. были проведены архитектурные обмеры и созданы точные чертежи фасадов Константиновского рavelина в Севастополе. Общая длина рavelина, выстроенного во второй четверти XIX в.

по проекту инженер-полковника Карла Ивановича Бюрно (1792-дата смерти неизвестна), составляет 250 м по фасаду, ширина — 25 м, высота крепости над уровнем моря — около 12 м [17].

Одним из новых направлений практического приложения трехмерной визуализации и технологий «виртуальной реальности» в России стало создание в Интернет-среде виртуальных музеев. Такого рода проекты реализует, в частности, Академический учебно-научный центр РАН МГУ (URL: <http://aerc-rasmsu.ru/>). В честь 20-летия со дня принятия новой Конституции Российской Федерации был открыт для свободного доступа Электронный музей конституционной истории России с тремя виртуальными залами, где экспонируются трехмерные цифровые копии подлинных документов, изданий, артефактов истории отечественного конституционализма разных веков [18]. Кроме того, в 2013 г. (год проведения Зимней Олимпиады в г. Сочи) был создан виртуальный музей истории российского олимпийского спорта [19]. Этот музей имеет 30 виртуальных залов с более чем 2 тысячами трехмерных экспонатов и «услугами» интерактивного виртуального гида.

Эти и другие примеры реализованных проектов демонстрируют широкие возможности практического применения 3D-технологий в современных цифровых гуманитарных науках (Digital Humanities) и одновременно позволяют проанализировать основные проблемы, возникающие в развитии этой сферы, которые носят, главным образом, теоретико-методологический характер.

Выводы

Как уже отмечалось, использование различных современных технологий трехмерной визуализации данных позволяет решать целый комплекс научных и практических задач, стоящих перед исследователями, преподавателями, хранителями музеев, архитекторами, инженерами и др. специалистами. В частности, использование 3D моделей помогает осуществлять цифровое хранение объектов историко-культурного наследия; проводить виртуальную реставрацию и реконструкцию экспонатов самых различных размеров и уровня сложности; свободно реплицировать данные сканирования и результаты реставрации; оперативно передавать материалы коллегам для получения экспертных оценок, консультаций, обеспечивать межмузейные обмены.

Кроме того, известно, что широкой публике обычно доступна лишь очень малая часть музейных коллекций (3-5%). 3D-технологии позволяют «открыть» музейный запасники, свободно создавать новые, оригинальные виртуальные экспозиции, не будучи при этом связанными ограничениями реального мира, вроде размеров помещений или необходимости обеспечить экспонатам специальные условия хранения (уровень освещенности, температуры, влажности и пр.). Создание реалистичных трехмерных копий уникальных, в том числе разрушающихся объектов истории и культуры позволит сохранить их в виртуальном пространстве для следующих поколений фактически первозданном виде, а при необходимости - гарантирует возможность воссоздания точной реплики.

Однако, несмотря на все эти полезные приложения, обеспечившие масштабное использование 3D-решений для сохранения и воссоздания ландшафтов, археологических памятников, зданий, артефактов и других объектов историко-культурного наследия, полученные на сегодняшний день результаты уже не кажутся специалистам настолько успешными, как это представлялось в начале. Как ни парадоксально, но на такое положение дел повлияли эффекты Интернет-революции, которые превратили «чудеса технологии» в нечто обыденное для широкой пользовательской аудитории.

Как бы виртуозно ни были выполнены трехмерные реконструкции, представленные на сайте, посетитель быстро теряет к нему интерес, если не вовлекается в некое интерактивное взаимодействие. Поэтому сегодня все чаще звучат голоса специалистов, заявляющих о необходимости пересмотреть цели, задачи и дизайн такого рода интернет-

ресурсов. В настоящее время интернет-технологии и новые коммуникационные возможности стали доступны самым широким слоям населения, 3D-моделирование, конечной целью которого является лишь создание реалистической реконструкции каких-либо объектов, уже не является эффективным инструментом для решения научных и образовательных задач. Гораздо больший интерес эти технологии представляют в том случае, если они используются в качестве инструмента, позволяющего создать эффект виртуального присутствия, вовлекающего пользователя в ту или иную активность на ресурсе. Такой подход означает необходимость более точно ставить исследовательские задачи в проектах, привлекающих 3D-решения: важно сосредоточиться не столько на повышении качества графики, сколько на разработке яркой концепции, увлекательного сценария и общего дизайна образовательных, исследовательских, музейных ресурсов, в которых применяются технологии трехмерной визуализации.

Например, в 2003 г. в рамках подобной парадигмы был выполнен образовательно-практический проект «Святыня» (*Shrine Educational Experience, SEE*) на базе Израильского музея в Иерусалиме, где хранятся знаменитые Свитки Мертвого моря. Была поставлена задача создать ресурс, способный привлечь внимание учащихся в возрасте от 13 до 18 лет, поэтому первичной стадией проекта стало масштабное тестирование молодежи в Европе и Израиле, которое продолжалось почти два года. В результате будущие пользователи фактически стали создателями этого образовательного ресурса, поскольку их интересы и предпочтения были учтены при разработке его концепции, целей и пользовательских функционалов, включая 3D-среду [20].

Еще одна новая проблема в области применения технологий трехмерного моделирования объектов историко-культурного наследия связана с вопросами разработки программных средств защиты ценных, а порой и крайне дорогостоящих цифровых объектов от пиратского использования и злонамеренного повреждения [21, 22]. Это довольно сложная исследовательская задача, поскольку разрабатываемые системы защиты могут конфликтовать с функционалами, обеспечивающими возможность интерактивного взаимодействия пользователя с виртуальными экспонатами.

Что касается перспектив применения 3D-технологий для развития функционала и повышения пользовательской привлекательности информационно-аналитической платформы «История современной России» (далее – ИАП), то они на данный момент представляются двойственными. С технологической стороны не существует неразрешимых препятствий для дополнения ИАП виртуальным хранилищем трехмерных артефактов, относящихся к современному периоду отечественной истории. Часть экспонатов, представляющих интерес для 3D-копирования и размещения в свободном доступе (после урегулирования юридических вопросов) на базе ИАП, содержится, например, в коллекциях Государственного центрального музея современной истории России (<http://www.sovr.ru/collection/>). Однако, как представляется, важнейшей задачей развития интернет-платформы «История современной России» является повышение ее популярности, а это означает, что привлечение ресурсоемких и достаточно дорогостоящих в исполнении 3D-решений может быть оправдано в случае разработки новых концепций (сценариев) представления научной информации на сайте, содержащих элементы интерактивного взаимодействия, определенной доли развлекательности и зрелищности. Такой подход ставит задачу организации интеллектуального краудсорсинга, вовлечения «конечных пользователей» ресурса в процесс сотворчества и определения наиболее перспективных направлений дальнейшего развития информационно-аналитической платформы «История современной России».

Список литературы

1. WHY 3D? Challenges and solutions with the use of 3D visualizations in cultural history disciplines. URL:

- http://cas.au.dk/fileadmin/cas/forskning/Forskningsprogrammer/Materials_Culture_and_Heritage/Why_3D_seminar_-_21_august_-_call_for_papers.pdf (дата обращения: 11.11.2014).
2. Hazlewood P., Oddie A., Presland S., Farrimond B. 3D Spatiotemporal Reconstruction of Places and Events for Digital Heritage // Proceedings of EVA (Electronic Visualisation and the Arts). London 2011. URL: http://ewic.bcs.org/upload/pdf/ewic_ev11_sbpaper1.pdf (дата обращения: 11.11.2014).
 3. Using 3D Printing to Reconstruct Dinosaurs, Students Learn to Think Like Paleontologists // Website of the American Museum of Natural History. URL: <http://www.amnh.org/explore/news-blogs/education-posts/students-use-3d-printing-to-reconstruct-dinosaurs> (дата обращения: 11.11.2014).
 4. Reilly P. Computer Analysis of an Archaeological Landscape: Medieval Land Divisions on the Isle of Man. Oxford: British Archaeological Reports (British Series 190), 1988.
 5. Reilly P., Shennan S. Applying solid modeling and animated three-dimensional graphics to Archaeological problems // Computer Applications in Archaeology. Oxford, 1989. P. 157-166.
 6. Жеребятъев Д.И. Методы исторической реконструкции памятников истории и культуры России средствами трехмерного компьютерного моделирования. Автореф. ... дисс. канд. ист. наук. М.: МГУ имени М.В.Ломоносова, 2013. 28 с.
 7. Баранов Ю. М., Курлаев Е.А. Реконструкция утраченных промышленных объектов и раритетных технологий с использованием компьютерного моделирования // Российский научно-технический музей: проблемы и перспективы. Н. Тагил, 2000. С. 46 – 53.
 8. Levoy M. The Digital Michelangelo Project / Computer Science Department. Stanford University. 2000. URL: <http://graphics.stanford.edu/talks/DigMich-sig00-course/DigMich-sig00-course.pdf> (дата обращения: 11.11.2014).
 9. Levoy M., Garcia-Molina H. Creating digital archives of 3D artworks URL: <http://graphics.stanford.edu/projects/dli/> (дата обращения: 11.11.2014).
 10. Stanford Digital Forma Urbis Romae Project. URL: <http://formaurbis.stanford.edu/> (дата обращения: 11.11.2014).
 11. Сайт проекта «Smithsonian X 3D». URL: <http://3d.si.edu/about> (дата обращения: 11.11.2014).
 12. Сайт «CyArc». URL: <http://www.cyark.org/> (дата обращения: 11.11.2014).
 13. Brown J., Lee E. Ancient History Meets New Technology // Professional Surveyor Magazine. 2008. URL: <http://archives.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=2083> (дата обращения: 11.11.2014).
 14. Lee E. Scanning Rushmore - Digitizing the Legacy // The American Surveyor. 2010. Vol. 7. No. 7. P. 10–19.
 15. Жеребятъев Д.И. Методы трёхмерного компьютерного моделирования в задачах исторической реконструкции монастырских комплексов Москвы. М.: МАКС Пресс, 2014. 224 с.
 16. Сайт проекта «Виртуальная Шуховская башня». URL: <http://virtual.ihst.ru/shukhov-tower.html> (дата обращения 11.11.2014).
 17. Описание проекта архитектурного обмера методом 3D сканирования и построение чертежей фасадов Константиновского равелина в Севастополе для целей реставрации. URL: http://www.ngce.ru/pg_projects180.html (дата обращения 11.11.2014).

18. Электронный музей конституционной истории Российской Федерации URL: <http://www.rusconstitution.ru/virtual/> (дата обращения: 11.11.2014).
19. Виртуальный музей истории российского олимпийского спорта URL: <http://museumsport.isida.pro/museum/> (дата обращения: 11.11.2014).
20. Di Blas N., Gobbo E., Paolini P. 3D Worlds and Cultural Heritage: Realism vs. Virtual Presence // Museums and the Web. 2005. P. 183-194.
21. Koller D., Turitzin M., Levoy M., Tarini M., Croccia G., Cignoni P., Scopigno R. Protected Interactive 3D Graphics Via Remote Rendering. URL: <http://graphics.stanford.edu/papers/protected/protected.pdf> (дата обращения: 11.11.2014)
22. Koller D., Levoy M. Protecting 3D Graphics Content // Communications of the ACM. 2005. No 48 (6). P.74-80.