

DOI: 10.5862/JCSTCS.229.1

УДК 004.925

*А.Л. Автюшенко, В.М. Иванов*

## **КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНВЕРТАЦИИ ДВУХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ В ТРЕХМЕРНУЮ СЦЕНУ**

*A.L. Avtiushenko, V.M. Ivanov*

### **COMPUTER TECHNOLOGIES FOR CONVERTING TWO-DIMENSIONAL OBJECTS TO THE THREE-DIMENSIONAL SCENE**

Отмечена неотъемлемая значимость трехмерной визуальной составляющей в восприятии графической информации, произведен анализ различных существующих технологий конвертации реальных и двухмерных объектов в трехмерную или псевдотрехмерную форму. На базе этого анализа кратко изложена одна из синтезированных технологий преобразования двухмерного изображения в псевдотрехмерную форму на примере проекта «Ожившие картины» (проект выполнялся в сотрудничестве с Государственным Русским музеем, результат в виде анимированной панорамы картины И.И. Шишкина демонстрируется в корпусе Кордегардия Михайловского замка).

3D-ИЗОБРАЖЕНИЕ; ТРЕХМЕРНАЯ ГРАФИКА; ДВУХМЕРНАЯ ГРАФИКА; ВОСПРИЯТИЕ ИНФОРМАЦИИ; ЗРЕНИЕ; ИЗОБРАЖЕНИЕ; ТЕХНОЛОГИЯ; АНИМАЦИЯ; КОНВЕРТАЦИЯ; 2D-ИЗОБРАЖЕНИЕ.

In this paper, we have identified the crucial importance of the three-dimensional component in the visual perception of graphical information. We have also analyzed various existing technologies of converting two-dimensional and real objects to a three-dimensional or a pseudo three-dimensional form. One of the adapted conversion technologies is summarized on the basis of this analysis. This new technology is described on the example of the «Revived Pictures» project (a real project executed in collaboration with the State Russian Museum, the result of which is a panorama of an animated picture of Ivan Shishkin demonstrated in the Corps de Garde pavilion of the Mikhailovsky Castle).

3D-IMAGE; 3D-GRAPHICS; 2D-GRAPHICS; INFORMATION PERCEPTION; VISION; IMAGE; TECHNOLOGY; ANIMATION; CONVERSION; 2D-IMAGES.

Последние 15 лет наблюдается невероятный прогресс в создании трехмерных и псевдотрехмерных изображений. Такое активное развитие отрасли компьютерной графики обусловлено активным спросом в различных сферах жизнедеятельности человека. Исследование достижений в разработках трехмерной графики представляет собой одно из наиболее перспективных направлений в психологических, математиче-

ских, сейсмологических, географических и многих других исследованиях. Практически каждый раздел современной науки приобретает уникальную возможность рассматривать и осуществлять свою деятельность, используя преимущества трехмерного восприятия.

В компьютерной графике в целом, и в трехмерной графике в частности, основной информацией являются графические обра-

зы, последовательность этих образов и звук [1]. Основные органы восприятия медиainформации у человека – зрение и слух. Они обладают спецификой, которую необходимо понимать для реализации наиболее приближенного к реальности трехмерного изображения. По информационной теории Д. Марра суть процесса зрительного восприятия лежит в сборе, представлении, обработке и распознавании информации, отражающей свойства наблюдаемого человеком реального мира [2]. Данный алгоритм состоит из следующих шагов: на первом строится эскиз с учетом яркости и геометрических особенностей объектов, далее – 2,5-мерный эскиз глубин и ориентаций поверхностей в системе координат наблюдателя, на последнем выводится трехмерная модель, в координатах объекта которой происходит описание трехмерной структуры и организации формы.

Человек обладает бинокулярным зрением, что дает ему возможность видеть окружающий мир рельефным, ощущать взаимное расположение предметов по глубине [3]. Следовательно, тяга к трехмерному восприятию вполне очевидна.

Ниже будут рассмотрены примеры совмещения и адаптации различных технологий конвертации на примере музейной среды, т. к. именно в этой области необходим постоянный приток современных медиатехнологий, а также она позволяет в ограниченные сроки отследить эффективность и получить обратную связь (благодаря большому количеству вовлеченных участников).

#### **Анализ технологий конвертации объектов в трехмерную форму**

Для формирования наиболее полной картины необходимо рассмотреть уже существующие технологии конвертации, их преимущества и недостатки. В современной компьютерной графике трехмерное изображение рассматривается как комбинация объемной полигональной сетки и натянутой на нее текстуры, описывающей цвет изображения [4]. Отсюда становится ясно, что если целью проекта становится создание трехмерной сцены, имитирующей реаль-

ность, то необходимо, во-первых, каким-то образом получить или сформировать данные о полигональной сетке (структуре реальных объектов), а, во-вторых, получить или сформировать текстуры, повторяющие реальные свойства объектов.

**Трехмерное сканирование реальных объектов** на первый взгляд дает возможность сгенерировать описанные выше элементы. Основной плюс подобного подхода в автоматизации процесса получения полигональной сетки и текстур. Однако стоимость технического оснащения крайне высока, что сдерживает развитие технологии [4]. Также сдерживающим фактором можно назвать несовершенство итоговой 3D-модели (результат может содержать большое количество «артефактов» и искажений).

Всего можно выделить два направления в сканировании реальных объектов: *контактное* и *бесконтактное*.

*Бесконтактные методы* разделяются на три основных направления:

- 1) технология, основанная на использовании стереоизображений;
- 2) технология, использующая структурированный свет;
- 3) лазерная технология [5].

Алгоритм первой технологии состоит в фотографировании объекта с различных ракурсов и воссоздании трехмерной модели на основе фото. Подобный подход терпит в точности из-за того, что достаточно сложно организовать точное соответствие для пикселей на изображениях, полученных с двух камер, в бесструктурных областях объекта.

Сканирование при помощи структурированного света позволяет с помощью проецирования на реальный объект сетки из линий или точек отследить их искажения на конечных изображениях. Однако процесс является трудоемким и обладает рядом технологических ограничений. К примеру, для воссоздания модели объекта, части которого имеют различную детализацию, необходимо вручную добавлять дополнительные линии или точки в областях, где количество деталей больше, чем на основной модели.

При лазерной технологии применяют



как лазерные датчики, так и цифровую фототехнику [5]. Текстуры для объектов генерируются автоматически. Как и в предыдущем случае технология трудоемка и требует больших временных затрат для оценки и корректировки полученного результата, однако ее несомненным достоинством является возможность конвертировать в трехмерный формат крупные объекты, такие как здания.

В основе *контактных методов* сканирования — высокочувствительный щуп (сенсор), изучающий контуры объекта и выстраивающий его трехмерную копию на экране. Технология проста в использовании, обладает высокой точностью, результат не зависит от освещения. Однако затруднительно применять ее на объектах со сложной геометрией, больших объектах и на объектах, доступ щупа к которым затруднен или невозможен. Также способ крайне затратен по времени и нет возможности захватить данные о текстуре объекта. Область применения — в промышленности.

Следующей технологией, позволяющей осуществлять конвертацию реальных объектов в трехмерные, является *фотограмметрия*. Технология дает возможность интерпретации пространственной информации в заданной системе координат и измерения координат отдельных точек этой модели [6]. Суть технологии фотограмметрии заключается в фиксировании реального объекта на нескольких фотографиях, выполненных с разных ракурсов, обработке полученных снимков с помощью специализированного программного продукта, самостоятельно формирующего связи между изображениями и создающего основу для трехмерного объекта. Преимущество метода заключается в возможности передать мельчайшие неровности и детали объекта (трещинки, пятна, размытия), не используя при этом дорогостоящее оборудование для 3D-сканирования. Методы фотограмметрии также позволяют реконструировать объекты крупных форм, исследовать сооружения в динамическом состоянии [7]. Однако данный способ практически непригоден для конвертации объектов с отражающей поверхностью или объектов из стекла.

Выше рассмотрены всевозможные автоматические и полуавтоматические методы конвертации объектов. Все они обладают теми или иными недостатками и требуют «ручной» доработки. Некоторые объекты в принципе невозможно воспроизвести с помощью подобных технологий (особенно если объект не существует в реальности, либо существует как прототип), в таком случае инженеры прибегают к помощи технологий «ручного» моделирования. Выделяют два основных направления последних: *полигональное моделирование* и *параметрическое*.

*Полигональное моделирование* — технология трехмерного моделирования, основанная на использовании «полигонов» — многоугольников с тремя или четырьмя вершинами. Каждый полигон или все вместе имеют свой цвет или текстуру и располагаются в виртуальном трехмерном пространстве. Соединение группы таких полигонов позволяет смоделировать практически любой объект (чем больше детализация предполагаемого объекта, тем больше необходимо смоделировать полигонов для отображения деталей). Основным недостатком такого метода можно назвать необходимость объектов быть составленными из крошечных плоских поверхностей, которые должны иметь сколь угодно малый размер, иначе края объектов будут иметь огранный вид, невозможно будет отобразить плавный переход. Из этого следует, что плотность полигонов для фотореалистичного отображения объекта, как правило, должна быть крайне большой, что усложняет и сам процесс моделирования, и итоговый вес модели.

Основная идея трехмерного *твердотельного (параметрического) моделирования* — в проектировании с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами. Параметризация позволяет в режиме реального времени изменять характеристики объекта. Чаще всего применяется в промышленности, т. к. дает возможность получать на выводе прототипы реальных объектов с реальными параметрами, которые можно использовать как исходные значения для различных

станков (например, фрезерных). Метод используется в промышленности, достаточно сложен для освоения (необходимо обладать высоким уровнем знаний или/и быть профессиональным инженером в необходимой области).

Последняя технология – *съемка стерео-видео* крайне сложна технически и базируется на максимально точно откалиброванных и настроенных камерах. Активному развитию технологии также мешает отсутствие четких представлений о том, как формируется ощущение глубины пространства в зрительной системе человека [8]. Из-за данного факта разработчики вынуждены каждый раз опытным путем определять, возможно ли получить желаемый стереоскопический эффект при съемке данной сцены, а если да, то при каких параметрах [9]. Аналогичные проблемы возникают при конвертации двухмерного видеоряда в трехмерный, однако в таком случае процесс усложняется еще и тем, что перенять плохо конвертирующиеся сцены возможности нет.

Принципиальной особенностью наблюдения трехмерных сцен и изображений, которая отличает их от наблюдения двухмерных изображений, является возникновение ощущения глубины за счет бинокулярного зрения [9]. Здесь важно понимать и четко представлять все механизмы, принимающие участие в формировании глубины пространства и оценки расстояния до наблюдаемых объектов, т. к. для каждой конкретной ситуации инженеру приходится опытным путем определять условия получения трехмерного материала и алгоритмы конвертации.

#### **Практическое применение сочетания различных компьютерных технологий конвертации двухмерных объектов в трехмерную сцену**

Исходя из всего перечисленного выше, всех достоинств и недостатков технологий конвертации разработана технология *реконструкции трехмерных сцен с помощью проецирования двухмерных изображений на трехмерные или двухмерные объекты*. Основная идея технологии заключается в том, чтобы использовать исходное плоское изобрае-

ние и воссоздать на его основе трехмерную сцену, руководствуясь методиками проецирования изображений на плоские или объемные поверхности и располагая их в пространстве трехмерной сцены.

Разработанная технология несет в себе аспекты методик полигонального моделирования, фотограмметрии и базируется на методике разбиения плоских изображений и послойной реконструкции двухмерного пространства. Основная особенность проекта состоит в том, что послойная реконструкция, как правило, используется для реализации примитивных одноплановых плоскостных анимаций, однако в данной работе с ее помощью реконструируется реалистичное изображение с несколькими планами.

Описанный выше анализ технологий приводит к несомненному выводу о том, что на текущий момент инженер компьютерной графики располагает огромным инструментарием для конвертации двухмерных изображений в трехмерные, для воссоздания реальности на компьютере и т. п., однако, как правило, каждая из этих технологий носит узкоспециализированный характер и не всегда применима для решения конкретных задач, но, в общем случае, требует значительных финансовых затрат.

В рамках настоящей статьи рассмотрены основные механизмы конвертации и различные технологии создания трехмерного изображения на основе реальных объектов. В качестве примера адаптированной технологии приведена конвертация живописного полотна в трехмерную анимированную сцену.

Объектом конвертации выступает панорама на 360° (рис. 1), основанная на шести оригинальных произведениях художника И.И. Шишкина (рис. 2). Анимированный результат конвертации данной плоской панорамы размещен в корпусе Кордегардия на территории Михайловского замка в Санкт-Петербурге. Руководство музея ставило задачу из плоского статичного объекта с минимальными видеоизменениями создать иллюзию анимированного пространства, где каждый из объектов сцены подчиняется физическим законам природы, и про-



Рис. 1. Итоговая панорама на основе шести оригинальных работ И.И. Шишкина



Рис. 2. Шесть оригинальных произведений И.И. Шишкина

исходит некоторое действие (перемещение крон деревьев, вызываемое ветром, полет птиц, движение воды и т. п.). Для решения данных задач исследован исходный объект и выделены технологии конвертации, которые могут обеспечить подходящий результат.

Так как объект (картины художника) является плоским, информацию о пространстве невозможно получить ни одним из способов сканирования или фотограмметрии. Съемка стереовидео реальных объектов также не может привести к необходимому результату, т. к. пейзажи на полотнах достоверно воспроизвести невозможно. В данном случае приемлемо лишь использование технологий полигонального моделирования в сочетании с проецированием на воссозданные полигональные объекты.

Формат исходного изображения 10190×1150 пикселей. Формат обусловлен особенностями формирования бесшовных круговых панорамных изображений — лентообразных картин с круговым обзором. Панорамы создают иллюзию реального пространства, окружающего зрителя в полном круге горизонта, и всегда имеют соотноше-

ние сторон один к трем и более (для обеспечения угла обзора, близкого к человеческому взору). Разрешение 72 ppi. Выбор разрешения обусловлен особенностями техники вывода изображений: графика, которая изначально планируется для вывода на экран монитора или проектора, как правило, не требует большего разрешения, а любая избыточная информация грозит увеличением времени обработки информации.

В качестве объектов проецирования выбраны фрагменты живописных полотен, такие как деревья и ветки деревьев, детали переднего плана, камни и четко обозначенные растения. В качестве субъектов проецирования созданы полигональные плоскости, расположенные в пространстве исходя из их предполагаемого размещения в реальном прототипе картины (рис. 3).

На первом этапе создается трехмерная сцена и основная полигональная плоскость (для того чтобы впоследствии натянуть на нее изображение панорамы). Размещение плоскости в сцене не принципиально, т. к. значимым параметром является лишь положение камеры относительно объекта (плоскости картины). Для удобства дальнейших

расчетов основной объект можно располагать в центре координат вертикально. Параметры полигональной плоскости крайне важны, т. к. в случае если пропорции плоскости не будут точно совпадать с пропорциями исходного изображения, текстура исказится. В нашем случае пропорции плоскости должны равняться соотношению 10190/1150 (соотношение сторон исходной панорамы). Далее фронтально по отношению к плоскости размещена ортографическая камера. Важно, чтобы в настройках вида камеры соотношения сторон также совпадали с 10190/1150, а размер окна вида был 10190×1150 пикселей.

Здесь также необходимо связать полигональный объект (будущую плоскость панорамы) с ее текстурой (изображением панорамы).

На последнем этапе устанавливается освещение в сцене. Это необходимо для того, чтобы точно воспроизвести тени от двигающихся объектов. На данном этапе анализируется положение теней на оригинальном изображении и реконструируется положение точечного источника рассеянного света в пространстве. В любом случае, после данного этапа проводится серия тестов с целью убедиться, что источник света отбрасывает тени, аналогичные теням на исходном плоском изображении. Если это не так, положение источника в пространстве корректируется, и тесты возобновляются.

Говоря о тестах, необходимо отметить, что их проведение сводится к тому, что изображение с камеры рендерится (визуализируется) и сопоставляется в редакторе двухмерной графики с изображением-оригиналом. Очень удобна при этом техника работы со слоями, где верхним слоем является полученное изображение-рендер, а нижним — оригинал. При изменении режима смешивания для верхнего

изображения на режим difference просто отследить различающиеся элементы. Данный режим представляет идентичные пиксели как черные, похожие — как темно-серые, а противоположные — как инвертированные. Подобный подход позволяет отследить малейшие неточности еще в процессе работы и избежать глобальных несоответствий. Тесты рекомендуется проводить после каждого последующего шага.

Следующий этап начинается в тот момент, когда пространство исходного изображения разделено по планам (передний, средний и задний). Происходит поиск фрагментов изображения, потенциально пригодных для последующего анимирования.

Затем для каждого из планов (в данном случае — неба, земли и леса) в редакторах двухмерной графики создаются фоны (бэграунды) на прозрачном фоне (вся лишняя информация, не принадлежащая к тому или иному плану, заменяется на прозрачные пиксели, а области, где будут располагаться заанимированные объекты, заретушируются). Каждый фон сохраняется как текстура с разрешением, аналогичным разрешению исходной панорамы, в один из форматов файлов растровой графики, который поддерживает прозрачность. Далее в программе создаются дополнительные полигональные плоскости, аналогичные по параметрам исходной, но размещаются они со смещением по оси глубины, соответственно их плану (задний план — текстура неба, средний — лес, передний — земля). Значение смещения здесь также не принципиально, т. к. камера, через которую будет выводиться окончательный результат, ортографическая.

После окончания подготовительной работы стартует этап ротоскопирования. На этом этапе все крупные фрагменты «вырезаются» с помощью редакторов двухмерной



Рис. 3. Пример текстуры одного из планов (задний план неба и земля)



Рис. 4. Вырезанные фрагменты панорамы, которые впоследствии будут анимироваться

графики или программ, предназначенных для композитинга (например, The Foundry Nuke), из исходного изображения панорамы (крупными в данном случае считаются фрагменты, находящиеся на одном из передних планов, имеющие четкие очертания и являющиеся самостоятельными единицами). Каждый глобальный объект холста, который в реальности был бы отдельной единицей, становится самостоятельным изображением (рис. 4).

Крайне удобно осуществлять упомянутый выше процесс в программах композитинга, а не в программах двухмерной графики, т. к. результирующий объект можно откорректировать в любой момент.

На следующем этапе каждое из созданных изображений сохраняется аналогично текстурам планов в один из форматов растровой графики, поддерживающий прозрачность, и натягивается в качестве текстуры на полигональную плоскость внутри сцены (соотношение сторон плоскости совпадает с соотношениями сторон каждой из текстур). Плоскости также размещаются внутри пространства сцены со смещением по оси глубины, соответственно их плану на исходной картине (положение плоскостей по другим осям совпадает с местонахождением их объектов-прототипов).

Далее, с целью произвести у итогового продукта реалистичную анимацию, полученные на предыдущем этапе изображения разделяются на подобъекты. Например, у каждого дерева выделяются характерные ветви, пригодные для анимации (при невыполнении данного пункта существует риск получить в результате гротескный резуль-

тат, при котором все дерево в целом будет раскачиваться на ветру, а ветви дерева — нет).

Необходимо уточнить, какие именно подобъекты считаются «пригодными для анимации». Во-первых, подобъект должен быть четко очерчен в плоскости изображения, т. е. не иметь размытых контуров. Во-вторых, размеры полученного изображения должны быть не меньше  $0,5 \times 0,5$  мм при разрешении в 72 ppi (т. е. 36 пикселей по ширине и высоте), иначе существует риск проделать большой объем работы и не получить видимого результата (т. к. столь малое число пикселей не может содержать визуально-ощутимой для человеческого глаза информации).

После окончания основной работы по разбиению и формированию объектов сцены проводится коррекция промежуточного результата (ретушь в графическом редакторе): с фона основной картины-подложки убираются элементы, которые будут далее анимироваться. Данный шаг выполняется во избежание появления анимированного предмета в статичной форме на заднем плане, под самим анимируемым объектом при его смещении (рис. 5).

На следующем этапе анализируются реальные прототипы объектов и характер их движений в природе с целью написания математической функции (как правило, несколько), обеспечивающей похожие на реальные колебания. Наиболее распространенным примером управления скоростью является движение с плавным входом/выходом. При таком способе управления скоростью происходит плавное достижение

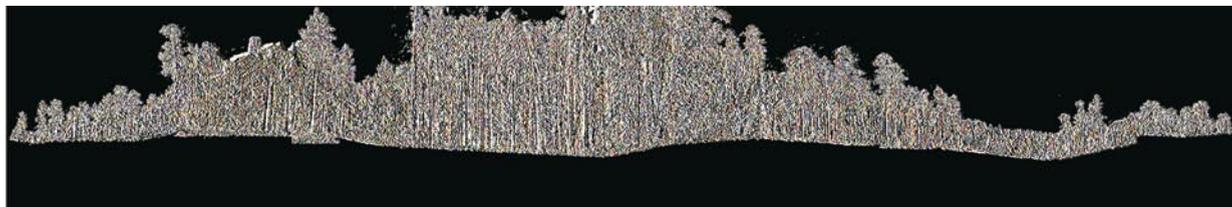


Рис. 5. С изображения-подложки убираются все объекты с анимацией

максимальной скорости и плавное торможение [10]. Для этого функцию скорости часто выбирают синусоидой. В данном случае выбрана синусоидальная функция, отвечающая за скорость качаний и их частоту. Случайный элемент (второй множитель) необходим для того, чтобы все объекты не двигались абсолютно одинаково:

$$V = \sin\left(\frac{frame}{2_0} + 2\right) * random\left(\frac{frame}{1_s}\right) * 3.$$

Преимущество данной формулы также заключается в том, что аниматор может в любой момент с легкостью ускорить или замедлить движение, изменив в формуле последний множитель (чем он больше, тем движение активнее, чем меньше – тем медленнее).

После применения анимации по формуле к каждому из потенциальных субъектов анимации, тестируется схожесть воссозданного пространства и плоского оригинала. Для этого выводится секвенция из кадров (соответственно длительности анимационного видеоролика), ключевые кадры которой последовательно сопоставлены с их оригинальным изображением в редакторе двухмерной графики (аналогичный процесс был описан ранее для тестирования светотеневого решения).

Значительные несовпадения устраняются. Затем начинается заключительный этап: создается звуковое сопровождение и добавляются детали, полученные в результате дополнительной видеосъемки (полет птиц, пыль, дождь и т. п.).

Таким образом, итоговая сцена состоит из набора плоскостей, расположенных в пространстве с небольшим сдвигом по оси глубины (соответственно плановости оригинала). На каждую плоскость натяну-

ты текстуры объектов или групп объектов с использованием масок прозрачности. На все это множество плоскостей направлена ортографическая камера с пропорциями сторон, равными пропорциям изображения-оригинала. В сцене также присутствует рассеянный источник света для имитации отбрасываемых от движущихся объектов теней.

Технология, описанная выше, находится на стадии разработки и не может называться универсальным средством для решения проблем в сфере конвертации объектов в трехмерный формат, однако она успешно применялась на практике в различных проектах (например, с помощью аналогичной технологии выполнен другой музейный проект по картине Г.Г. Чернецова «Парад на Царицыном лугу» (заказчик – Государственный Русский музей) или проект в сотрудничестве с Государственным Дарвиновским музеем города Москвы – «Ожившие места Лосиногостовского острова») и позволяла удешевить и ускорить производственный процесс, являясь предпосылкой к формированию нового оптимального способа для конвертации реального или графического материала в трехмерный формат.

Большое разнообразие современных методов получения информации о трехмерной составляющей лишь в малой мере облегчает процесс конвертации двухмерной графики в трехмерную. Каждый проект имеет в своей основе индивидуальные задачи, цели, финансовые и иные ограничения, в соответствии с которыми необходимо корректно выбирать технологию или комплекс технологий конвертации. Задачи, которые решаются с помощью средств компьютерной графики, нередко требуют от разработчика совершенно новых способов их реше-



ния, что влечет за собой создание новых технологий.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что для конвертации реальных объектов умеренной сложности (например, объектов малых форм: архитектурных артефактов, предметов быта, скульптур и пр. с размерами до двух метров по всем измерениям) наиболее эффективно использовать технологии фотограмметрии в сочетании с технологиями бесконтактного сканирования. Доработать результат лучше всего с помощью технологий полигонального моделирования. Если объект достаточно большой по размеру (здания, крупные элементы архитектуры), приемлемо прибегать к помощи лазерного сканирования и технологий фотограмметрии. В случае если объект, который следует конвертировать, необходим для целей промышленности и производства (различного рода детали и фрагменты установок), лучшим способом получения трехмерной информации будет метод контактного сканирования в сочетании с параметрическим моделированием. Вариант, когда трехмерную составляющую необходимо получить из изначально плоских двухмерных объектов, предполагает сочетание нескольких методик конвертации: проецирование двухмерной графики на трехмерные или плоские объекты, полигональное моделирование и (если возможно) съемка стереовидео.

Технология, представленная на примере проекта-панорамы, сочетает в себе многие плюсы из традиционных технологий конвертации, не имея при этом их значительных минусов: она выгодна в финансовом плане (ее полностью в состоянии выполнить один квалифицированный инженер, используя доступную и недорогостоящую технику), сравнительно не затратна по времени (в зависимости от целей и задач конкретного проекта работа по конвертации может занимать от одного дня до месяца), позволяет работать с разнообразным исхо-

дным материалом (от полотен художников до фотографий и словесных концепций) и позволяет воплощать практически любой уровень детализации (зависит лишь от качества оригинального изображения или фотографии).

Используемые технологии послойной реконструкции двухмерного изображения в условиях трехмерной сцены и проецирования фрагментов оригинальной графической информации на полигональные плоскости являются новыми. Широкий опыт их применения еще не накоплен. Все проекты, выполненные на базе данной методики, – нетиповые, первые в своем роде, поэтому не существует какого-либо прототипа для их сравнения и анализа. Основным критерием оценки выполненных по данной технологии работ послужило экспертное мнение специалистов Государственного Русского музея в Санкт-Петербурге (для приведенного выше проекта и реконструкции картины Г.Г. Чернецова «Парад на Царицыном лугу») и Государственного Дарвиновского музея в Москве (для проекта «Ожившие картины Лосино острова»), где и выставлены медиапроекты. Таким образом, все полученные в ходе исследований результаты имеют практическую ценность для улучшения аналогичных проектов в будущем.

В заключение можно заметить, что создание новых технологий всегда происходит на базе уже существующих. Поэтому залогом достижения эффективного результата, который будет восприниматься наиболее корректным образом, становится успешный выбор и адаптация базовых технологий конвертации. Технология, описанная в данной статье, имеет хорошие перспективы, т. к. может успешно сочетаться с любым из обозначенных в работе методов конвертации двухмерной составляющей в трехмерную. Методику можно использовать и как базовую, и как аддитивную для создания проектов любого уровня сложности и качества.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Седов Е.А. Информационно-энтропийные свойства социальных систем // Заседание Междисциплинарного семинара по изучению цивили-

лизационных кризисов. 1993.

2. Марр Д.К. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработ-

ки зрительных образов. Москва: Радио и связь, 1987. 401 с.

3. **Майзель С.О.** Свет и зрение. Изд-во ГТТИ, 1932. 124 с.

4. CSD Центр быстрого прототипирования // Технология и перспективы 3D сканеров [электронный ресурс]/ URL: <http://print3d.ru/index.php/zakaz-prototipa/zakaz-skanirovaniya.html> (дата обращения: 28.06.2015).

5. **Красильников Н.Н.** Метод получения 3D-изображений, основанный на диффузном отражении света сканируемыми объектами // Информационно-управляющие системы. 2009. № 6. С. 7–11.

6. **Павленко А.В.** Разработка методики создания фотограмметрических моделей местности по аэрокосмическим снимкам: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2006.

7. **Лобов М.И., Переварюха А.Н., Чирва А.С.**

Применение наземной фотограмметрии и лазерного сканирования для исследования динамического состояния мачтовых сооружений // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства. 2010. № 3(83).

8. **Акимов Д.А.** Выделение полупрозрачных частиц переднего плана в видео на основе анализа резкости кадра // Сб. тезисов XX междунар. науч. конф. Ломоносов-2013. Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2013. 156 с.

9. **Красильников Н.Н.** Механизмы и погрешности восприятия 3D-пространства зрительной системой // Информационно-управляющие системы. 2014. № 6. С. 13–18.

10. **Синявский В.** История развития анимации. Обзор основных методов компьютерной анимации. Москва, 2011. 25 с.

#### REFERENCES

1. **Sedov Ye.A.** *Informatsionno-entropiynnye svoystva sotsialnykh sistem [Information and entropy properties of social systems]*, 1993. (rus)

2. **Marr D.K.** *Zreniye. Informatsionnyy podkhod k izucheniyu predstavleniya i obrabotki zritelnykh obrazov [Vision Information approach to the study of representation and processing of visual images]*. Moscow: Radio i svyaz Publ., 1987, 401 p. (rus)

3. **Mayzel S.O.** *Svet i zreniye [Light and vision]*. GTTI Publ., 1932, 124 p. (rus)

4. CSD *Tsentr bystrogo prototipirovaniya. Tekhnologiya i perspektivy 3d skanerov [Technology and prospects of 3D scanners]*. Available: <http://print3d.ru/index.php/zakaz-prototipa/zakaz-skanirovaniya.html> (Accessed: 28.06.2015). (rus)

5. **Krasilnikov N.N.** *Metod polucheniya 3D-izobrazheniy, osnovanny na diffuznom otrazhenii sveta skaniruyemyimi obyektami [A Method of 3D Scanning Based on Scanned Objects' Light Radiosity]*, *Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy [Information and Control Systems]*, 2009, No. 6, Pp. 7–11. (rus)

6. **Pavlenko A.V.** *Razrabotka metodiki sozdaniya fotogrammetricheskikh modeley mestnosti po aerokosmicheskim snimkam [Development of the method of creation of photogrammetric terrain models on aerospace images]*. Novosibirsk, 2006. (rus)

7. **Lobov M.I., Perevaryukha A.N., Chirva A.S.**

*Primeneniye nazemnoy fotogrammetrii i lazernogo skanirovaniya dlya issledovaniya dinamicheskogo sostoyaniya machtovykh sooruzheniy [The use of photogrammetry and terrestrial laser scanning for the study of the dynamic state of mast structures]*, *Vestnik Donbasskoy natsionalnoy akademii stroitelstva i arkhitektury. Tekhnologiya, organizatsiya, mekhanizatsiya i geodezicheskoye obespecheniye stroitelstva [Bulletin of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Technology, organization, mechanization and geodetic support of construction]*, 2010, No. 3(83). (rus)

8. **Akimov D.A.** *Vydeleniye poluprozrachnykh chastits perednego plana v video na osnove analiza rezkosti kadra [Isolation translucent particles foreground in the video based on the analysis of field frame]*. Moscow: MGU imeni M.V. Lomonosova Publ., 2013. 156 p. (rus)

9. **Krasilnikov N.N.** *Mekhanizmy i pogreshnosti vospriyatiya 3D-prostranstva zritelnoy sistemoy [Mechanisms and Inaccuracies of 3D Spatial Perception by Visual System]*, *Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy [Information and Control Systems]*, 2014, No. 6, Pp. 13–18. (rus)

10. **Sinyavskii V.** *Istoriya razvitiya animatsii. Obzor osnovnykh metodov kompyuternoy animatsii [The history of animation. Overview of the main methods of computer animation]*. Moscow, 2011, 25 p. (rus)

**АВТЮШЕНКО Алла Леонидовна** – инженер I категории, ассистент кафедры инженерной графики и дизайна Института металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

E-mail: allakadabralla@mail.ru



**AVTIUSHENKO Alla L.** *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*  
195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.  
E-mail: allakadabralla@mail.ru

**ИВАНОВ Владимир Михайлович** — *заведующий кафедрой инженерной графики и дизайна Института металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, доктор физико-математических наук.*

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.  
E-mail: ivm@imop.spbstu.ru

**IVANOV Vladimir M.** *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*  
195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.  
E-mail: ivm@imop.spbstu.ru