



## ЗАПИСЬ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КИНЕМАТОГРАФЕ И ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ

СЕДЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
(Москва, 23–25 апреля 2015 г.)  
МАТЕРИАЛЫ И ДОКЛАДЫ



УДК 778.534.1 (038)  
ББК 37.95  
3-32

Под общей редакцией к.т.н. *О.Н. Раева*

Фотографии на обложке *М.Г. Сарабьева*  
Фотографии на страницах 12–17, 22–24 *М.Г. Сапегина*

3-32 Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: VII Международная научно-практическая конференция, Москва, 23–25 апреля 2015 г.: Материалы и доклады. — М.: ВГИК, 2015. — 303 с.

ISBN 978-5-87149-180-5

В сборнике приведены доклады и выступления на VII Международной научно-практической конференции «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях», состоявшейся 23–25 апреля 2015 г. в г. Москве.

Для специалистов, занимающихся исследованиями, разработкой, внедрением и эксплуатацией техники и технологий объёмных киноизображений, а также для студентов вузов, аспирантов, инженеров, операторов и других специалистов.

УДК 778.534.1 (038)  
ББК 37.95

ISBN 978-5-87149-180-5

© Коллектив авторов, 2015  
© ВГИК, оформление, 2015

## Part II. CREATION OF 3D IMAGES

<b>Konovalov M.V.</b>	
The geometric basis for the formation of stereoscopic images in the project key animation phase of creating an animated film . . . . .	89
<b>Trubochkina N.K., Lihovtseva A.V.</b>	
Fractal 3D visualization technologies . . . . .	99
<b>Stefanovich S.I.</b>	
Volume graphics virtual compasses . . . . .	114
<b>Povarenkin G.V., Povarenkin V.G., Povarenkin M.V.</b>	
Recording stereo images one camera . . . . .	123
<b>Pavlov V.A., Bul M.P., Goryachev D.N., Polyanskaya V.V.</b>	
Especially the establishment of stereoscopic film «Crimea: a century ago» . . . . .	130
<b>Konovalov M.V., Korshunov A.A., Telnov S.I.</b>	
On practical experience with stereo claymation . . . . .	137

## Part III. TRANSFORMATION OF 3D IMAGES

<b>Raev O.N.</b>	
Rendering the depth of field in double-angle stereoscopic cinema . . . . .	147
<b>Chafanova V.G., Gazeeva I.V., Tihomirova G.V.</b>	
Formation of a stereopair with automatic correction of rotation of the images . . . . .	170
<b>Polyakov A.U., Makurin P.E., Aleshchenko A.S.</b>	
Stereo picture conversion for showing on autostereoscopic display . . . . .	182

## Part IV. THE PLAYBACK OF 3D IMAGES

<b>Chekalin D.G.</b>	
Modern technologies of presenting 3D images and the possibility of their application in cinema . . . . .	195
<b>Elkhov V.A., Kodratiev N.V., Ovechkis Y.N., Pautova L.V., Matveeva I.A., Shashkova V.T., Kotova A.V., Stankevich A.O., Zaichenko N.L.</b>	
The development of the technology of modified lens rasters for autostereoscopic display . . . . .	210

УДК 778.53

***Трубочкина Н.К.***

Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ

***Лиховцева А.В.***

Компании «AVRORA»

## **ТЕХНОЛОГИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ**

Описана методика получения трёхмерных фрактальных видео с использованием математики и информационных технологий. Рассмотрены различные технологии 3D-визуализации трёхмерных фракталов, как в статической, так и динамической форме. Описаны методы синтеза трёхмерных фрактальных видео, используемых для различных приложений.

В качестве примера получаемых по данной технологии 3D-фрактальных приложений описан стереофильм «Память о войне», посвящённый 70-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.

**Ключевые слова:** кино, стерео, 3D, фрактал, информационные технологии, видеоарт, фрактальный 3D-видеоарт.

***Trubochkina N.K., Lihovtseva A.V.***

## **FRACTAL 3D VISUALIZATION TECHNOLOGIES**

The article describes a method of producing three-dimensional videos using fractal mathematics and information technologies. Various 3D visualization technologies of three-dimensional fractals, both in static and dynamic form are considered. Methods of three-dimensional fractal video synthesis used for various applications are described.

An example produced under the 3D fractal application technology is the project «Memories of War» devoted to the 70th anniversary of the Victory in Great Patriotic War of 1941–1945.

**Key words:** movies, stereo, 3D, fractal, information technology, art video, 3D fractal art video.

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность 3D-визуализации во многих сферах нашей жизни очевидна. Это новое качество жизни, новые технологии, связанные с переходом от плоских изображений к реальности, максимально приближенной к трёхмерному миру, который мы постоянно видим, ощущаем и в котором живём.

Мир 3D-визуализации огромен: это и 3D-дизайн, и цифровой 3D-город, и 3D-игры и приложения, и научное и ситуационное 3D-моделирование, и 3D-реклама, кино и телевидение, 3D-интернет и пр.

Классическими методами 3D-визуализации в области компьютерной графики являются методы создания человеком компьютерных трёхмерных моделей объектов (*handmade*).

В данной работе описан новый концептуальный подход и технологии создания динамической 3D-визуализации объектов и миров, связанные с фрактальным (математическим, не рисованным) моделированием, с использованием информационных технологий и больших вычислительных мощностей. В этой технологии человек не рисует в обычном смысле слова, а создаёт с помощью специального программного обеспечения системы уравнений, просчитывая которые, компьютер визуализирует графические образы, которые математический художник либо отвергает, либо ищет образ дальше, корректируя системы уравнений, цвета и света, и параметры для последующей 3D-визуализации, как статической (графическое математической искусство), так и динамической (фрактальное видео) [3, 4].

## 1. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Областей применения 3D-визуализации много, а понятие «визуализация», и, особенно, «3D-визуализация» имеет несколько смыслов.

**«Ручное» моделирование объектов.** В большинстве случаев, это понятие связано с компьютерной графикой, где под 3D-визуализацией понимают рендеринг (англ. rendering — «визуализация») — процесс компьютерного формирования изображения 3D-объекта по каркасной модели.

На рис. 1 показан пример полигональной 3D-визуализации головы человека.

**Сканирование ландшафтов.** 3D-изображений ландшафтов со спутников и беспилотных летательных аппаратов с высоким

## СОЗДАНИЕ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

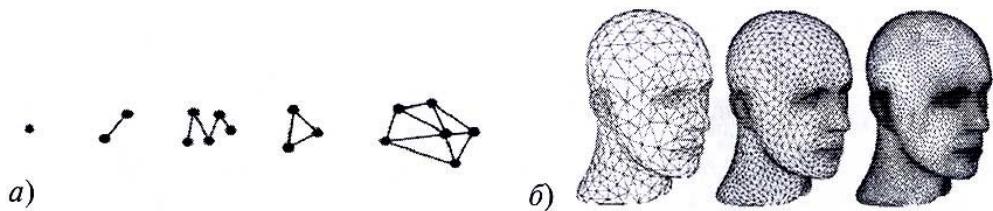


Рис. 1. Полигональная визуализация:  
а) элементы полигонального каркаса 3D-модели,  
б) варианты аппроксимации 3D-модели головы человека полигонами различных размеров

разрешением окажут положительное влияние на многие политические и социальные процессы и на принятие экологических законов.

**Игры и реклама.** Наблюдается впечатляющий рост и расширение интереса к технологии дополненной реальности (AR) и её применений.

**Инженерное моделирование.** 3D-визуализация активно используется в техническом проектировании (рис. 2).

**Цифровые города.** Цифровой 3D-город это новое переосмысление городов и городских мест за счёт использования и применения 3D-технологий (рис. 3). Мы называем их цифровыми или умными городами, потому что цифровые 3D-технологии

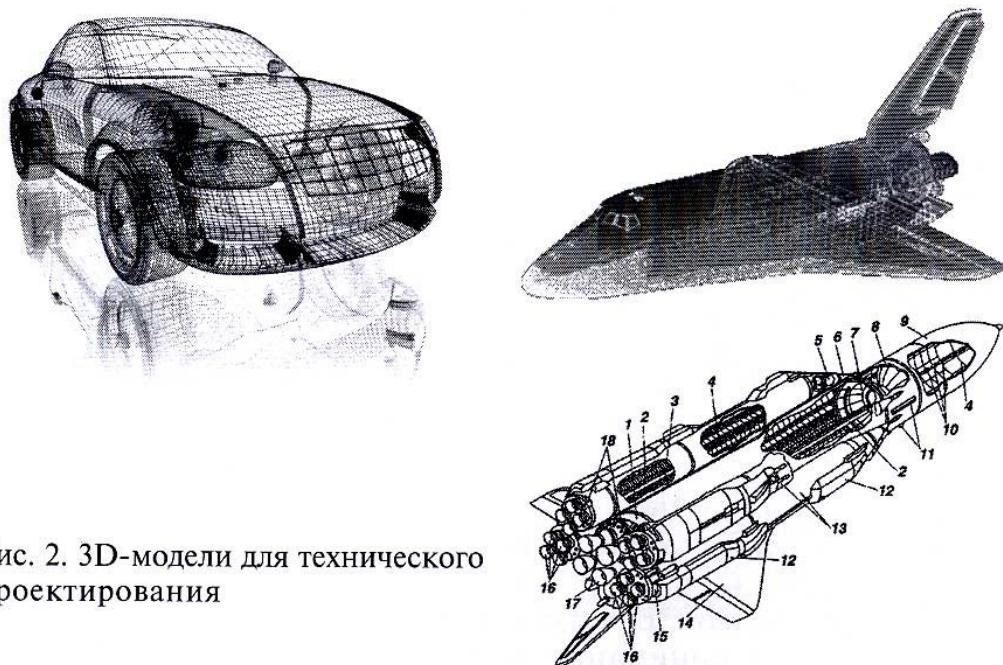


Рис. 2. 3D-модели для технического проектирования

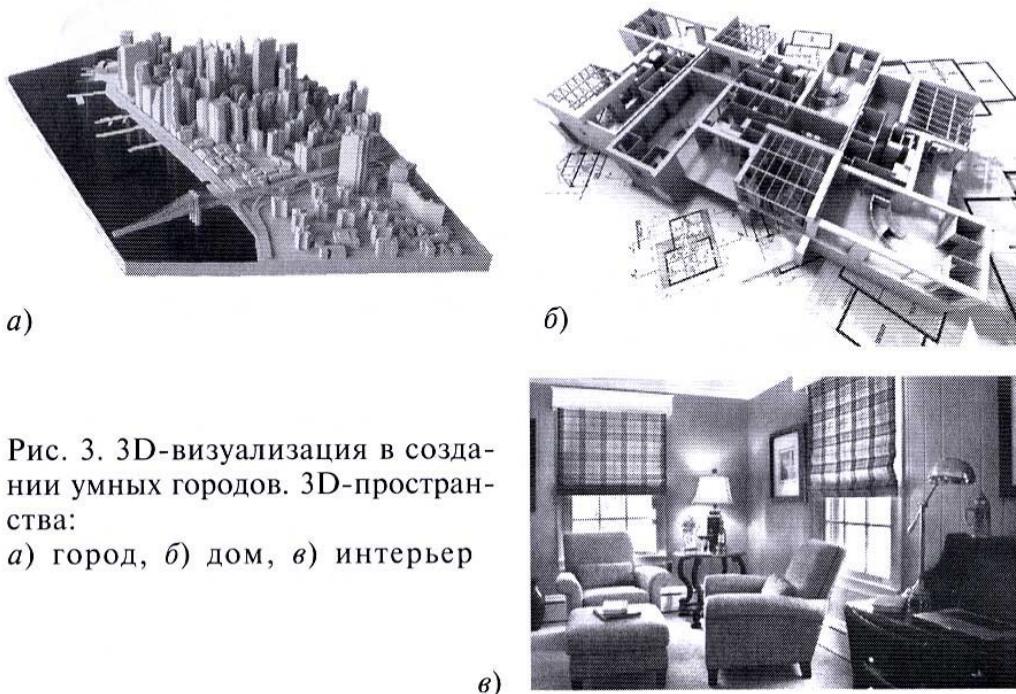


Рис. 3. 3D-визуализация в создании умных городов. 3D-пространства:  
а) город, б) дом, в) интерьер

поддерживают их качественное функционирование: планирование, анализ, моделирование и графическое представление.

**Научная 3D-визуализация.** Визуализация в научных информационных системах (НИС) — процесс проектирования и генерации изображений на устройствах отображения, преобразование цифровых данных в изображение на основе определённых правил и алгоритмов.

Визуализация в НИС (виртуальная 3D-реальность, 3D-центры) очень важна, очень часто она предвосхищает изобретения и открытия (рис. 4).

**Ситуационное 3D-моделирование.** Понимание промышленных процессов и рабочих процессов приводит к повышению производительности, совершенствованию управления затратами и большим количеством ресурсов. Многие попытки понять промышленные процессы сегодня направлены на узкие целевые показатели, например, повышение безопасности и качества выходных параметров. К сожалению, общий или более комплексный подход для понимания производственных процессов, в частности, с помощью инструментов визуализации пока не полностью доступен.

**Альтернативная 3D-визуализация (в мозгу человека).** Существует ещё одно понимание слова «визуализация». Оно связа-

## **СОЗДАНИЕ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

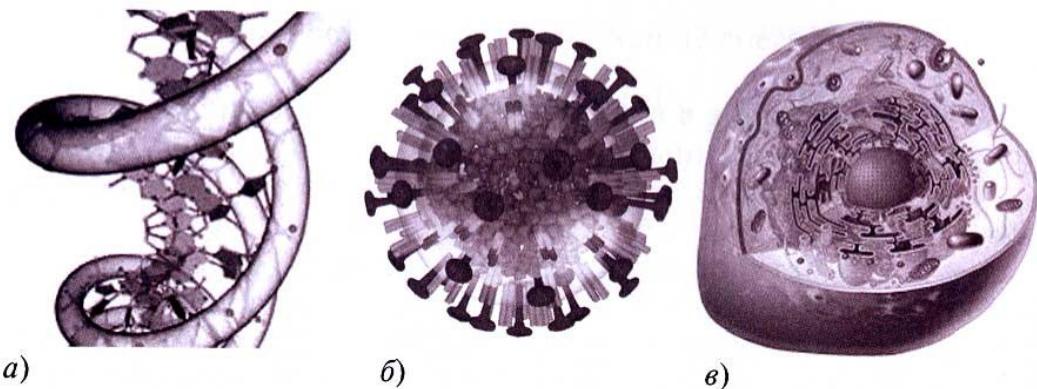


Рис. 4. 3D-модели в научных проектах:  
а) ДНК, б) вирус, в) клетка

но с созданием образов в мозгу человека. В этом значении слово «визуализация» употребляется:

- в психотерапии (методики визуализации — психотерапевтические приёмы, направленные на воссоздание и управление зрительными образами во внутреннем пространстве человека; механизмы визуализации рассматриваются в контексте теоретических моделей гипноза, трансперсональной психологии и др.);
- в эзотерических практиках, при медитации (человек создаёт умственный образ аспекта со всеми его атрибутами, даже если не возникает зрительных картин, человек знает о значении и внешнем виде атрибутов);



Рис. 5. 3D-модели из фильма «Аватар»

— язык образов (в искусстве, литературе, видеоарте, кино, шоу...).

**3D-визуализация в кино.** При создании видеоряда для кино используются различные технологические подходы:

— традиционный подход основан на получении материала, отснятого с реальных объектов;

— альтернативный подход связан с использованием компьютерных технологий в кино, особенно в западном фэнтези, где широко применяют компьютерную 3D-графику (фильмы «Гарри Поттер», «Аватар»...) (рис. 5). Хотя в основном 3D-графика в кино и является компьютерной, но она, по-прежнему, рисуется человеком.

## 2. НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ КИНО — 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Математическая основа данной концепции — оболочка Мандельброта (Mandelbulb), работающая с 3D-фракталами. Оболочка является трёхмерным аналогом множества Мандельброта, построенным Даниэлем Уайтом и Полом Ниландером с использованием сферических координат в 2009 году [5]. Канонического 3-мерного множества Мандельброта не существует, так как нет 3-мерного аналога в 2-мерном пространстве комплексных чисел. Можно построить наборы Мандельброта в 4-х измерениях с использованием кватернионов. Тем не менее этот набор не проявляется подробно на всех уровнях, как это делает набор Мандельброт 2D. Формула для  $n$ -й степени трёхмерного гиперкомплексного числа  $(x, y, z)$  имеет вид:

$$(x, y, z)^n = r^n (\cos(n\theta)\cos(n\phi), \sin(n\theta)\cos(n\phi), \sin(n\phi)), \quad (1)$$

где  $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ ;  $\phi = \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) = \arcsin\left(\frac{z}{r}\right)$ .

В результате итерационных расчётов  $z \rightarrow z^n + c$ , где  $z$  и  $c$  — трёхмерные гиперкомплексные числа, на которых операция возведения в натуральную степень выполняется так, как это указано в [6]. Для  $n > 3$  результатом является трёхмерный фрактал.

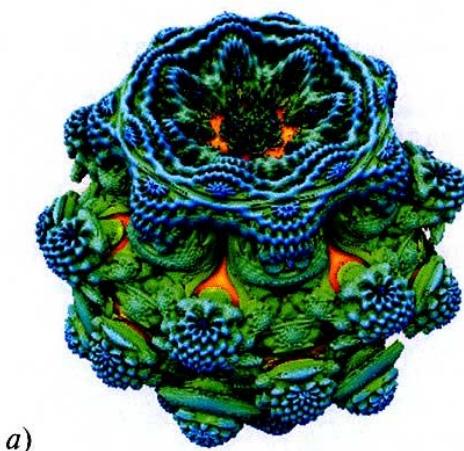
## СОЗДАНИЕ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

При  $n = 3$  формула (1) выглядит следующим образом:

$$(x, y, z)^3 = \left( \frac{(3z^2 - x^2 - y^2)x(x^2 - 3y^2)}{x^2 + y^2}, \right. \\ \left. \frac{(3z^2 - x^2 - y^2)y(3x^2 - y^2)}{x^2 + y^2}, z(z^2 - 3x^2 - 3y^2) \right).$$

Чаще всего используется восьмая степень (рис. 6). Максимальное число функций проекта в этой программе равно 6.

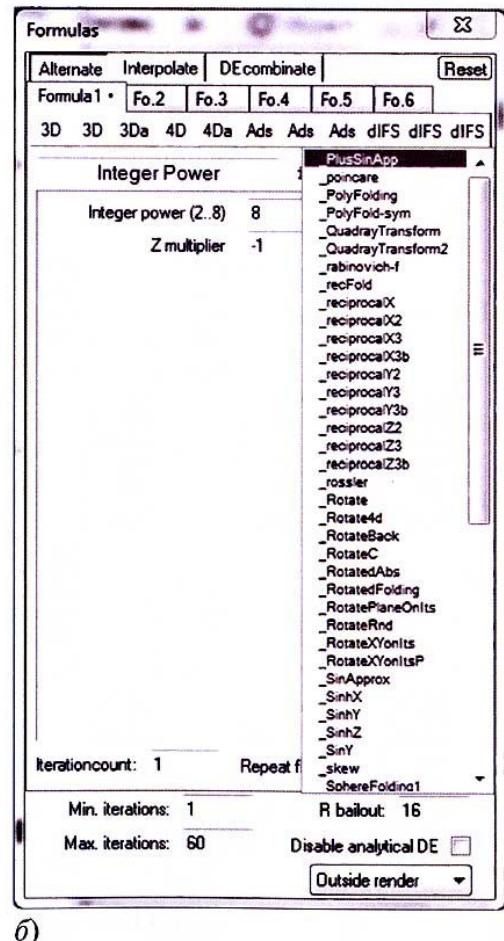
Фрактальные формулы (функции) в программе Mandelbulb 3D имеют имя. Например, 3D-оболочка Мандельброта имеет имя Integer Power (рис. 6, б), у каждой функции есть формы с изменяемыми параметрами.



a)

Рис. 6. Основа трёхмерного фрактального моделирования:

- а) изображение 3D-оболочки Мандельброта, полученное с помощью итерационной трассировки лучей  $z \rightarrow z^n + c$  в программе Mandelbulb 3D,
- б) окно включения фрактальных функций из наборов Formula1, Fo2, Fo3, Fo4, Fo5, Fo6 в систему проекта в программе Mandelbulb 3D



б)

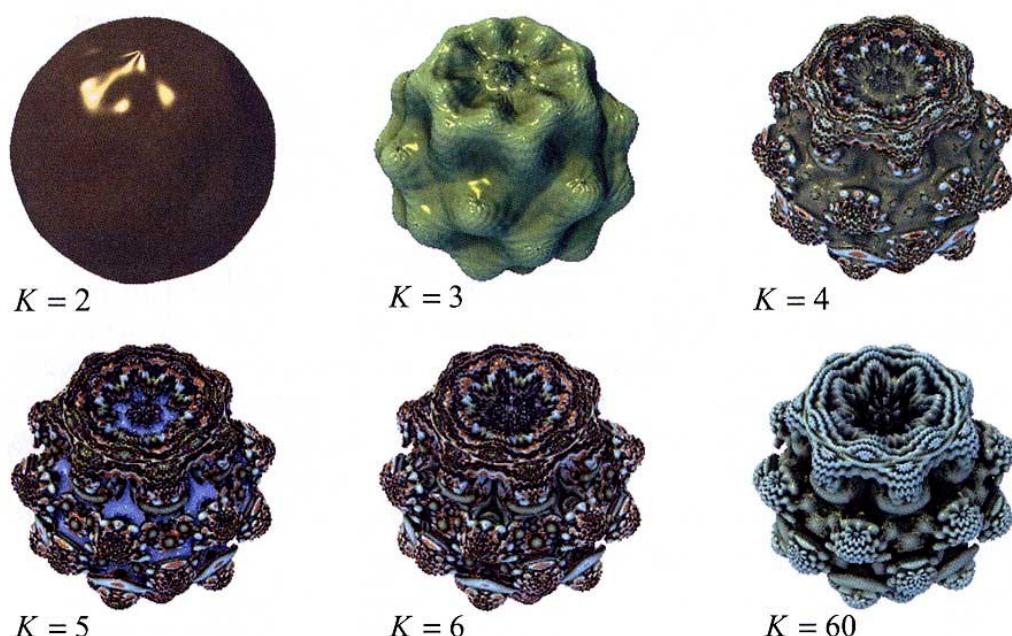


Рис. 7. Влияние количества расчётных итераций на вид фрактала

При расчёте на компьютере визуализируется сформированный проект с конкретными данными:

- системой выбранных функций;
- заданными системами параметров для каждой функции проекта;
- параметрами расчёта.

На рис. 7 хорошо видно, как количество итераций  $K$  при расчёте трёхмерного фрактала влияет на его форму.

Помимо математических формул фрактала существуют информационные параметрические формулы, понятные только конкретной программе, которые по существу являются файлами входных данных.

Любая такая формула является уникальной. Этую информационную параметрическую формулу можно считать паспортом фрактала, потому что в ней закодированы не только математические функции, но и их численные параметры, а также параметры расчёта, цвета, освещения, отражения и другие параметры, как в случае моделирования статических и динамических 3D-фракталов.

### **3. ТЕХНОЛОГИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ**

Рассмотрим создание фрактального 3D-видео или фрактального 3D-арт-объекта.

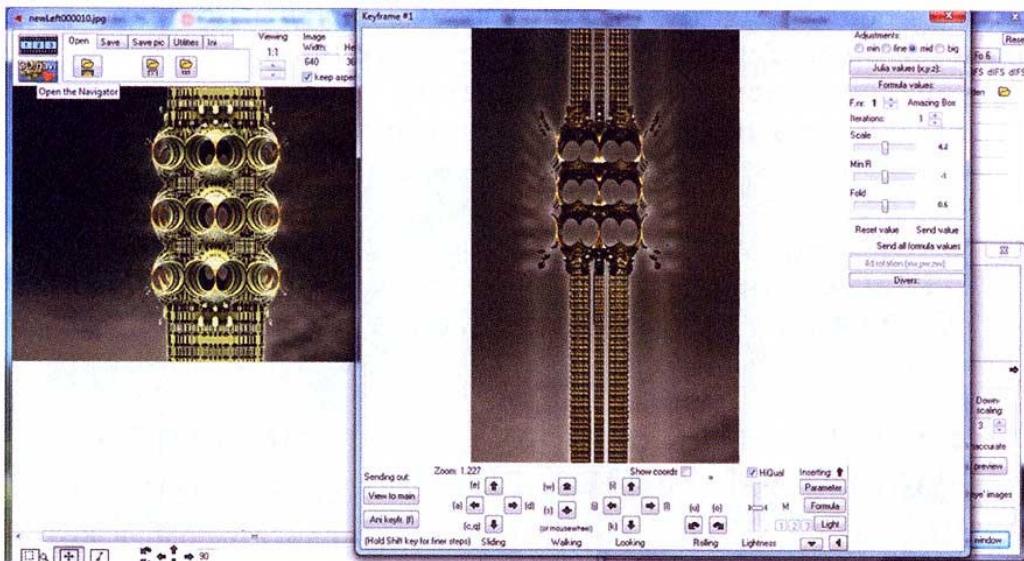


Рис. 8. Демонстрация технологии создания ключевых кадров расчёта фрактального видео

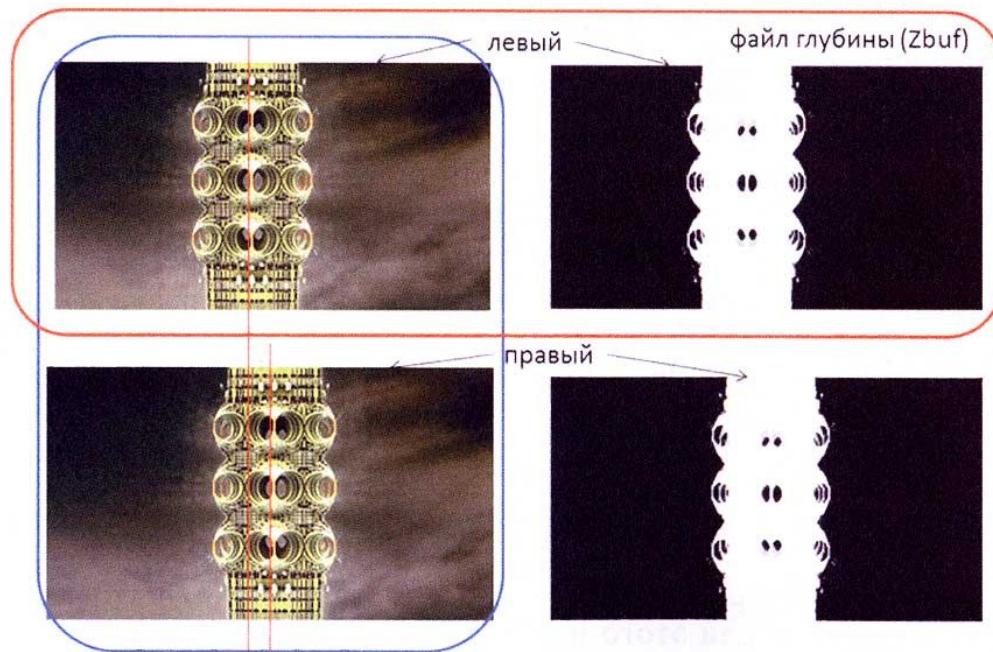


Рис. 9. Алгоритм создания фрактального 3D-видео в вариантах: левый + правый ракурс или ракурс + карта глубины

Технология создания фрактального 3D-видео состоит из следующих этапов:

- 1) разработка фрактала, графический образ которого поддерживает сюжетно-эмоциональную линию создаваемого видео или арт-объекта — 1-й ключевой кадр;
- 2) в соответствии с сюжетом и музыкальным сопровождением подбираются (рассчитываются) ключевые кадры (рис. 8) и устанавливаются на шкале времени;
- 3) задаются параметры видео: тип графических файлов, размер кадра, количество рассчитываемых кадров между ключевыми кадрами, параметры стерео;
- 4) по заданным параметрам рассчитываются кадры фрактального видео. В случае создания стереофильма рассчитываются изображения для левого и правого глаза и файлы глубины (Zbuf) (рис. 9).

#### **4. СОЗДАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ КАДРОВ РАСЧЁТНОГО ФРАКТАЛЬНОГО ВИДЕО. РАБОТА С НАВИГАТОРОМ**

На рис. 8 показан пример работы с навигатором, в котором, меняя параметры функций и следящей камеры, легко визуализировать изменение фрактала до нужного сюжетно-эмоционального образа.

Алгоритм создания фрактального 3D-видео заключается в следующем.

В универсальном расчёте (рендеринг) по заданной системе функций, набору ключевых кадров (фракталов) и системам параметров вместо одного кадра обычного фрактального видео рассчитываются 4 графических файла: изображения для левого и правого глаза и карты глубины, также для левого и правого глаза (см. рис. 9).

На карте глубины (Zbuf) яркостью отображается расстояние до точки в пространстве. Чем ближе точка, тем она светлее на карте глубины.

Алгоритм создания фрактального 3D-видео для просмотра заключается в следующем:

- используется пара изображений для левого и правого глаза;
- используется изображение, например, для левого глаза и карта глубины для этого изображения.

## **5. ПАРАМЕТРЫ РАСЧЁТОВ ФРАКТАЛЬНЫХ ВИДЕО ДЛЯ СТЕРЕОКИНО**

На рис. 10 показаны стереопары кадра фрактала для различных параметров 3D-показа.

Для 3D-просмотра на телевизоре и в кинозале результаты рендеринга должны быть различными, и это нужно предусмотреть в самом начале проекта, при определении его параметров.



Рис. 10. Визуализация стереопар для различных параметров 3D-показа:

- a)  $L_{\max} = 2 \text{ м}$ ,  $L_{\min} = 1,5 \text{ м}$   $B = 1 \text{ м}$ ,
- б)  $L_{\max} = 7 \text{ м}$ ,  $L_{\min} = 5 \text{ м}$   $B = 5 \text{ м}$ ,

где  $B$  — ширина экрана в метрах,  $L_{\max}$  — максимальное расстояние зрителя до экрана,  $L_{\min}$  — минимальное расстояние зрителя до экрана

## **6. ПРИМЕР МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ФРАКТАЛЬНОГО СТЕРЕОПРИЛОЖЕНИЯ — ФИЛЬМ «ПАМЯТЬ О ВОЙНЕ»**

В качестве примера 3D-визуализации фрактального видео приведём стереофильм «Память о войне», посвящённый 70-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. [2].

Фрактальный фильм создала Н.К. Трубочкина в 2015 г.

Для музыкального сопровождения выбрана Седьмая симфония «Ленинградская» Д.Д. Шостаковича.

Искусствоведом данного проекта выступила А.В. Лиховцева.

На рис. 11 представлены ключевые кадры фрактального стереофильма «Память о войне».

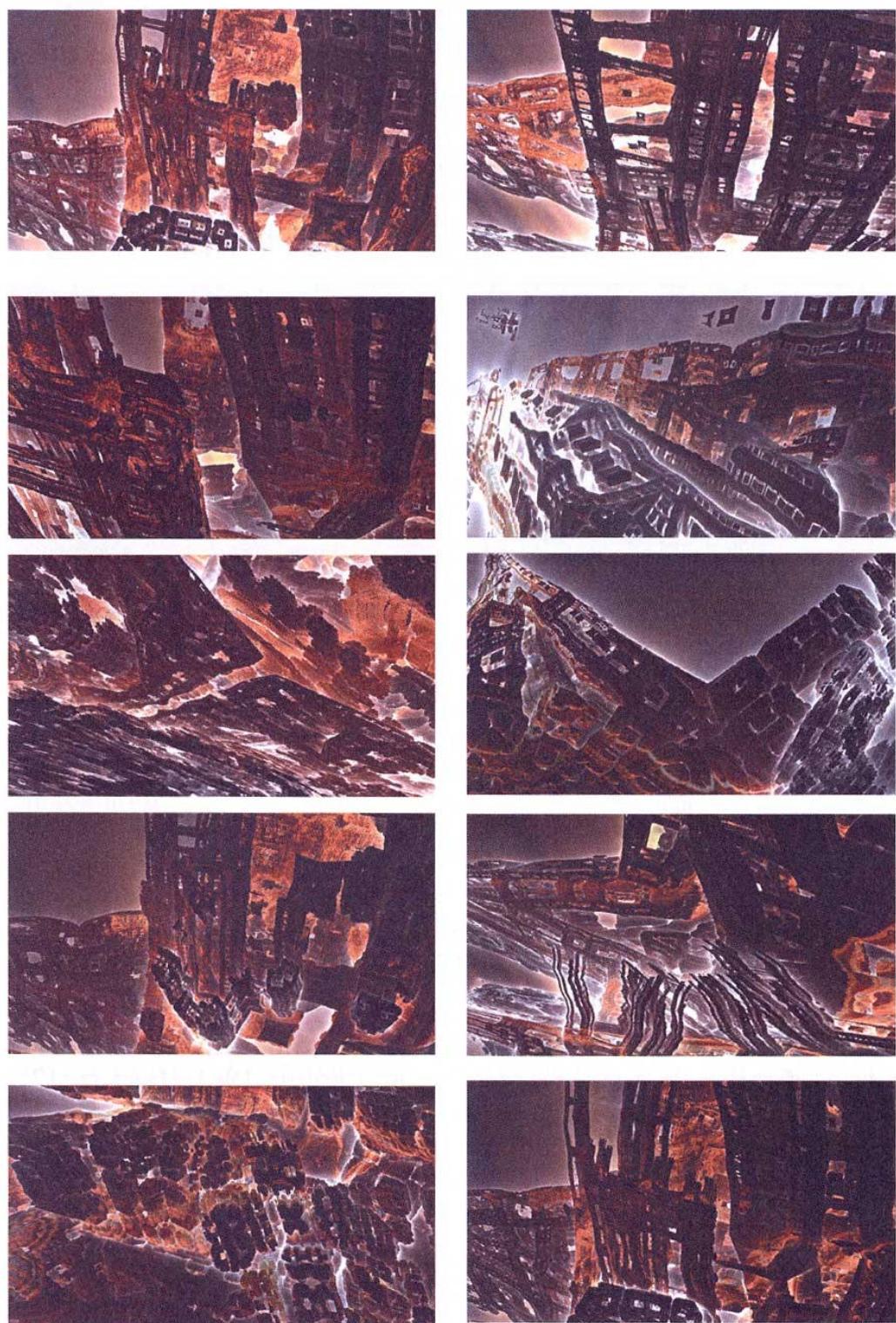


Рис. 11. Ключевые кадры одного из блоков фрактального стереофильма «Память о войне»

## ***СОЗДАНИЕ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ***

---

Стереофильм можно посмотреть на сайте:  
[https://www.youtube.com/watch?v=M9xBe\\_g91Vk](https://www.youtube.com/watch?v=M9xBe_g91Vk)

### **7. МНЕНИЕ ИСКУССТВОВЕДА**

Изначально создание произведения искусства ориентировано на пробуждение эмоции у зрителя. Эффект и интенсивность воздействия произведения, в частности видео, зависят и от остроты затронутой темы, и от того, насколько бескомпромиссно и провокационно оно подаётся.

Немаловажную роль играет художественная составляющая: зритель реагирует на форму, цвет или его отсутствие, остроту ракурсов, размер экрана, скорость смены кадра. Искусство вызывает эмоции и переживания, к которым мы хотим возвращаться снова и снова.

Произведение современного искусства всё чаще ориентировано на непосредственное вовлечение зрителя в созданную им среду. В этом случае многое зависит от формы подачи материала. Опыт создания подобных эффектов и методов воздействия на человека известен уже много веков — он широко применён в сакральном искусстве, отвечающем философским концепциям. Воздействие на человека осуществляется через все органы чувств: его погружают в специально созданное пространство, ему задаётся определённый алгоритм движения, предусматриваются освещение, запахи, музыкальное сопровождение.

Произведение искусства вне зависимости от жанра должно обладать качеством, неординарностью и виртуозностью подачи материала. Эти качества обеспечивают вневременную значимость и ценность произведения искусства. К сожалению, многие произведения современного искусства теряют ту или иную качественную составляющую. Современные художники, в своём большинстве, то увлекаются содержанием, забывая о качественном воплощении произведения, то погружаются в демонстрацию новых технологических возможностей, забывая о теме.

Видеоарт, признанный на сегодняшний день самостоятельной сферой творческих экспериментов, относится не только к сфере новейших течений в области искусства, но и к сфере новейших технологий искусства. Создание произведения искусства в области видео требует от автора не только специальных знаний в области компьютерных технологий, но и профессионального и виртуозного владения этими навыками, что позво-

ляет воплощать самые неординарные проекты. Произведения в жанре видео ориентированы на демонстрацию в музейных пространствах, галереях, на фестивалях и т. д.

Содержание в произведениях искусства этого жанра чаще всего передаётся зрителю в иносказательной форме. Для видеоарта не всегда приоритетны неожиданный видеоряд, экстремальный монтаж и спецэффекты — зачастую, большую роль играет концептуальность и значение метафоры. Со временем видеоарт стал основываться на мгновенном вызове сильных рефлекторных впечатлений у зрителя и поставил своей задачей вовлечение зрителя и его соучастие.

Жанр видеоарта включает очень разные направления. Исследователь видеоарта Д. Десятерик отметил, что «видеоарт должен стать лабораторией, источником самых невероятных визуальных разработок. Перспектива направления — в ужесточении профессиональных требований, осознании некинематографической природы видеоарта, полной экспроприации интимного пространства зрителя» [1].

Фрактальное видео — новый малораспространённый вид искусства ввиду сложности технического воплощения, который требует от автора совершенного знания компьютерных технологий, соответствующего программного обеспечения, владения техникой создания сложных и модифицированных фракталов.

Цель стереофильма «Память о войне» говорить с молодым поколением на современном художественном языке на темы, которые не теряют своей актуальности. Каждый кадр видеоряда представляет собой абстрактное изображение. Абстракция это всегда сенсуализм в чистом виде. В качестве экспликации к видео приводится вступительный текст о войнах и краткая справка о Великой Отечественной войне. Этот стереофильм — пример того, как языком абстракций, в иносказательной форме, можно проиллюстрировать события войны, дать ощущения и переживания её катастрофы. Автор поставил задачу вызвать яркие эмоции у зрителя, выстроить ассоциативные ряды в его сознании и через эмоциональную память вовлечь его в сопереживание. Стереофильм отличают ошеломляющий эффект глубины пространства, красота многообразия и сложности планов.

Принципиальное достоинство данного стереофильма в том, что, при использовании языка абстракции, тема фильма имеет последовательное сюжетное развитие.

Фантазийный диапазон фрактала практически безграничен. Фрактальное видео создаёт новые прикладные возможности в

## ***СОЗДАНИЕ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ***

---

области кинематографа. Фрактальное видео позволяет демонстрировать на киноэкране новые невероятные миры и оригинальные, креативные реальности.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предложена новая концепция динамической 3D-визуализации — использование фрактальных 3D-видео, получаемых с помощью математики и информационных технологий. Фрактальное 3D-видео предлагается в качестве арт-объектов в мультимедийном искусстве и графического видеоряда в современной киноиндустрии.

Разработана технология фрактальной динамической 3D-визуализации (создание фрактального 3D-видео или фрактального 3D-арт-объекта).

В качестве примера реализации новой концепции рассмотрен фрактальный стереофильм «Память о войне», посвящённый 70-летию Победы в Великой Отечественной войне. Стереофильм предназначен как для показа в галереях современного искусства, так и в стереозалах.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Десятерик Д. Видеоарт // Энциклопедия «Альтернативная культура». Екатеринбург: Ультра. Культура, 2005.
2. Проект «Память о войне»:  
[http://www.youtube.com/watch?v=M9xBe\\_g91Vk](http://www.youtube.com/watch?v=M9xBe_g91Vk)
3. Трубочкина Н.К. Новый промышленный дизайн и технологии, как результат математическо-компьютерных фрактальных исследований // Качество. Инновации. Образование. 2012. Т. 84. № 5. С. 76–82.
4. Трубочкина Н.К. Прекрасная фрактальная математика и ее приложения // XXI Международная студенческая школа-семинар «Новые информационные технологии». М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. С. 58–65.
5. <http://www.bugman123.com/Hypercomplex/index.html>
6. <http://www.skytopia.com/project/fractal/2mandelbulb.html>