

УДК 004.9

ББК 32.97

*Трубочкина Н.К., Ролич А.Ю.*

## **МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ФРАКТАЛЬНОГО СТЕРЕОКОНТЕНТА ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ШЛЕМОВ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

Трубочкина Надежда Константиновна, доктор технических наук,  
профессор

E-mail: ntrubochkina@hse.ru

Московский институт электроники и математики  
им. А.Н. Тихонова Национального исследовательского  
университета «Высшая школа экономики»

Ролич Алексей Юрьевич

E-mail: arolich@hse.ru

Московский институт электроники и математики  
им. А.Н. Тихонова Национального исследовательского  
университета «Высшая школа экономики»

В статье описаны эксперименты для определения системы оптимальных параметров синтеза фрактального и смешанного контента, соответствующего требованиям его комфортного просмотра в автономных шлемах виртуальной реальности.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, фрактал, фрактальный клип, фрактальный фильм, параметры комфортного просмотра.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Виртуальная реальность применяется во многих направлениях и отраслях — от развлечений, коммуникаций и образования до

дизайна, научных исследований и обороны. Многие компании используют иммерсивные технологии для отладки инженерных процессов. В 1990-х годах британские компании «Виртуальность» и «Дивизион» поставляли «под ключ» иммерсивные системы «под ключ» для самых разных отраслей промышленности. В [2] описано несколько примеров двух «традиционных» инженерных применений виртуальной реальности: анализ дизайна и обучение управлением транспортными средствами.

В последнее время высокопроизводительные настольные компьютеры, способные воспроизводить графику в реальном времени со скоростью, необходимой для обеспечения малой задержки в иммерсивной системе, позволили расширить области применения технологий виртуальной реальности. Данную технологию стало возможным применять при создании VR-фильмов [5], квестов, клипов и презентационных видео. Кроме того, появились новые технологии создания изображений, в частности создание графического контента с помощью математики — фрактальная графика и видео.

Цель данного исследования — определение оптимальных параметров синтеза фрактального и смешанного контента для комфортного просмотра в автономных шлемах виртуальной реальности.

## ОБЗОР И АНАЛИЗ АНАЛОГОВ

Анализ проводился по техническим средствам и технологиям создания графического контента для шлемов виртуальной реальности.

Описание шлемов виртуальной реальности представлено в таблице 1.

При рассмотрении технологий создания графического контента можно выделить три типа контента:

- реальный (отснятый на камеру);
- цифровой (созданный вручную на компьютере);
- цифровой математический (вычисленный по функциям).

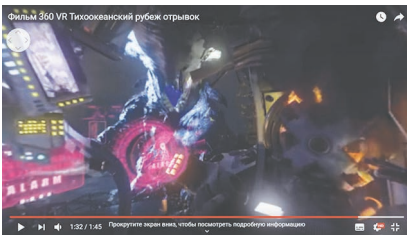
Примерами реального контента для шлемов виртуальной реальности могут быть: фильм «Тихоокеанский рубеж» (рис. 1, *a*) [8] и цифровой контент, созданный вручную на компьютере, — фильм «The Old Man of The Arctic» в формате VR 360 Animated Short команды Tvorì (рис. 1, *б*) [7].

**Обзор шлемов виртуальной реальности**

<b>Шлем</b>	<b>Система</b>	<b>Минимальные требования</b>	<b>Цена</b>	<b>Материал</b>
Google cardboard	Смартфон	Android 4.1/IOS 8.0	500 руб.	Картон
Google Daydream View	Смартфон	OLED-экран 1080p с частотой обновления 60 Гц. Android 7.0	6500 руб.	Ткань и набивочный материал
Samsung Gear VR	Смартфон	Galaxy: S6, S6 Edge, S6 Edge +, Note 5, S7, S7 Edge, S8, S8 + и Note 8. Android 5.0 Lollipop или выше	7500 руб.	Пластик
Oculus Rift	ПК	Intel Core i3-6100 или AMD Ryzen 3 1200 или AMD FX 4350. NVIDIA GTX 960 или AMD Radeon R9 290. ОЗУ 8 Гб. Windows 7. HDMI 1.3. miniDisplayPort	От 40000 руб. Есть различные аксессуары и комплектации	Матовый пластик
HTC Vive	ПК	Intel Core i5-4590 или AMD FX 8350 NVIDIA GTX 970 или AMD Radeon R9 290. ОЗУ: 4 Гб. Windows 7. Mac: Radeon Pro 560 с 4 Гб VRAM. Адаптер Thunderbolt 3. NVIDIA GTX 970 или AMD Radeon R9 290	От 45000 руб. Есть различные аксессуары и комплектации	Матовый пластик
HTC Vive Pro	ПК	Vive Starter Kit, который включает базовые станции и контроллеры. Intel Core i5-4590 или AMD FX 8350. NVIDIA GeForce GTX 1060. 4 Гб ОЗУ. Windows 8.1	HTC VIVE Pro KIT от 110000 руб. Включает в себя Vive Starter kit	Матовый пластик
Sony PlayStation VR	Консоль	Play Station 4	От 19000 руб.	Матовый пластик и светодиодные вставки
Oculus Go	Автономность	Собственные характеристики: Android1. Qualcomm Snapdragon 821. Adreno 530. 3 Гб оперативной памяти. Литий-ионная батарея 3,7 В, 3600 мАч, 1,5–2,5 часа работы	От 20000 руб.	Матовый пластик
HTC Vive Focus	Автономность	Собственные характеристики Qualcomm Snapdragon 835. Adreno 540 Wi-Fi 802.11a/b/g/n/ac и Bluetooth, разъем 3,5 мм для подключения наушников и USB-C для зарядки и передачи данных. 3 часа автономной работы. Слот microSD	От 25000 руб.	Матовый пластик

Продолжение таблицы 1

Шлем	Тип дис- плея	Разреше- ние	Особенности и технологии	Контроллер
Google cardboard				Есть кнопка из магнита
Google Daydream View				Контактный пульт
Samsung Gear VR				Сенсорная панель с кнопками. Контроллер
Oculus Rift	OLED	1080×1200	PenTile	Контроллеры: 2 кнопки, аналоговый стик, сенсорная панель, триггер и кнопка захвата. Поддерживает контроллер Xbox One и другие
HTC Vive	OLED	1080×1200	PenTile	Контроллеры аналогичны Ocolus rift, однако трекпад, вместо джойстиков
HTC Vive Pro	AMOLED	1440×1600	Улучшенный баланс и система рельефа	Контроллеры аналогичны Ocolus rift, однако трекпад, вместо джойстиков
Sony PlayStation VR	Full HD OLED	1920×1080	Увеличенное число подпикселей. 3 вместо 2, благодаря чему выше чёткость. Отдельный процессорный модуль	Несколько контроллеров в том числе контроллер PS4
Oculus Go	WQHD	2560×1440	Частота 72 Гц. Использование неравномерного рендеринга. Нет пространственного отслеживания	Контроллер с трекпадом, кнопкой запуска и кнопкой возврата
HTC Vive Focus	AMOLED	2880×1600	Частота 72 Гц. Есть система датчиков для отслеживания положения и пространства	Контроллер с сенсорной панелью, триггером, трекпадом и кнопкой



а)



б)

Рис. 1. Примеры контента: а — фильм 360 VR «Тихоокеанский рубеж», б — фильм 360 VR Animated Short Time «The Old Man of The Arctic»

<b>Шлем</b>	<b>Аксессуары</b>	<b>Вес</b>	<b>Автономность</b>	<b>Приложения</b>	<b>Год выпуска</b>
Google cardboard		100 г	Автономен	Play market	2014
Google Daydream View		261 г	Автономен	Play market	2016
Samsung Gear VR		318 г	Автономен	Доступ в магазин Oculus	2014
Oculus Rift	Обширный набор аксессуаров	470 г		Не все игры из Steam VR совместимы с Oculus Rift	2012
HTC Vive	Набор аксессуаров больше, чем у Oculus Rift	520 г		Поддержка SteamVR	2016
HTC Vive Pro	Набор аксессуаров больше, чем у Oculus Rift	520 г		Поддержка SteamVR	2018
Sony PlayStation VR	Присутствует набор аксессуаров	610 г		Игры PS4	2016
Oculus Go	Набор аксессуаров, больший чем у Oculus	470 г	Автономен	Доступ в магазин Oculus	2018
HTC Vive Focus	Набор аксессуаров HTC	510 г	Автономен	Доступ в магазин Oculus	2018

## **ФРАКТАЛЬНЫЙ КОНТЕНТ ДЛЯ ШЛЕМОВ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

Помимо реального и классического цифрового контента для шлемов виртуальной реальности существует три типа фрактального (математического) контента:

- 2D-изображение фрактала;
- 2D-изображение фрактала в формате 360 (2D 360);
- 3D-изображение фрактала.

Для каждого типа фрактального контента были проведены эксперименты для статики (изображение) и динамики (видео), определены параметры комфортного просмотра в автономном шлеме виртуальной реальности и даны рекомендации будущим создателям фрактальных VR-фильмов, игр и клипов.

Рассмотрим проведённые эксперименты.

### **ЭКСПЕРИМЕНТ 1. 2D-ИЗОБРАЖЕНИЕ ФРАКТАЛА РАЗМЕРОМ 2К**

Первый эксперимент основан на просмотре статического фрактала объёмом 2К. Фрактал, вычисленный с помощью програм-

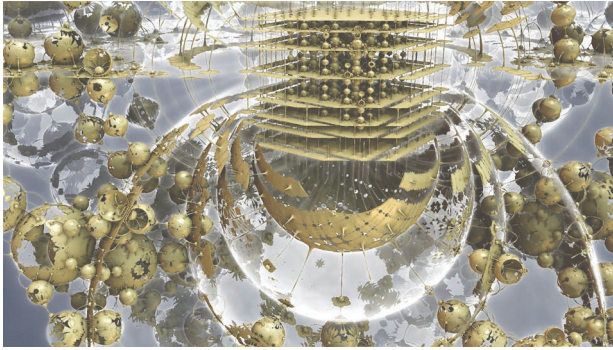


Рис. 2. Фрактал «Машина времени» — один из кадров фрактального видео для шлемов виртуальной реальности

мы Mandelbulb3D, трёхмерен, хотя его обычное изображение двумерно. Размеры изображения и точность ограничиваются только вычислительными возможностями компьютера или суперкомпьютера. На рис. 2 изображен фрактал, названный «Машина времени», на основе которого было рассчитано фрактальное видео с размером кадра  $2048 \times 1160$  пикселей.

При просмотре в автономном шлеме виртуальной реальности статики и особенно динамики (видео) отмечалась некомфортность просмотра от наличия пикселизации (облаков цветных пикселей) на некоторых границах объектов.

## ЭКСПЕРИМЕНТ 2. ПРОСМОТР СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ФРАКТАЛОВ В ФОРМАТЕ 2D 360

**Эксперимент 2-1. Фрактал «Серая планета». Формат 2D 360. Размер изображения  $2048 \times 1160$  пикселей.**

Для усиления стереоэффекта, панорамного видения, присутствия внутри сферы, на которую «натянута» изображение фрактала в формате 2D 360, был рассчитан фрактал «Серая планета» в формате 2D 360 с разрешением 2K (рис. 3, а).

При расчёте был применен алгоритм затуманивания объектов тем сильнее, чем дальше они находятся. Он применялся при расчёте статики (одного изображения) (рис. 3, а) и динамики (видео) (рис. 3, б). Размер изображения одного кадра составлял  $2048 \times 1160$  пикселей.

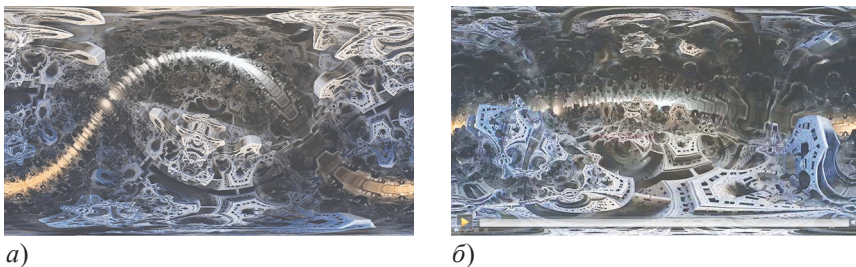


Рис. 3. Фрактал «Серая планета», формат 2D 360: *а* — статическое изображение, *б* — кадр из фильма

Но, несмотря на «замазывание» глубины артефактных пикселей на границах некоторых объектов, качество изображения было неудовлетворительным из-за особенностей формата. Перед глазами в шлеме виртуальной реальности были части изображения с ухудшенным качеством, так как исходное изображение при «натягивании» на сферу увеличивалось по ширине в 3,14 раза.

Для устранения этого недостатка в формате 2D 360 проведён эксперимент с увеличенным размером кадра.

**Эксперимент 2-2. Фрактал «Планета каменных деревьев».**  
**Формат 2D 360. Ширина кадра 5300×4096 пикселей.**

Для этого эксперимента на основании фрактала «Планета каменных деревьев» в формате 2D 360 была рассчитана последовательность кадров для мультимедийного клипа с фрактальным динамическим видеорядом для шлемов виртуальной реальности (рис. 4).

Просмотр данного клипа в шлеме виртуальной реальности был относительно комфортным, что позволяет сделать вывод, что



Рис. 4. Мультимедийный клип с фрактальным динамическим видеорядом для шлемов виртуальной реальности

при создании фрактального статического и динамического контента для VR-игр, фильмов и клипов в формате 2D 360 размер кадра должен быть не менее 4K.

**Эксперимент 2-3. Формат 2D 360. Влияние цвета и текстуры на восприятие.**

Цвет и текстура оказались сильными факторами, влияющими на ощущения от VR-просмотра. Если влияние цвета многократно обсуждалось специалистами [1, 3, 6, 9], то влияние текстуры 3D-фрактала на восприятие при VR-просмотре ранее не отмечалось.

Программирование цветом восприятия изображений применял, например, Уолт Дисней. На рис. 5 изображена схема цветовой раскраски созданных им героев. Фиолетовый цвет у Диснея ассоциируется с властью, благородством, роскошью и амбициями. Синий был, как правило, героическим цветом и определял такие

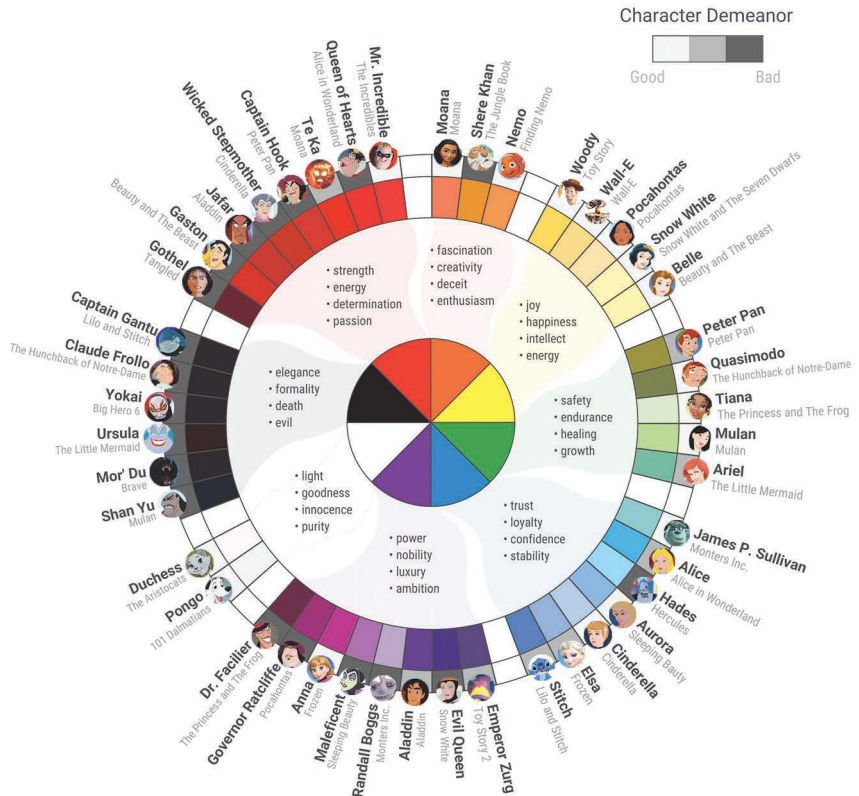


Рис. 5. Схема цветовой раскраски героев Уолта Диснея [7]



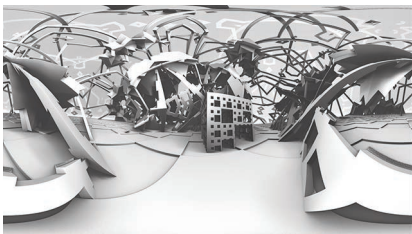
черты, как доверие, лояльность, уверенность и стабильность. Красный — цвет и героев, и злодеев, а также цвет гнева. У нас это цвет любви и революций. Зелёный цвет у Диснея ассоциируется с безопасностью и природой.

В проведённом эксперименте с изменением цвета и текстур в качестве исходного объекта был взят полуабстрактный фрактал «Сколково», представленный тремя способами:

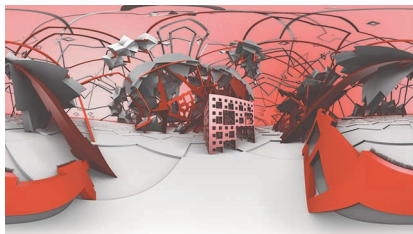
- чёрно-белая графика — оттенки серого (рис. 6, *а*);
- цветная графика (градиенты) (рис. 6, *б*);
- фрактал, «обтянутый» текстурой (рис. 6, *в*).

Если изменение цвета в эксперименте меняло эмоцию, то изменение текстуры изменяло смысл изображения. Так, «Стройка города» превратилась в театральную декорацию с большим количеством ниш и проёмов (рис. 6, *в*), что особенно проявлялось в динамике при просмотре видео, созданных в формате 2D 360 на базе этих трёх вариантов. Существенным требованием к текстуре является её соразмерность с вычисляемым фрактальным кадром, т. е. если считается фрактал 4К, то и файл текстуры должен быть размером 4К, иначе более низкое разрешение текстуры будет «портить» фрактальное изображение.

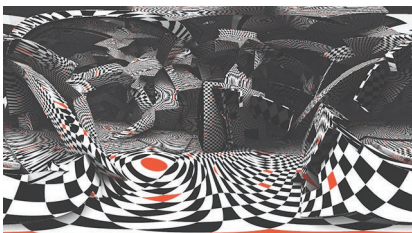
Следующая серия экспериментов была посвящена фрактальному стереоконтенту для просмотров в шлемах виртуальной реальности.



*а*)



*б*)



*в*)

Рис. 6. Фрактал «Сколково»:

- а* — чёрно-белая графика — оттенки серого;
- б* — цветная графика (градиенты);
- в* — фрактал, «обтянутый» текстурой

### ЭКСПЕРИМЕНТ 3. ПРОСМОТР СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ФРАКТАЛОВ В ФОРМАТЕ 3D 360

Предыдущие эксперименты показали: чтобы просмотр фрактального статического и динамического контента в шлемах виртуальной реальности был комфортным, есть несколько требований к его созданию. Эти требования включают для динамики: высокую частоту кадров, высокую частоту обновления экрана, высокое разрешение кадров, высокую плотность заполнения пикселей, малую временную задержку в шлеме виртуальной реальности, уменьшающую размытость изображения в поле зрения человека (рис. 7).

Поле зрения [4], или степень наблюдаемой среды, в любой момент времени является одним из наиболее важных аспектов виртуальной реальности. Чем шире поле зрения, тем больше у зрителя формируется чувство присутствия. Есть два типа полей зрения, которые работают вместе, чтобы сформировать человеческое зрение: монокулярное (одним глазом) и бинокулярное (двумя глазами).

Для одного глаза горизонтальное монокулярное поле зрения составляет  $170\text{--}175^\circ$ , отсчёт угла идёт от носа. Бинокулярное поле зрения — это комбинация двух монокулярных полей зрения (рис. 7). В сочетании они дают видимую область  $200\text{--}220^\circ$ . Там, где два монокулярных поля зрения перекрываются, возникает стереоскопическое бинокулярное поле зрения, около  $114^\circ$ , где может проявиться стереоскопическое видение (на рис. 7 сектор голубого цвета).

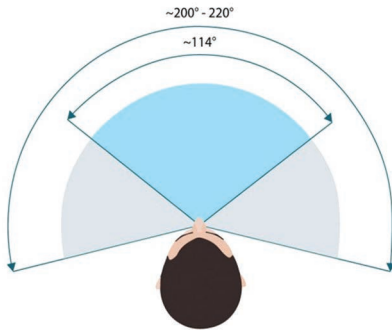


Рис. 7. FOV-поле зрения человека (Field of View)

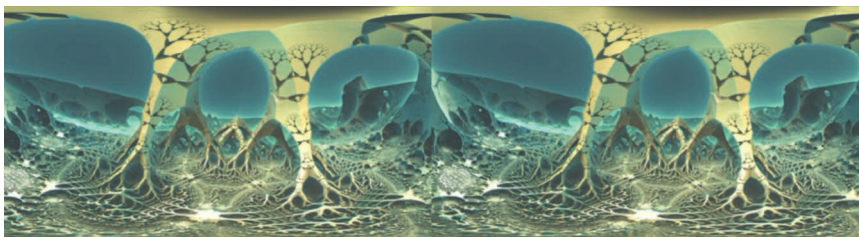
Стереозэффект формируется при наличии параллакса в изображениях объектов в левом и правом кадрах. Манипулируя параллаксами при вычислении фрактальных последовательностей для видео, предназначенных для просмотра в шлемах виртуальной реальности, можно найти систему оптимальных параметров их расчёта, обеспечивающих комфортный просмотр изображений зрителями.

## СОЗДАНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО КОНТЕНТА В ФОРМАТАХ 3D И 3D 360

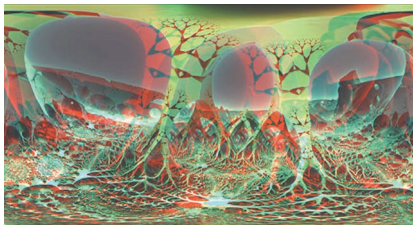
На рис. 8 показаны материалы эксперимента по созданию фрактального контента в формате 3D для просмотров в шлемах виртуальной реальности.

Ограничивающим фактором являются линзы шлема. В результате проведённых экспериментов было выявлено, что для получения большего поля зрения и обеспечения комфортного просмотра:

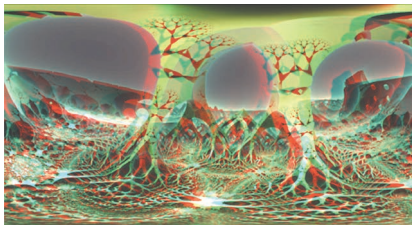
- параллаксы не должны превышать 1–2% от ширины экрана;
- угол поля зрения линз шлемов виртуальной реальности должен быть не меньше величины угла бинокулярного поля зрения человека.



а)



б)



в)

Рис. 8. Материалы эксперимента по созданию фрактального стереоконтента для просмотров в шлемах виртуальной реальности: *а* — стереопара кадра фильма, *б* — режим анаглифа (для оценки параллакс) с большим параллаксом, *в* — режим анаглифа со средним параллаксом

## ПРОБЛЕМА БЫСТРОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОГО КОНТЕНТА — ПИКСЕЛИЗАЦИЯ

На рис. 9 показаны результаты «быстрого» и «медленного» расчёта одного и того же кадра динамического фрактального контента с разрешением 2К для фильма, предназначенного для про-

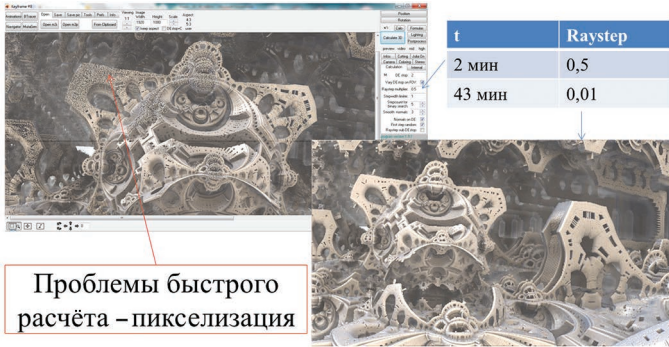


Рис. 9. Зависимость времени расчёта одного кадра от величины Raustep смотря в шлемах виртуальной реальности. Видно, что при точности вычисления  $Raustep = 0,5$  время расчёта одного кадра видео составляет 2 минуты на компьютере с видеокартой в 1 Гб памяти. В результате получается изображение, «зашлакованное артефактами» — пикселями, которые в некоторых местах не формируют «плотные» объекты.

Решением проблемы пикселизации является увеличение точности вычислений. При уменьшении шага моделирования фрактала в 50 раз ( $Raustep = 0,01$ ) расчётное время одного кадра увеличивается до 43 минут, т. е. возрастает в 21,5 раз. Если в минуте видео для комфортного VR-просмотра 60 кадров, то одна минута фрактального VR-фильма вычисляется за 43 часа. Для расчёта стереофильма времени потребуется в два раза больше (рассчитывается отдельно кадр для левого и правого глаза). При увеличении размера кадра время расчёта также будет возрастать. В таблице 2 приведены значения длительности расчёта одного кадра фрактала «Серая планета» для кадров размером 2К, 4К и 8К. В таблице 3 приведено время расчёта одной минуты фрактального фильма для просмотра в шлемах виртуальной реальности для различных размеров кадра: 2К, 4К и 8К.

Таблица 2

**Зависимость времени расчёта одного кадра фрактала «Серая Планета» от его размера при  $Raustep = 0,01$  (высокая точность моделирования)**

Размер кадра	2К	4К	8К
Время расчёта 1 кадра	43 минуты	3 часа 40 минут	16 часов

Таблица 3

**Время расчёта одной минуты фрактального VR-фильма «Серая Планета» в зависимости от размера кадра при Raustep = 0,01 (высокая точность моделирования)**

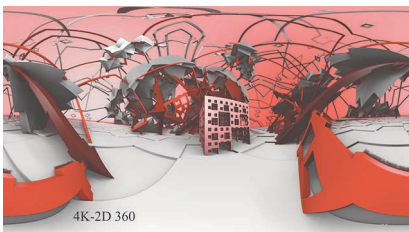
Размер кадра	2К	4К	8К
Время расчёта 1 минуты фрактального VR-фильма	43 часа (1,79 суток)	220 часов (9,17 суток)	960 часов (40 суток)

Очевидно, что вычисление фрактальных VR-фильмов хорошего качества требует значительных вычислительных возможностей.

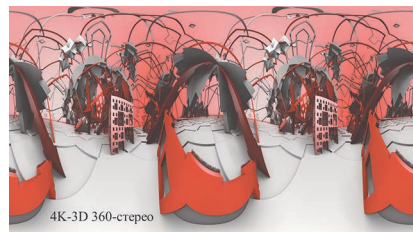
**ПРИМЕР 4К И РЕКОМЕНДАЦИИ РАЗРАБОТЧИКУ ФРАКТАЛЬНОГО VR-КОНТЕНТА**

На основании результатов проведенных экспериментов были сформулированы требования к фрактальному статическому и динамическому контенту, комфортно воспринимаемому зрителями. На рис. 10 представлен фрактальный контент трёх типов, разработанный с учётом этих требований:

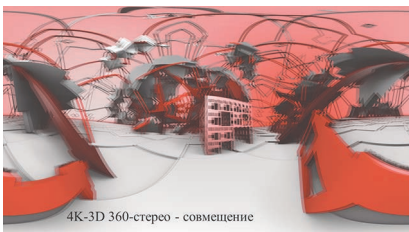
1. Формат 2D, кадр фрактального видео размером 4К, Raustep = 0,01. Раскраска — цвет, градиенты (рис. 10, а).
2. Формат 2D 360, кадр фрактального видео размером 4–8К, Raustep = 0,01. Раскраска — цвет, градиенты (рис. 10, б).



а)



б)



в)

Рис. 10. Примеры фрактального контента для комфортного просмотра в шлемах виртуальной реальности: а — формат 2D; б — формат 2D 360; в — формат 3D 360, параллакс 1–2%

3. Формат 3D 360, кадр фрактального видео размером 4–8К, Raystep = 0,01. Раскраска — цвет, градиенты (рис. 10, в), параллакс 1–2%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приведены результаты экспериментов по определению требований к фрактальному контенту, выполнение которых обеспечивает комфортное восприятие изображений в шлемах виртуальной реальности.

Для улучшения качества фрактального изображения кадра (устранения пикселизации) необходимо:

— уменьшение величины шага Raystep моделирования фрактала до 0,01;

— увеличение размера кадра динамического фрактального VR-контента до 4–8К;

— согласование размеров текстуры и кадра фрактала.

Для устранения «биений» в динамике рекомендуется уменьшить покadresные изменения фрактальных изображений в последовательности кадров видео, т. е. увеличивать количество кадров в секунду до 60 или до 120.

При формате 3D 360 для обеспечения комфортного просмотра необходимо уменьшить величину максимального параллакса до 1–2% от ширины кадра.

Для создания фрактального статического и динамического контента для VR (от 4К выше) требуются большие вычислительные мощности, т. е. нужен суперкомпьютер.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гавричкова Е.С. Влияние цвета на восприятие человека // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Социально-экономические и гуманитарные науки. 2012. С. 300–301.

2. Brooks Jr. The Design of design: Essays from a computer scientist. New York: Addison-Wesley, 2010. 400 p.

3. Ciotti G. The Psychology of Color in Marketing and Branding. 2018. <https://www.helpscout.com/blog/psychology-of-color/> (дата обращения: 05.05.2019).

4. Field of view for virtual reality headsets explained. 2016. <https://vr-lens-lab.com/field-of-view-for-virtual-reality-headsets/> (дата обращения: 07.05.2019).

5. Mateer J. Directing for Cinematic Virtual Reality: how the traditional film director's craft applies to immersive environments and notions of presence // *Journal of Media Practice*. 2017. Vol. 18. P. 14–25. DOI: 10.1080/14682753.2017.1305838 (дата обращения: 03.05.2019).

6. Mcguir S. What Disney Villains can tell us about color psychology. 2017. <https://venngage.com/blog/disney-villains/> (дата обращения: 07.05.2019).

7. Tвори 360 Time. The Old Man of The Arctic. VR 360 Animated Short. [https://www.youtube.com/watch?v=KTVu\\_aXvzGE](https://www.youtube.com/watch?v=KTVu_aXvzGE) (дата обращения: 06.05.2019).

8. VR 360. Тихоокеанский Рубеж 2 на русском языке. [https://www.youtube.com/watch?v=XL\\_Z1PmbukA/](https://www.youtube.com/watch?v=XL_Z1PmbukA/) (дата обращения: 06.05.2019).

9. Zellner D.A., Whitten L.A. The Effect of Color Intensity and Appropriateness on Color-Induced Odor Enhancement // *American Journal of Psychology*. 1999. Vol. 112. No 4. P. 585–604. DOI: 10.2307/1423652. <https://www.jstor.org/stable/1423652> (дата обращения: 07.05.2019).

*Nadezhda K. Trubochkina, Aleksey Yu. Rolich*

## **METHODS OF CREATING FRACTAL STEREOCONTENT FOR AUTONOMOUS VR HEADSETS**

Nadezhda K. Trubochkina, PhD, Sc. D. (Engineering), professor  
E-mail: [ntrubochkina@hse.ru](mailto:ntrubochkina@hse.ru)  
HSE Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics

Aleksey Yu. Rolich  
E-mail: [arolich@hse.ru](mailto:arolich@hse.ru)  
HSE Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics

The article describes the experiments for defining the system of the optimum parameters of synthesizing the fractal and mixed content conforming to the requirements of its comfortable viewing in autonomous VR-headsets.

**Key words:** virtual reality, fractal, fractal clip, fractal film, parameters of comfortable viewing.

## REFERENCES

1. Gavrichkova E.S. Vliyanie tsveta na vospriyatie cheloveka // Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki. Sotsial'no-ekonomicheskie i gumanitarnye nauki. 2012. S. 300–301.
2. Brooks Jr. The Design of design: Essays from a computer scientist. New York: Addison-Wesley, 2010. 400 p.
3. Ciotti G. The Psychology of Color in Marketing and Branding. 2018. <https://www.helpscout.com/blog/psychology-of-color/> (data obrashcheniya: 05.05.2019).
4. Field of view for virtual reality headsets explained. 2016. <https://vr-lens-lab.com/field-of-view-for-virtual-reality-headsets/> (data obrashcheniya: 07.05.2019).
5. Mateer J. Directing for Cinematic Virtual Reality: how the traditional film director's craft applies to immersive environments and notions of presence // Journal of Media Practice. 2017. Vol. 18. P. 14–25. DOI: 10.1080/14682753.2017.1305838 (data obrashcheniya: 03.05.2019).
6. Mcguir S. What Disney Villains can tell us about color psychology. 2017. <https://venngage.com/blog/disney-villains/> (data obrashcheniya: 07.05.2019).
7. Tvorl 360 Time. The Old Man of The Arctic. VR 360 Animated Short. [https://www.youtube.com/watch?v=KTVu\\_aXvzGE](https://www.youtube.com/watch?v=KTVu_aXvzGE) (data obrashcheniya: 06.05.2019).
8. VR 360. Tikhookeanskii Rubezh 2 na russkom yazyke. [https://www.youtube.com/watch?v=XL\\_Z1PmbukA/](https://www.youtube.com/watch?v=XL_Z1PmbukA/) (data obrashcheniya: 06.05.2019).
9. Zellner D.A., Whitten L.A. The Effect of Color Intensity and Appropriateness on Color-Induced Odor Enhancement // American Journal of Psychology. 1999. Vol. 112. No 4. P. 585–604. DOI: 10.2307/1423652. <https://www.jstor.org/stable/1423652> (data obrashcheniya: 07.05.2019).