

## Задачи построения стереоанимаций на современных стереоустановках

С.В.Андреев<sup>1</sup>, А.Е.Бондарев<sup>2</sup>, В.А.Галактионов<sup>3</sup>, Н.А.Бондарева<sup>4\*</sup>

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

\* Российский технологический университет (МИРЭА)

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-8029-1124, [esa@keldysh.ru](mailto:esa@keldysh.ru)

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-3681-5212, [bond@keldysh.ru](mailto:bond@keldysh.ru)

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0001-6460-7539, [vlgal@gin.keldysh.ru](mailto:vlgal@gin.keldysh.ru)

<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-7586-903X, [niki.99@mail.ru](mailto:niki.99@mail.ru)

### Аннотация

В данной работе рассматриваются задачи построения стереоизображений и стереоанимаций при помощи современных стереоустановок. Работа представляет часть результатов общего проекта организации стереоанимированного представления результатов численного моделирования задач математической физики. Создание подобных анимаций является, как правило, заключительным этапом разработки вычислительных технологий получения и представления результатов моделирования сложных физических процессов или работы сложных технических установок. Работа представляет практический опыт построения стереоанимированных представлений. Представлены результаты анимаций для классической двухпроекторной установки с поляризационными очками и для автостереоскопических мониторов, не требующих очков для просмотра стереоанимаций. В последнем случае представлен опыт использования таких методов, как построение карт глубины и многовидовых кадров. Также представлен опыт построения текстовой информации, а именно, текстов и формул, в стереопрезентациях для классической двухпроекторной установки.

**Ключевые слова:** стереоанимация, карта глубины, многовидовый кадр.

## 1. Введение

Появление, развитие и совершенствование современных стереоустановок, как пассивного, так и активного типов, сделало возможным построение стереоанимационных представлений результатов научных исследований. Значимость и актуальность новых возможностей, открываемых использованием стереоустановок, трудно переоценить. Представление результатов численного моделирования, отображающих протекание во времени сложных физических процессов или показывающих в трехмерном представлении работу сложных технических установок, позволяет очень многое. Во-первых, трехмерное представление развития процесса во времени помогает верифицировать вычислительную модель и

применяемые алгоритмы. Во-вторых, обеспечивает наблюдателю полноценное понимание моделируемого явления. И, наконец, популяризирует проведенное исследование и его результаты для социума, в том числе и для лиц, принимающих решения. Все перечисленное делает теоретические и практические разработки в области построения стереопредставлений весьма важными.

По мере появления и развития стереоустановок стало появляться все больше работ, посвященных вопросам построения стереоизображений. К таким работам следует отнести работы [1,6-8]. Поначалу большинство исследований в области стереоизображений относились к задачам построения виртуальной реальности, симуляторов и тренажеров, а также обучающим системам. Однако позднее стал весьма актуальным вопрос

построения презентационных комплексов, которые в том числе позволяли демонстрировать в стереоскопическом режиме результаты научных исследований. К таким работам можно отнести работы [2-4]. В работе [3] представлены результаты отображения взрыва Сверхновой в стереорежиме. Работа [11] представляет методы стереовизуализации для задачи вытеснения нефти из пористых сред. Работа [4] посвящена созданию вычислительной технологии моделирования работы трехмерного узла лопастей энергоустановки при обтекании потоком вязкого сжимаемого теплопроводного газа. Построение анимированных стереопредставлений результатов расчетов являлось одной из важных компонент разработанной технологии.

## **2. Современные системы демонстрации изображений в объемном представлении**

В целом, системы демонстрации изображений в объемном представлении (стереоустановки) можно разделить на два основных вида: пассивные и активные. Пассивные комплексы предназначены для демонстрации материала по заранее намеченному сценарию, когда зритель лишен возможности повлиять на процесс показа; активные (или интерактивные) комплексы отличаются тем, что зритель сам каким-либо образом влияет на процесс показа демонстрируемого материала.

Общим для всех этих систем является наличие большого экрана (и даже нескольких экранов), таким образом, типичного разрешения монитора чаще всего не хватает для генерации кадра, выводимого на экран стереоустановки. Кроме того, такие системы должны обеспечивать показ в объемном представлении, то есть в режиме стерео, когда каждый кадр генерируется отдельно для левого и правого глаза (правый и левый стереоканал). Таким образом, требования к вычислительным ресурсам для генерации кадров возрастают вдвое. Часто

такие стереоустановки управляются не отдельным компьютером, мощности которого не хватает для генерации кадров в режиме реального времени, а системой компьютеров, объединенных в локальную сеть и обеспечивающих вывод составного стереокадра на несколько экранов. Специфические проблемы, возникающие при использовании системы компьютеров для генерации и визуализации составного мультиэкранного стереокадра, и методы решений таких проблем достаточно подробно описаны в [1,2].

Постепенное распространение современных стереоустановок породило большой интерес к разработке практических алгоритмов стереопредставления статических и анимированных изображений, что отражено в работах [3,5 - 7]. Данная работа относится к общей тематике построения стереоизображений и стереоанимаций результатов математического моделирования сложных технических объектов и физических процессов в сплошных средах и представляет собой практический опыт построения стереоанимаций для конкретных устройств, которыми располагает ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Первый тип устройства представляет собой 3D проекционную стереосистему для показа стереопрезентаций, обучающих приложений, графики и фильмов. Включает графическую станцию, проекционную подсистему из двух проекторов (со специализированным экраном), акустическую систему. Данная система является классической стереографической системой с использованием двух проекторов, экрана и очков линейной поляризации.

При создании стереопар, требуемых для кадров стереофильма, в системах подобноготипа используется либо линейное, либо угловое смещение камеры, то есть линейная или угловая *стереобаза*. В большинстве случаев линейная стереобаза применяется при визуализации объектов сцены со значительно отдаленным задним фоном. Линейное смещение применяется довольно редко, так как чаще всего необходимо получить представление об объекте визуализации со всех сторон.

В большинстве случаев результатом расчетов является достаточно инкапсулированный объект, не привязанный к окружающей среде, такой как деталь самолета, автомобиля, то есть не привязанный к местности. И в первую очередь зрителям важно осмотреть этот объект со всех сторон. В таких случаях применяется угловое смещение, то есть угловая стереобазы. Чаще всего определяется центр пространственных координат, находящийся внутри объекта, и происходит угловое смещение камеры.

При этом для показа объекта визуализации со всех сторон достаточно зафиксировать расстояние от камеры до этого центра координат и произвести полный оборот в 360 градусов в горизонтальной плоскости вокруг оси  $OZ$ , последовательно меняя только угол. В результате мы получим стереоэффект «висящего» в воздухе объекта визуализации, центр координат которого находится на расстоянии от глаз зрителя до плоскости экрана.

Второй тип устройства представляет собой автостереоскопический монитор Dimenco DM654MAS. Автостереоскопические мониторы обеспечивают показ стереоизображений без необходимости отслеживать позицию наблюдателя, то есть, нет необходимости подстраивать оборудование в зависимости от положения наблюдателя – как правило, такие мониторы позволяют наблюдать стереоизображения, обеспечивая несколько фиксированных сегментов в пространстве для наблюдения, причем зритель может перемещаться из одного сегмента в другой, получая возможность рассматривать демонстрируемый объект в 3D с различных углов зрения. Принцип работы автостереоскопического монитора – это использование параллаксных перегородок или линз Френеля, установленных за защитным стеклом экрана.

Одним из важнейших преимуществ автостереоскопических мониторов является то обстоятельство, что просмотр изображений на таких устройствах не требует применения специальных очков. Еще в недавние годы установки подобного типа не могли обеспечить качество

стереоизображения, сравнимое с классическими двухпроекторными проекционными стереоустановками. Однако современные устройства позволяют строить стереоизображения на автостереоскопических мониторах с высоким качеством, ничуть не уступающим классическим проекционным установкам. На (рис. 1) представлен действующий автостереоскопический монитор Dimenco со следующими техническими характеристиками:

- 1) Вес – 72 килограмма;
- 2) Диагональ экрана - 65" (165 см);
- 3) Разрешение - 3840×2160.

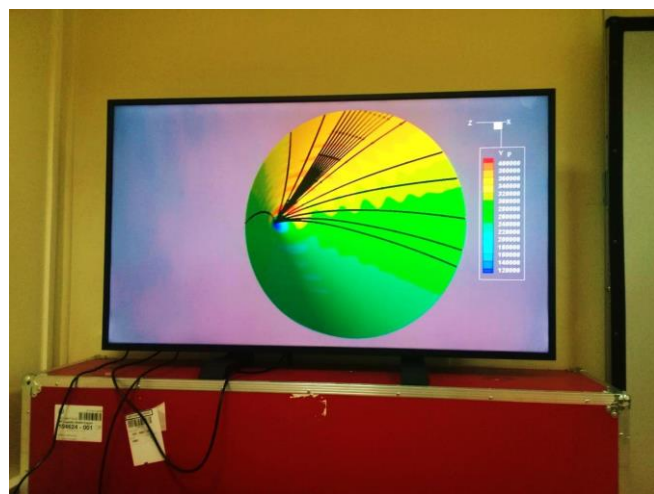


Рис. 1. Автостереоскопический монитор Dimenco DM654MAS.

Для построения стереокадра на автостереоскопическом мониторе используются такие методы, как построение карт глубины или построение многовидового кадра (multi-view frame).

Далее рассмотрим ряд методов и подходов, использовавшихся нами для практического построения стереоанимаций на обоих вышеописанных типах современных стереоустановок.

### **3. Метод «облета камеры» при использовании угловой стереобазы**

При создании стереопар, требуемых для кадров стереоанимации, используется либо линейное, либо угловое смещение камеры, то есть линейная или угловая стереобазы. В большинстве случаев

для визуализации результатов расчетов необходимо рассмотреть объект визуализации с разных сторон, поэтому для этих целей наиболее подходящим является метод «облета» камеры вокруг объекта, то есть угловая стереобазы.

Практически любая CAD-система позволяет визуализировать трехмерный объект с заданными координатами положения по отношению к пользователю. Поэтому задача сводится к построению последовательности изображений CAD модели с зафиксированной осью  $Z$ , проходящей через ее геометрический центр, и смещением на определенный угол. После каждого такого смещения проводится рендеринг модели, позволяющей достичь фотореалистичности, и сохранение результата в виде графического файла в высоком разрешении. Для левого стереоканала устанавливалась начальная позиция, отличающаяся от правого стереоканала на угол, определяющий параллакс, и позволяющая добиться объемности объекта в результирующем стереофильме. Данный метод привлекателен еще и тем, что для статической модели, то есть с неизменной геометрией и цветовым распределением, возможно повторное использование уже рассчитанных кадров, например, если для левого стереоканала мы используем 1,2,3,4, ... кадры, то для правого стереоканала достаточно начать последовательность со второго или с третьего кадра (2,3,4,5, ...), автоматически обеспечивая сдвиг объекта на необходимый угол стереобазы.

Дополнительный выигрыш такого «облета камеры» состоит также в том, что имея всего 360 монокадров можно организовать закливание вращения объекта визуализации в объемном представлении, то есть организовать его непрерывное, сколь угодно долгое вращение, повторно демонстрируя зрителю все стороны объекта (рис. 2).

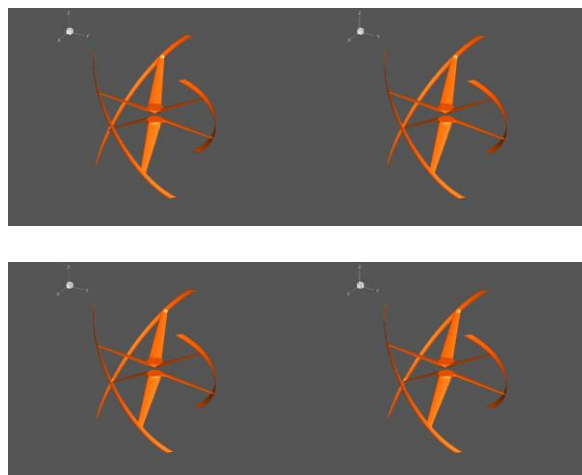


Рис. 2. Стереопары с повторным использованием рассчитанных кадров при угловом смещении (угловая стереобазы).

Данный метод был успешно реализован при визуализации моделирования работы энергетической установки сложной формы в режиме стереоанимации как для классической стереоустановки проекционного типа, так и для визуализации на автостереоскопическом мониторе [4].

## 4. Использование карт глубины

При создании многоракурсного видео для автостереоскопических мониторов возникает потребность хранения большого количества данных – видеопотоков для каждого из ракурсов. Даже с учетом того, что современные методы цифрового видеосжатия позволяют эффективно учитывать временную и пространственную избыточность, объем данных при многоракурсном видео возрастет многократно. Особенно это критично для автостереоскопических мониторов.

Один из эффективных способов решения проблемы большого объема данных состоит в использовании так называемого формата  $2D+Z$ . Любому обычному (2D) изображению можно сопоставить информацию об удаленности каждого пиксела от наблюдателя ( $Z$ -координату). Такое представление изображения называют "формат  $2D+Z$ ", а плоскость координат  $Z$  – "картой глубины". Ее можно представить в виде монохромного изображения. В карте глубины градациями



серого обозначается удалённость точек изображения от наблюдателя. То есть самая ближняя точка к зрителю станет белой, а самая дальняя – черной. На рисунке 3 ниже показан пример оригинального изображения и его карты глубины.



Рис. 3. Оригинальное изображение и его карта глубины.

Формат 2D+Z является дальнейшим развитием концепции представления информации об изображении по компонентам. Широко известно, что и в аналоговом, и в цифровом телевидении изображение формируется из яркости и двух цветовых составляющих. Добавление карты глубины к этим составляющим, характеризующей объемность изображения, является вполне логичным развитием и вполне согласуется с принципами совместимости.

Идея, лежащая в основе построения карты глубины по стереопаре, достаточно очевидна. Для каждой точки на одном изображении выполняется поиск парной ей точки на другом изображении. А по паре соответствующих точек

можно определить координаты их прообраза в трехмерном пространстве. Имея же трехмерные координаты прообраза, глубина вычисляется, как расстояние до плоскости камеры.

Парную точку нужно искать на эппиплярной линии [8]. Соответственно, для упрощения поиска, изображения выравнивают так, чтобы все эппиплярные линии были параллельны сторонам изображения (обычно горизонтальны).

Более того, изображения выравнивают так, чтобы для точки с координатами  $(x_0, y_0)$  соответствующая ей эппиплярная линия задавалась уравнением  $x = x_0$ , тогда для каждой точки соответствующую ей парную точку нужно искать в той же строчке на изображении со второй камеры. Такой процесс выравнивания изображений называют ректификацией (rectification).

После того как изображения ректифицированы, выполняют поиск соответствующих пар точек. Наиболее простой метод состоит в следующем: для каждого пиксела левой картинке с координатами  $(x_0, y_0)$  выполняется поиск пиксела на правой картинке. При этом предполагается, что пиксел на правой картинке должен иметь координаты  $(x_0 - d, y_0)$ , где  $d$  – величина называемая несоответствие/смещение (disparity). Поиск соответствующего пиксела выполняется путем вычисления максимума функции отклика, в качестве которой может выступать, например, корреляция окрестностей пикселей. В результате получается карта смещений (disparity map).

Ниже представлена стереоанимация поворота синтезированного изображения грузового автомобиля с помощью карты глубины.



Рис. 4. Стереоанимация поворота синтезированного изображения грузового автомобиля с помощью карты глубины.

Необходимо отметить, что данный метод построения стереоизображения с помощью карты глубины при использовании его на автостереоскопическом мониторе предоставляет больше возможностей для зрителя по сравнению с обычной стереоанимацией, так как наблюдатель получает возможность рассмотреть изображение объекта под разными углами, используя логику процессора монитора.

## 5. Составные многовидовые кадры

Автостереоскопический монитор также обладает возможностью демонстрации объекта визуализации с использованием составного кадра, содержащего виды объекта визуализации под различными углами, образующими определенный сектор обзора. Обычно, это девять видов (рис. 5).

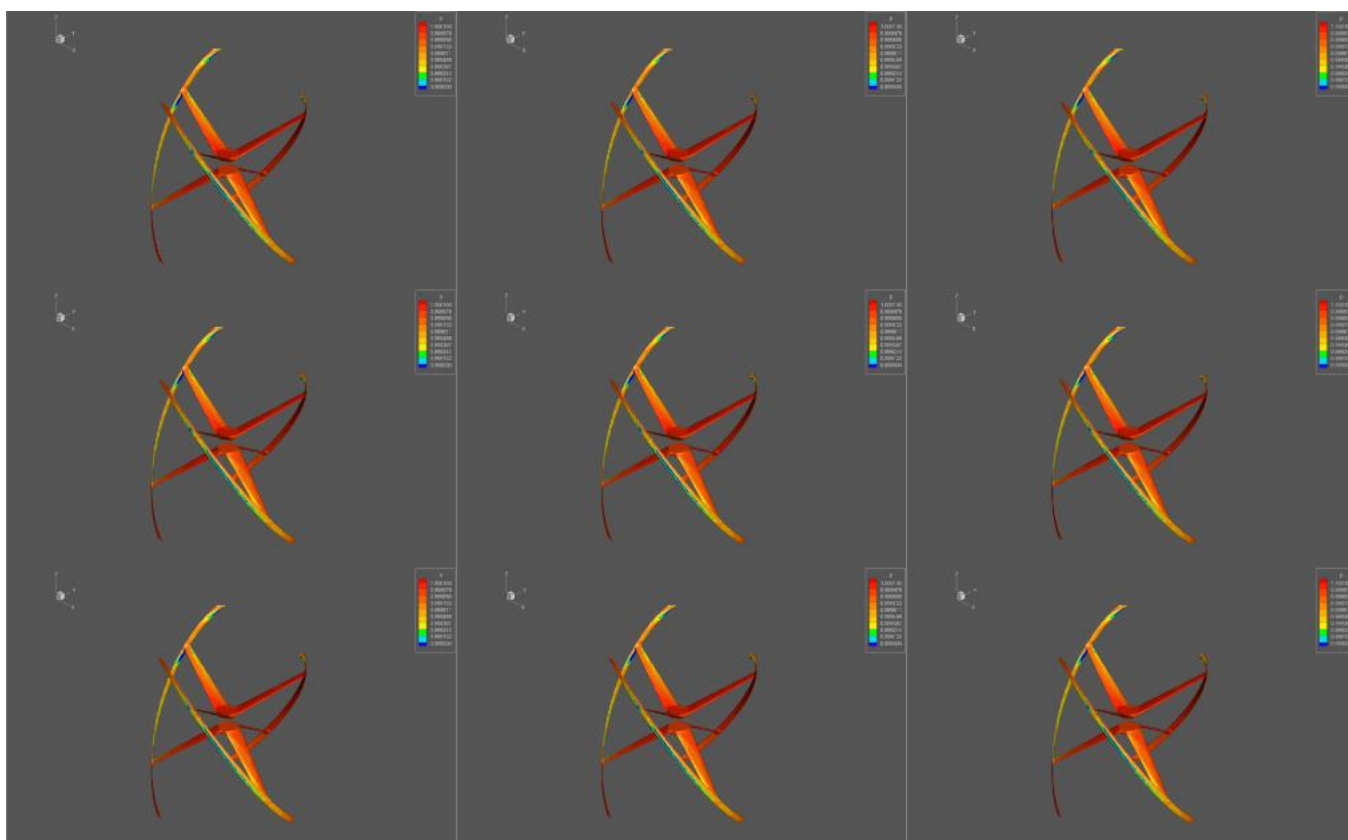


Рис. 5. Составной кадр автостереоскопического монитора.

При этом эти девять видов образуют восемь стереопар ([1|2], [2|3], [3|4], ..., [8|9]), и наблюдатель может обозревать только одну из стереопар в зависимости от его положения в том или ином угловом секторе наблюдения. Перемещаясь из сектора в сектор, наблюдатель получает объемную информацию об объекте, используя все девять ракурсов, то есть, как бы оглядывая объект визуализации с разных сторон. Заметим при этом, что фактически происходит «облет камеры» вокруг объекта, и, следовательно, тот же метод уменьшения необходимого для визуализации монокадров вполне применим.

Действительно, в случае с величиной угловой стереобазы в один градус и с последовательным углом смещения вокруг оси  $OZ$ , мы получаем, что первый кадр состоит из последовательности ракурсов с последовательным изменением угла облета камеры:

1	2	3
4	5	6
7	8	9

второй кадр будет иметь вид:

2	3	4
5	6	7
8	9	10

соответственно, третий кадр будет иметь вид:

3	4	5
6	7	8
9	10	11

и так далее. Последний кадр, имеющий вид:

360	1	2
3	4	5
6	7	8

позволит зациклить последовательность ракурсов, и, имея всего 360 монокадров, можно получить сколь угодно долгое вращение объекта визуализации в многоракурсном представлении на экране автостереоскопического монитора.

Необходимо также отметить, что данный вид представления объекта визуализации в объемном виде на экране автостереоскопического монитора обеспечивает максимальное качество по сравнению с обычным стереоскопическим представлением и даже методом с использованием карт глубины, позволяя рассматривать объект в достаточно широком секторе обзора.

Построение стереоанимаций с помощью составных многовидовых кадров позволило добиться на автостереоскопическом стереомониторе качества стереокадра, сравнимого с качеством, получаемым на классической проекционной установке. В силу этого, построение многовидовых кадров было применено в целом ряде вычислительных технологий для различных задач математического моделирования при построении стереопрезентаций результатов. Приведем ниже ряд примеров, иллюстрирующих применение данного подхода.

Данный метод визуализации был успешно реализован при моделировании работы узла лопастей сложной формы в энергетической установке [4]. Построение стереоанимации являлось составной частью вычислительной технологии, организованной в форме цепочки алгоритмов: от построения CAD-модели до представления результатов вычислений в режиме стереоанимации. Общей целью вычислительной технологии [4] было нахождение оптимальной с точки зрения силовых характеристик формы узла лопастей.

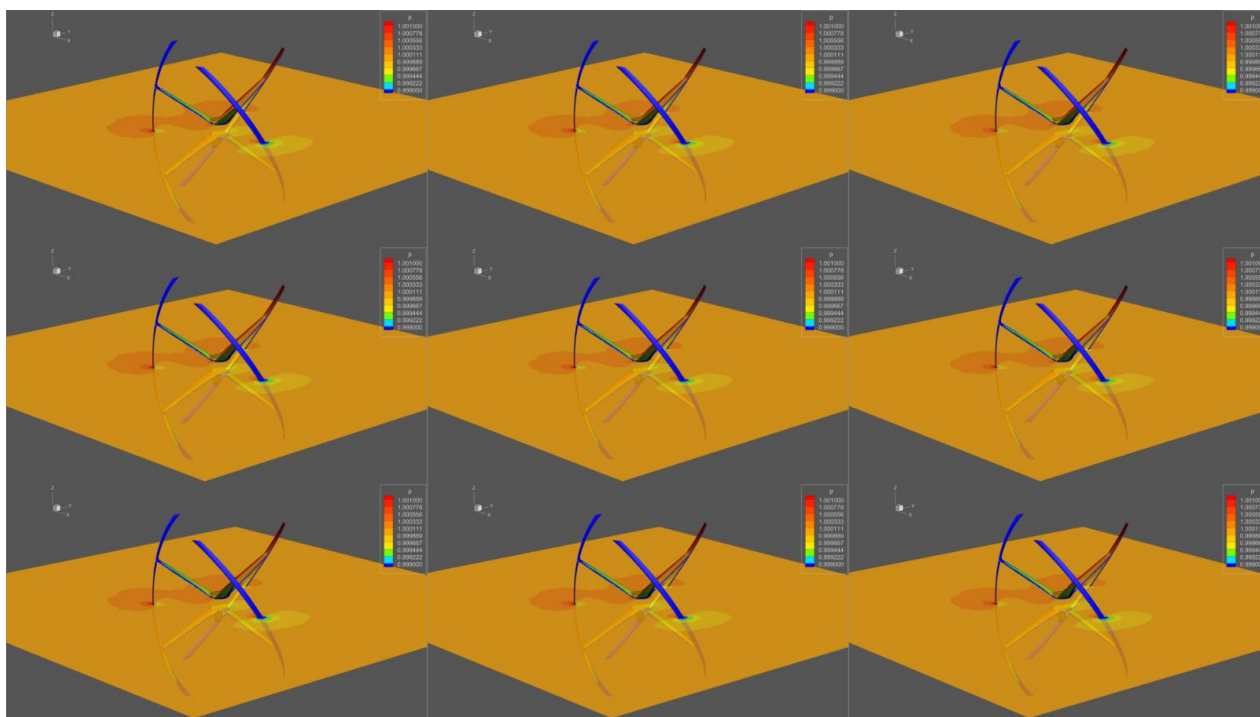


Рис. 6. Многовидовый кадр, представляющий результаты моделирования узла лопастей ветроэнергостановки.

Еще один пример представлен на рисунке 7, где показан кадр multi-view для узла лопастей другой формы.

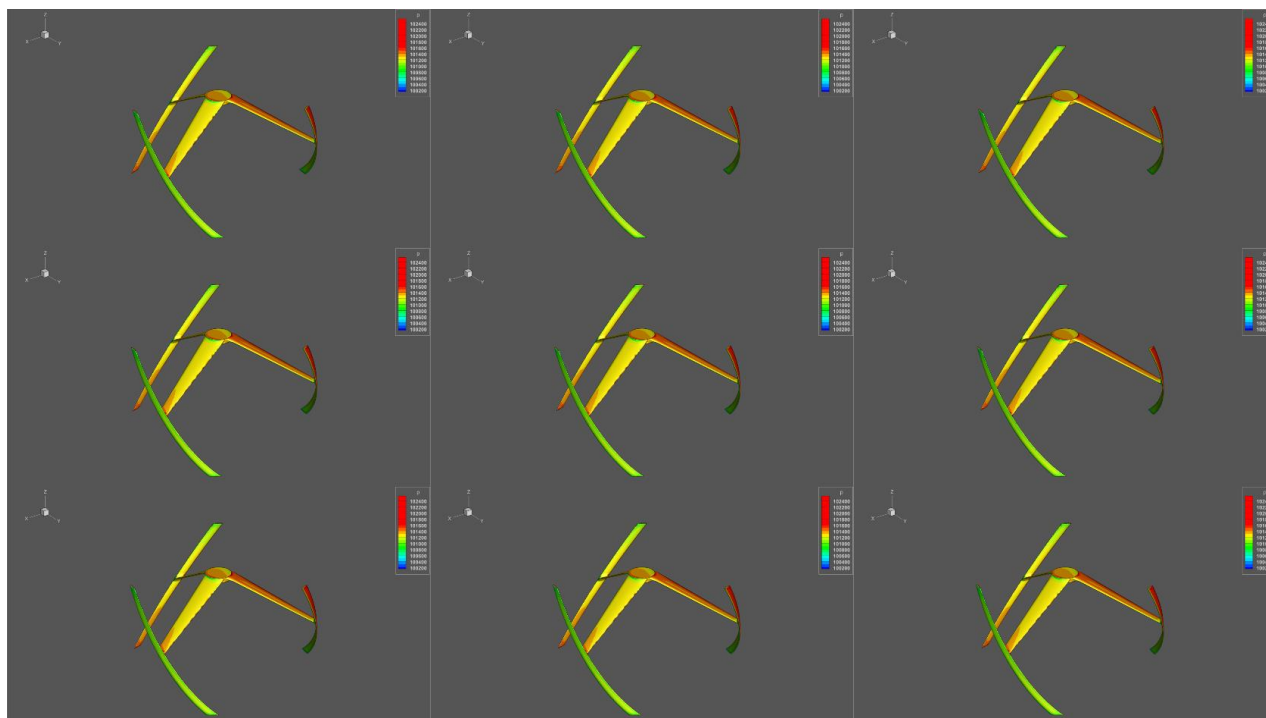


Рис. 7. Многовидовый кадр, представляющий результаты моделирования другой формы узла лопастей ветроэнергостановки

На рисунке 8 представлен кадр «multi-view» для стереоанимации представляющей результаты обтекания сверхзвуковым потоком конуса под углом атаки. Представлено распределение давления на поверхности конуса и линии тока.



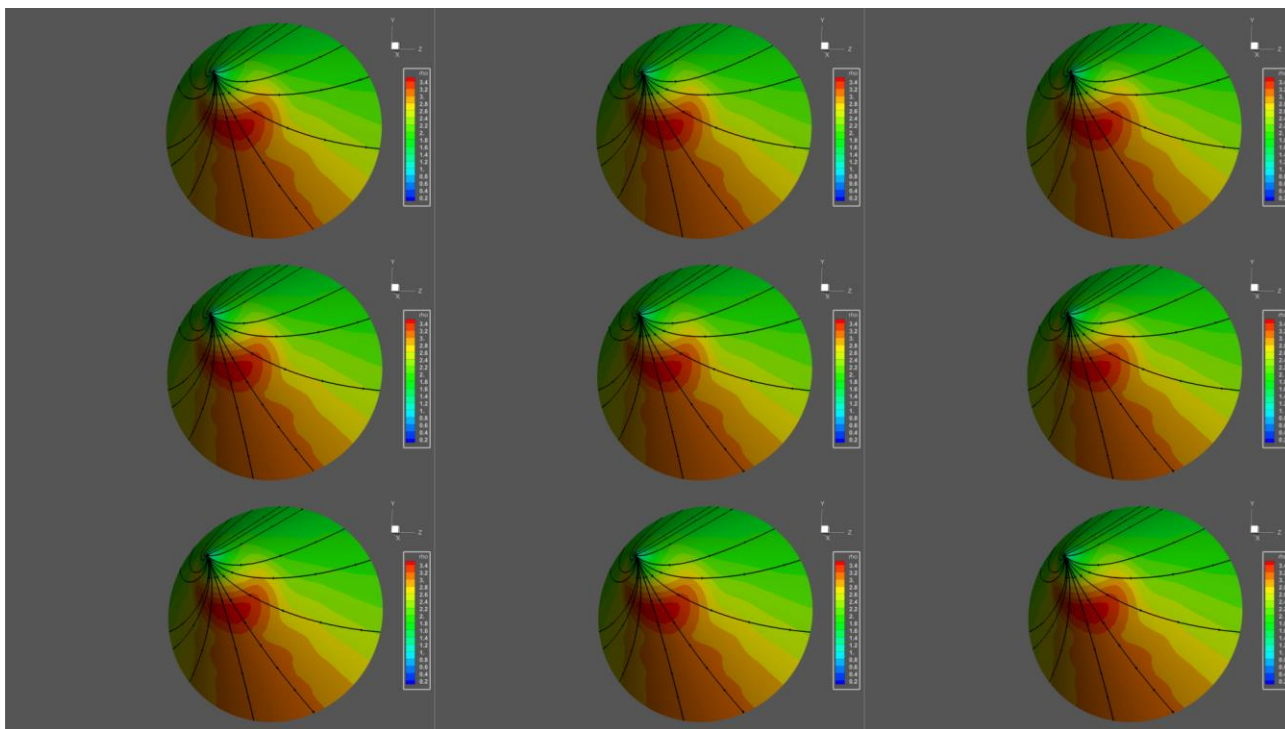


Рис. 8. Многовидовый кадр, представляющий результаты моделирования обтекания конуса.

## 6. Построение стереоизображений текста

При построении стереоанимации возникает достаточно важная частная структурная подзадача. Стандартное представление научного доклада, как правило, включает в себя не только визуализацию сложной геометрии или полей физических величин, но и пояснения, обычно представляемые текстом и формулами. Если для геометрий и физических величин вопросы построения стереопредставлений разработаны достаточно, то задачи построения стереоотображений текстов и формул с достаточной выразительностью и необходимым стереоэффектом остаются открытыми. Вопросам разработки конкретных практических подходов в этой области посвящено довольно мало работ. Здесь можно упомянуть только работу [12], описывающую проведенное в Японии исследование восприимчивости стереоизображений шрифтов на экранах стереоскопических мобильных устройств. Однако это исследование носило более социальный

характер, нежели давало рецепты построения стереоизображений текстов и формул.

Построения стереоизображений текстов и формул в данной работе проводились для классической 3D проекционной системы, то есть для установки, предполагающей использование очков линейной поляризации. В качестве основы построения стереоизображения была выбрана линейная стереобаза. Таким образом, построение предполагало создание левого и правого кадра для каждой текстовой надписи.

При построении основной целью было следование ряду достаточно простых принципов, предполагавшихся изначально. К этим принципам относятся следующие:

- Надпись должна быть трехмерной, т.е. иметь объем, согласно выводам работы [2], где было указано, что наилучший стереоэффект получается для объемных фигур. В силу этого рекомендовалось все линии представлять в объемном виде. Следовательно, для построения надписей и формул необходимо использовать объемные шрифты или эффекты, создающие объем.

- Надписи должны четко читаться, в силу чего рекомендуется использовать «строгие» шрифты.

- Надписи и формулы должны четко выделяться на фоне кадра, следовательно, фон не может быть слишком ярким.

- В стереоанимационном фильме, представляющем результаты научных исследований, основным является представление результатов исследований. Пояснения в виде текстовых надписей и математических формул играют вторичную роль. Поэтому кадр, содержащий сопроводительную информацию в виде надписей и формул, не должен быть ярче кадров, несущих основную информацию.

Для построения тестовых вариантов надписей подходит любая программа, обладающая достаточным набором встроенных шрифтов, а также широким диапазоном опций и спецэффектов, позволяющих обеспечить объемность надписей и проведение действий с ними.

Для вариации стереобазы использовалась сетка, которая позволяла регулировать расстояние сдвига по стереобазе для организации левого и правого кадра.

Подобный подход позволил провести ряд экспериментов по построению наиболее подходящих кадров с текстовыми надписями и формулами. Было построено около 200 вариантов различных представлений надписей и формул, где варьировались различные параметры.

Некоторые из построенных вариантов представлены на рисунках ниже. На рисунках 9 представлен вариант построения надписи с помощью рельефного шрифта Arial Black с поворотом всей надписи. Рисунок 10 представляет аналогичное построение с помощью рельефного шрифта Cambria с поворотом всей надписи. Левый и правый кадры отмечены на рисунках ниже соответственно буквами “L” и “R”.



Рис. 9. Пример построения надписи на основе рельефного шрифта Arial Black с поворотом надписи.



Рис. 10. Пример построения надписи на основе рельефного шрифта Cambria с поворотом надписи.

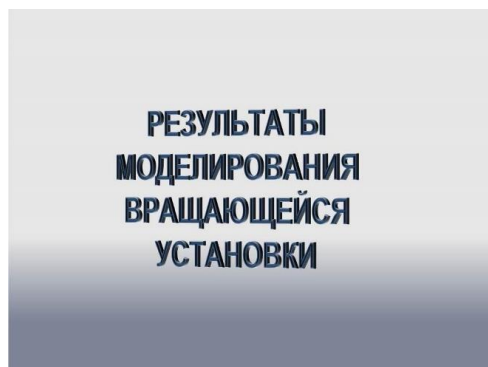
Для большинства тестовых надписей проводилась вариация сдвига по стереобазе. Общая методика построения тестового стереоизображения для выбранной надписи может быть описана следующим образом:

- выбор основного шрифта;
- выбор цвета шрифта и фона;
- выбор степени рельефности;
- выбор поворота надписи целиком.

Далее из созданных образцов отбирались те, что в наибольшей степени соответствовали принципам, изложенным в начале раздела. Для отобранных образцов проводилось исследование вариации по расстоянию сдвига по сетке, то есть, по линейной стереобазе. Образцы стереокадров проверялись на стереоустановке с целью оценки стереоэффекта.

Следует заметить, что в силу отсутствия возможности организации полноценной экспертной оценки, отбор тестовых вариантов проходил на основе изначально выбранных принципов и оценки зрительного восприятия удаленности тестовой надписи от плоскости экрана. При сдвиге тестовой надписи на 3-5 деления сетки вправо и влево зрители, находящиеся в 4-х метрах от экрана, воспринимали надпись, как удаленную от плоскости экрана приблизительно на 1 метр, что было признано достаточным.

В итоге было решено, что наиболее оптимальным способом представления надписей является представление на основе рельефного шрифта Arial Narrow на светлом фоне, затененном в нижней части, без поворота надписи. Пример такого представления надписи приведен на рисунке 11.



**Рис. 11.** Построение надписи на основе рельефного шрифта Arial Narrow с поворотом надписи на меньший угол.

Результаты экспериментов нашли практическое применение. При разработке вычислительной технологии, обеспечивающей построение оптимальной с точки зрения силовых нагрузок формы узла лопастей энергоустановок [4,9,10] предполагался полный цикл моделирования энергоустановки от построения исходной CAD модели до организации визуального представления результатов в стереорежиме. Результаты экспериментов были использованы при построении стереофильмов в разрабатываемой вычислительной технологии [9]. Все титры, надписи и формулы в данном стереофильме были выполнены на основе экспериментов по представлению надписей и формул, представленных в настоящей работе. Версия стереофильма доступна по ссылке [9] и может быть просмотрена на классической 3D проекционной стереоустановке пассивного типа с очками линейной поляризации.

## 7. Заключение

Данная работа представляет часть результатов общего проекта организации стереоанимированного представления результатов численного моделирования

задач математической физики. Реализация подобных анимаций является заключительным этапом вычислительной технологии получения и представления результатов моделирования сложных физических процессов и работы сложных технических установок. Представлены результаты анимаций для классической двухпроекторной проекционной установки и для автостереоскопических мониторов. В последнем случае использовались такие методы, как построение карт глубины и многовидовых кадров. Также представлен опыт построения текстовой информации, а именно, текстов и формул, в стереопрезентациях для стереоустановки классического типа.

## 8. Благодарности

Данная работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 16-01-00553а и 17-01-00444а).

## 9. Литература

- [1] Синтез фотореалистичных трехмерных изображений в современных системах презентаций / Андреев С.В. [и др.] // Программные продукты и системы. 2007. № 3. С. 37-40.
- [2] Организация стереопредставлений в задачах синтеза фотореалистичных изображений и научной визуализации / Андреев С.В. [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2010. № 61. 14 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010-61>.
- [3] Андреев С., Филина А. Применение стереоизображений для визуализации результатов научных вычислений / Научная визуализация. 2012. Т.4. № 1. С.12-21.
- [4] Моделирование и визуализация работы узла лопастей сложной формы в энергетической установке / Андреев С.В. [и др.] // Научная визуализация. 2015. Т.7. № 4. С.1-12.
- [5] Программно-аппаратный комплекс 3D презентаций на основе виртуальной студии и виртуального окружения / Ванданов В.Г. [и др.] // Труды

Первой международной конференции «Трёхмерная визуализация научной, технической и социальной реальности. Кластерные технологии моделирования». Ижевск. 2009. С.73-77.

- [6] Меженин А.В., Тозик В.Т. 3D Визуализация с использованием эффекта стереоизображений // Труды Второй международной конференции «Трёхмерная визуализация научной, технической и социальной реальности. Кластерные технологии моделирования». Ижевск. 2010.
- [7] Михайлюк М.В., Хураськин И.А. Синтез стереоизображения для систем виртуальной реальности с использованием оптической трекинговой системы / Программные продукты и системы. 2006. № 3. С.10-14.
- [8] Калиниченко А.В., Свешникова Н.В., Юрин Д.В. Эпиполярная геометрия и оценка ее достоверности по результатам восстановления трёхмерной сцены алгоритмами факторизации // Труды 16-й Международной конференции по компьютерной графике и зрению ГрафиКон'2006.
- [9] Стереofilm «Моделирование и визуализация работы энергетической установки сложной формы в режиме стереоанимации»  
<https://yadi.sk/i/3CcYhlMB3TCH4r>  
(дата обращения 01.03.2018).
- [10] Моделирование и визуализация работы энергетической установки сложной формы в режиме стереоанимации / Андреев С.В. [и др.] // Труды 25-й Международной Конференции по Компьютерной графике и Зрению ГрафиКон'2015, Протвино, Россия, 22-25 сентября 2015 г., с. 183-187.
- [11] Михайлюк М.В., Мальцев А.В., Тимохин П.Ю. Методы стереовизуализации результатов моделирования неустойчивого вытеснения нефти из пористых сред / Труды НИИСИ РАН т.8, N 2, с. 125-129.
- [12] Visibility Experiment and Evaluation of 3D Character Representation on Mobile Displays / Hiromu Ishio [et al.] // C. Stephanidis (Ed.): Posters, Part II, HCI 2011, CCIS 174, pp. 46–51, 2011.