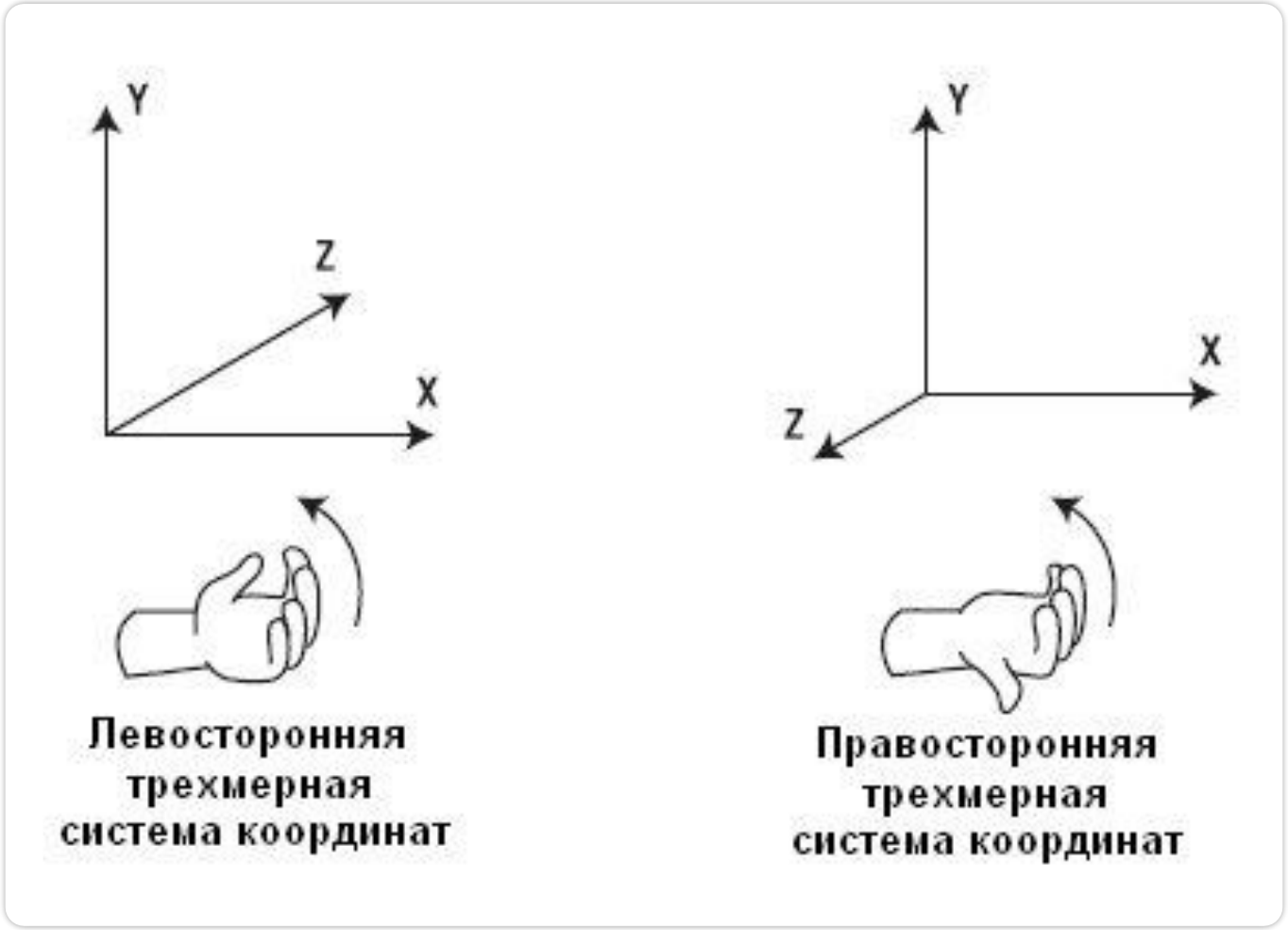
# 3D АФФИННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

# Аффинные преобразования в пространстве



# Аффинные преобразования в пространстве

## I. Вращение в пространстве

**Матрица вращения вокруг оси абсцисс на угол ϕ :**

$$[R_x] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ 0 & -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Аффинные преобразования в пространстве

**Матрица вращения вокруг оси ординат на угол ψ:**

$$[R_Y] = \begin{bmatrix} \cos\psi & 0 & -\sin\psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\psi & 0 & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Аффинные преобразования в пространстве

**Матрица вращения вокруг оси аппликат на угол θ:**

$$[R_Z] = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Аффинные преобразования в пространстве

## II. Масштабирование:

$$[D] = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

**Коэффициенты:**

- **α>0 –вдоль оси абсцисс,**
- **β>0 –вдоль оси ординат,**
- **γ>0 – вдоль оси аппликат.**

# Аффинные преобразования в пространстве

## III. Отражение

**Матрица отражения относительно плоскости XOY:**

$$[M_Z] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Аффинные преобразования в пространстве

**Матрица отражения относительно плоскости YOZ:**

$$[M_X] = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Аффинные преобразования в пространстве

**Матрица отражения относительно плоскости XOZ:**

$$[M_Y] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Аффинные преобразования в пространстве

## IV. Перенос

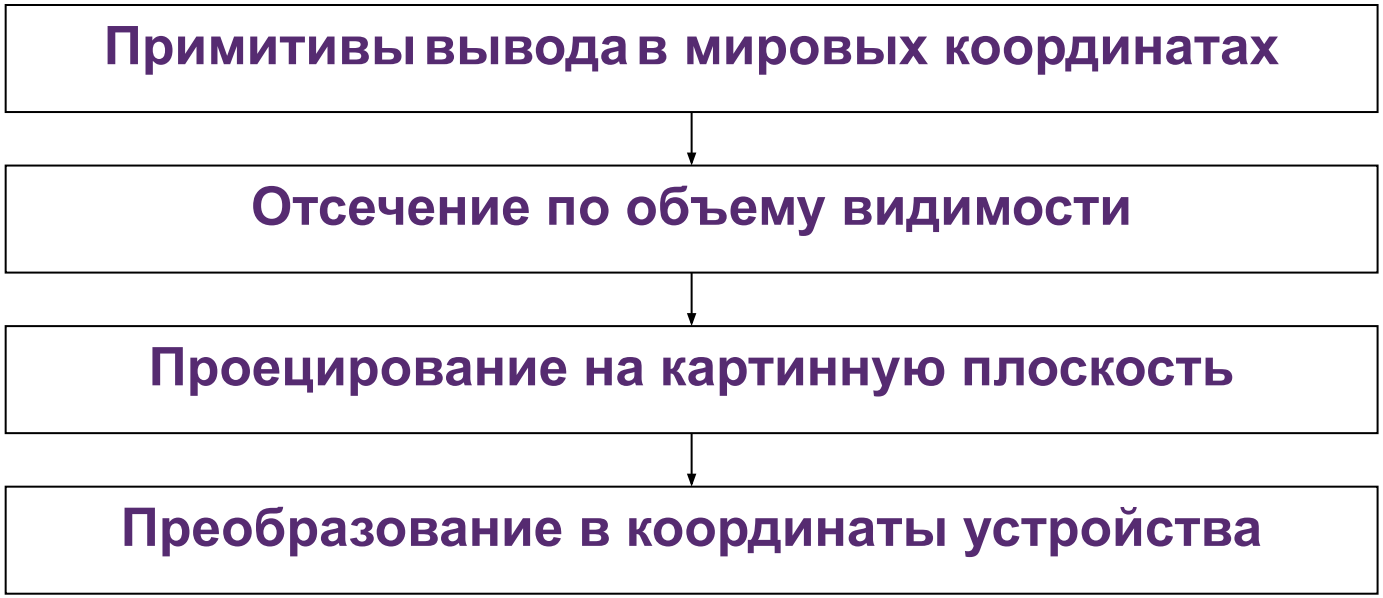
**Матрица переноса:**

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \lambda & \mu & \nu & 1 \end{bmatrix}$$

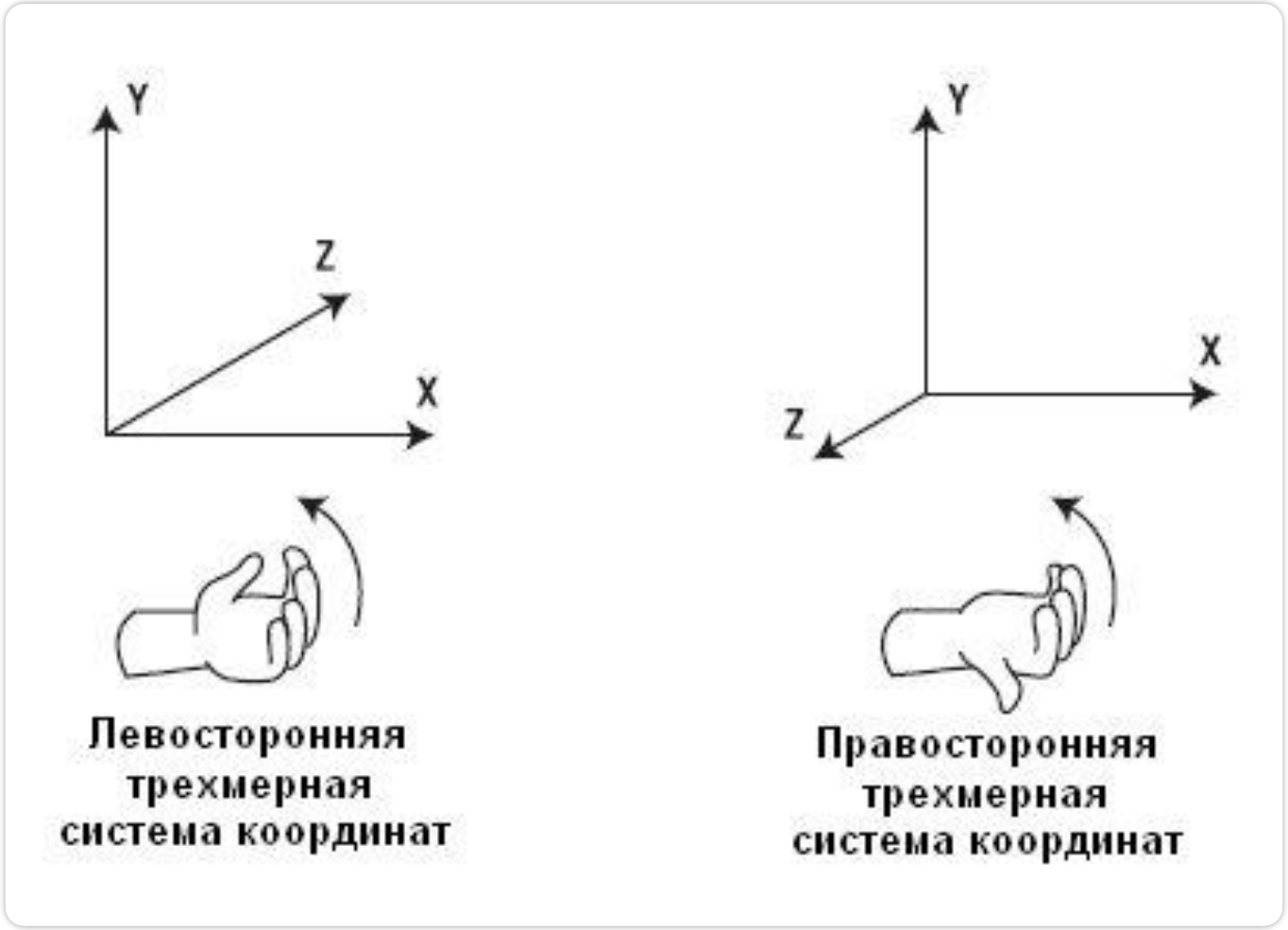
**где (λ, μ, ν) – вектор переноса.**

# ПРОЕКТИВНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

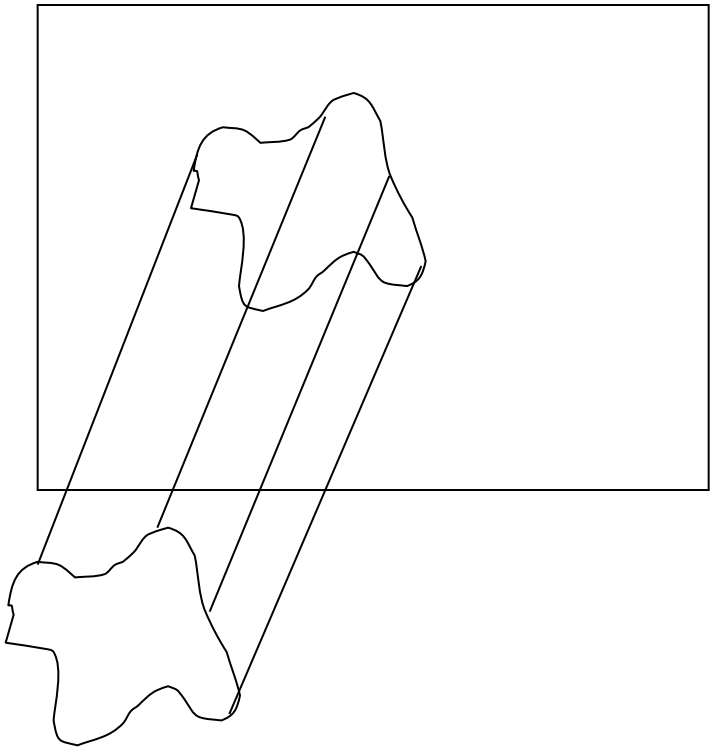
# МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ТРЕХМЕРНОЙ ГРАФИКИ



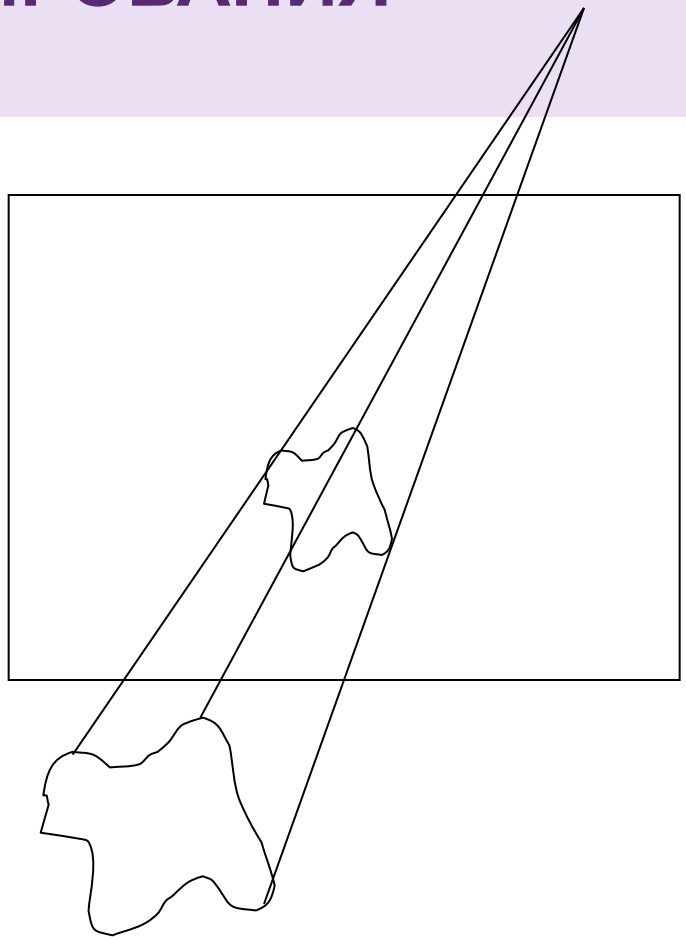
# Аффинные преобразования в пространстве
## Системы координат



# ВИДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



Параллельная проекция

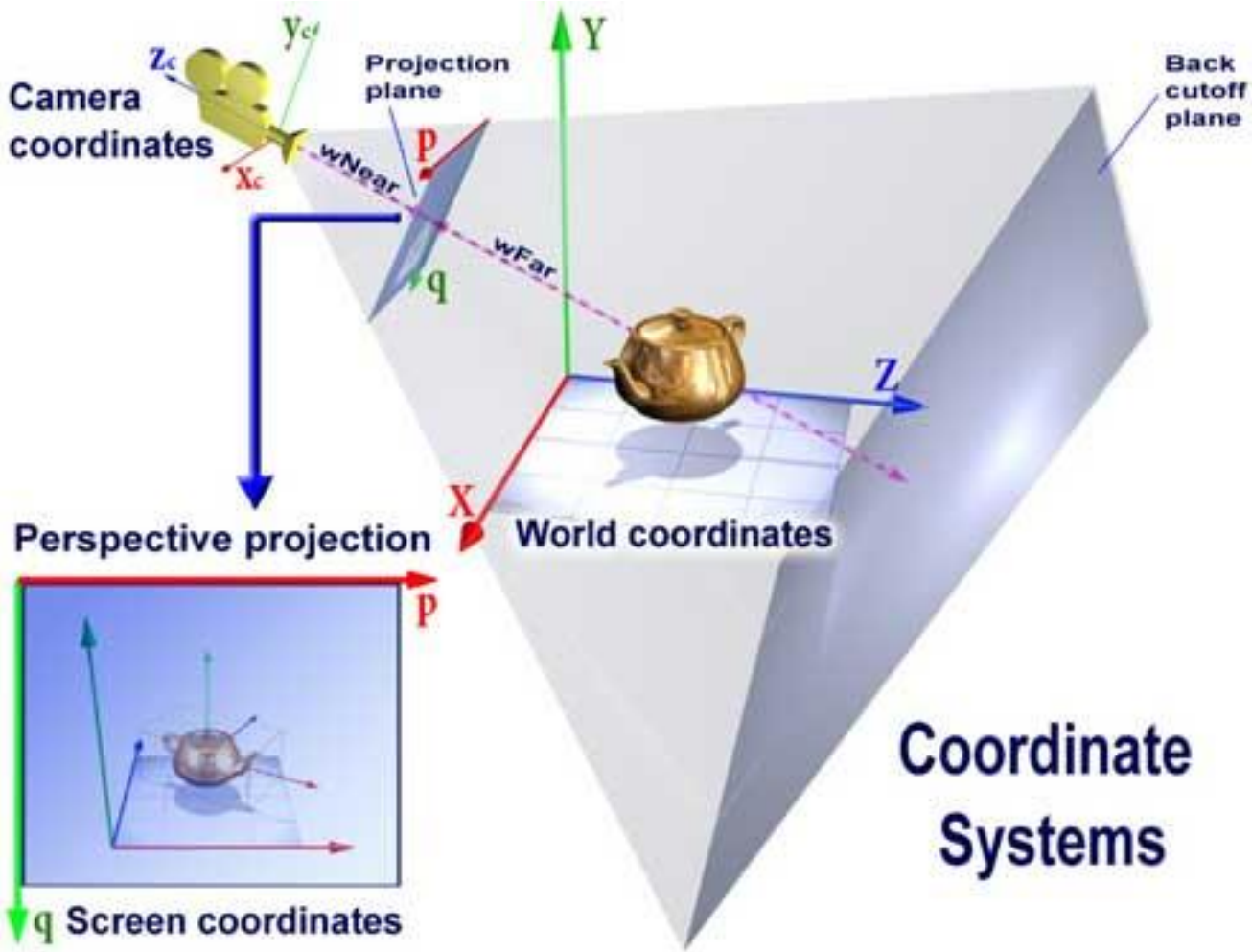


Перспективная проекция

# Преобразования координат

Представим цепочку преобразований координат от мировых к экранным следующим образом

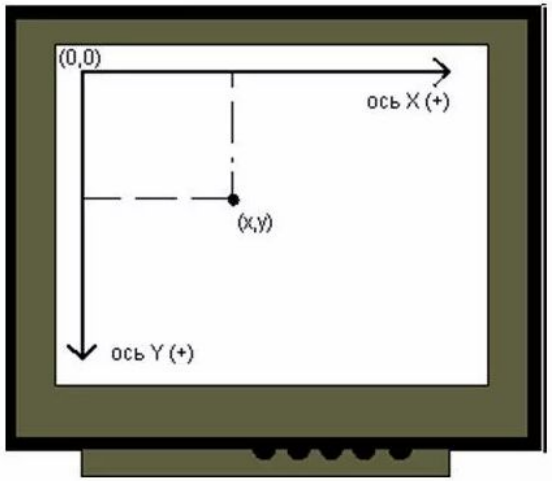
# Системы координат



# Мировая (глобальная) система координат

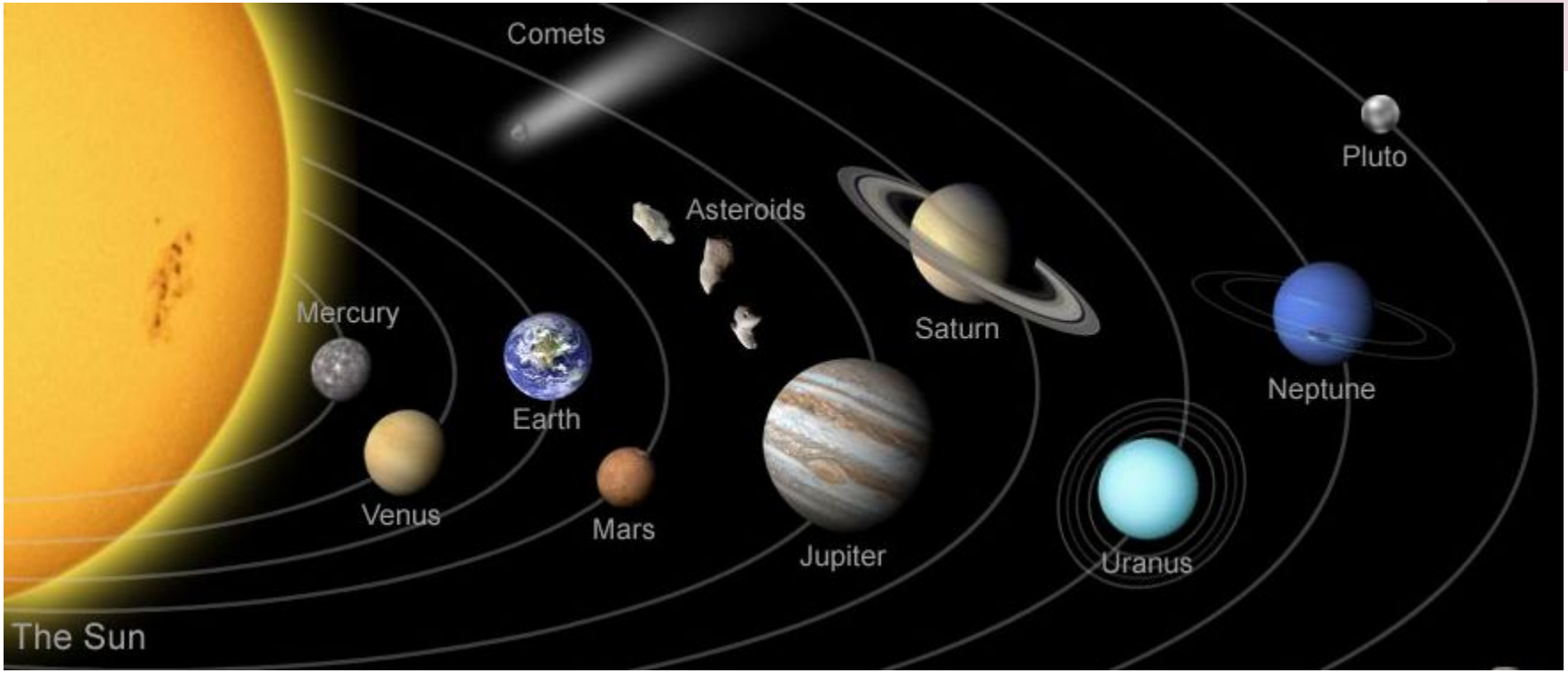
***Мировая система координат*** *(МСК) — xyz — содержит точку отсчета (начало координат) и линейно независимый базис, благодаря которым становится возможным цифровое описание геометрических свойств любого графического объекта в абсолютных единицах.*

# Экранная система координат



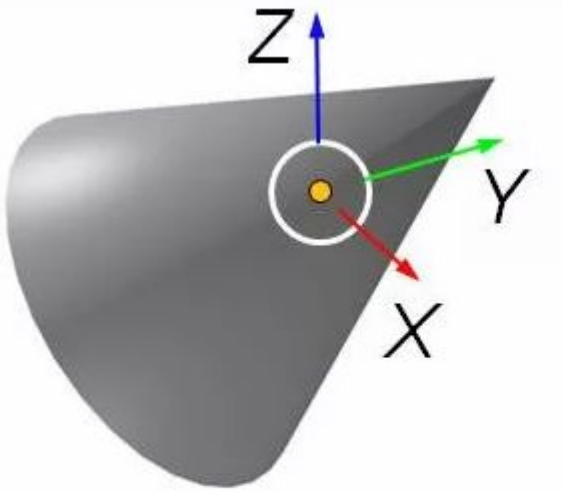
***Экранная система координат*** *(ЭСК) — $x_э y_э z_э$ — система координат, в которой задается положение проекций геометрических объектов на экране дисплея.*

# Система координат сцены

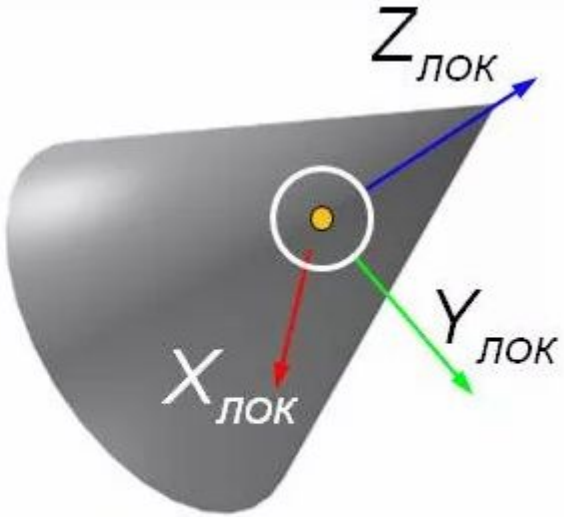



***Система координат сцены*** *(СКС) — $x_c y_c z_c$ — описывает положение всех объектов сцены — некоторой части мирового пространства с собственным началом отсчета и базисом, которые используются для описания положения объектов независимо от МСК.*

# Объектная система координат

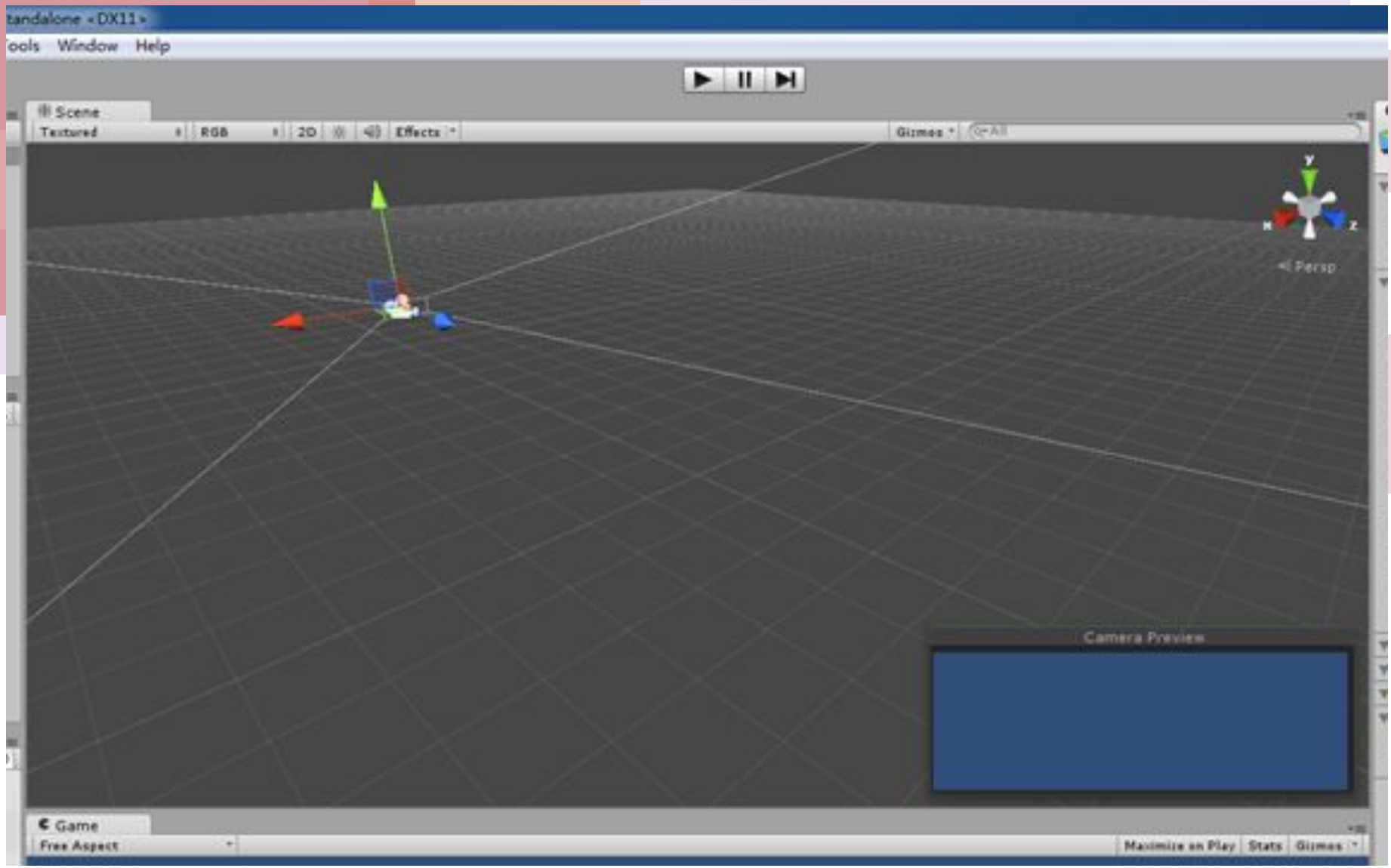


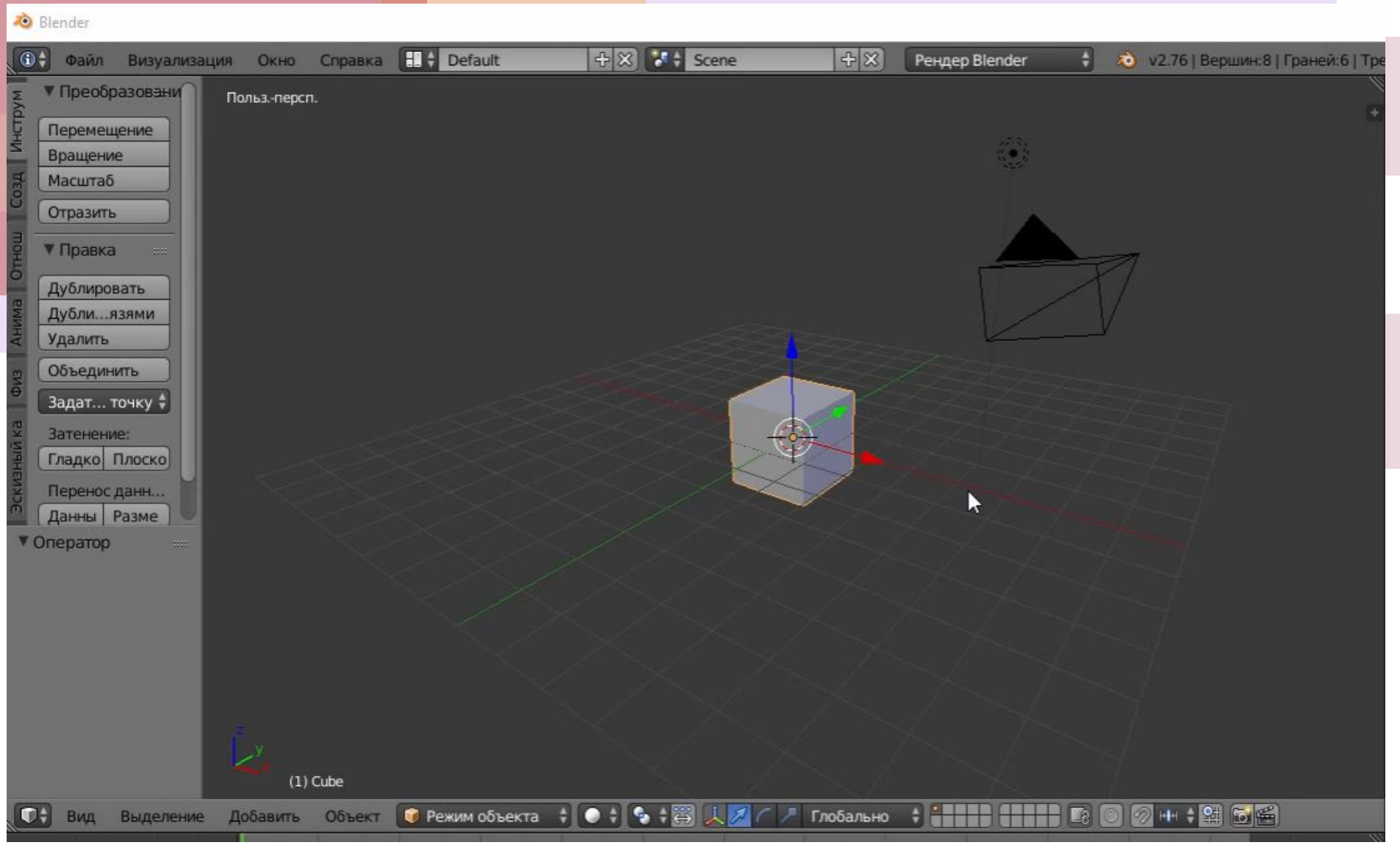

**глобальная («мировая»)**
не зависит от положения объекта

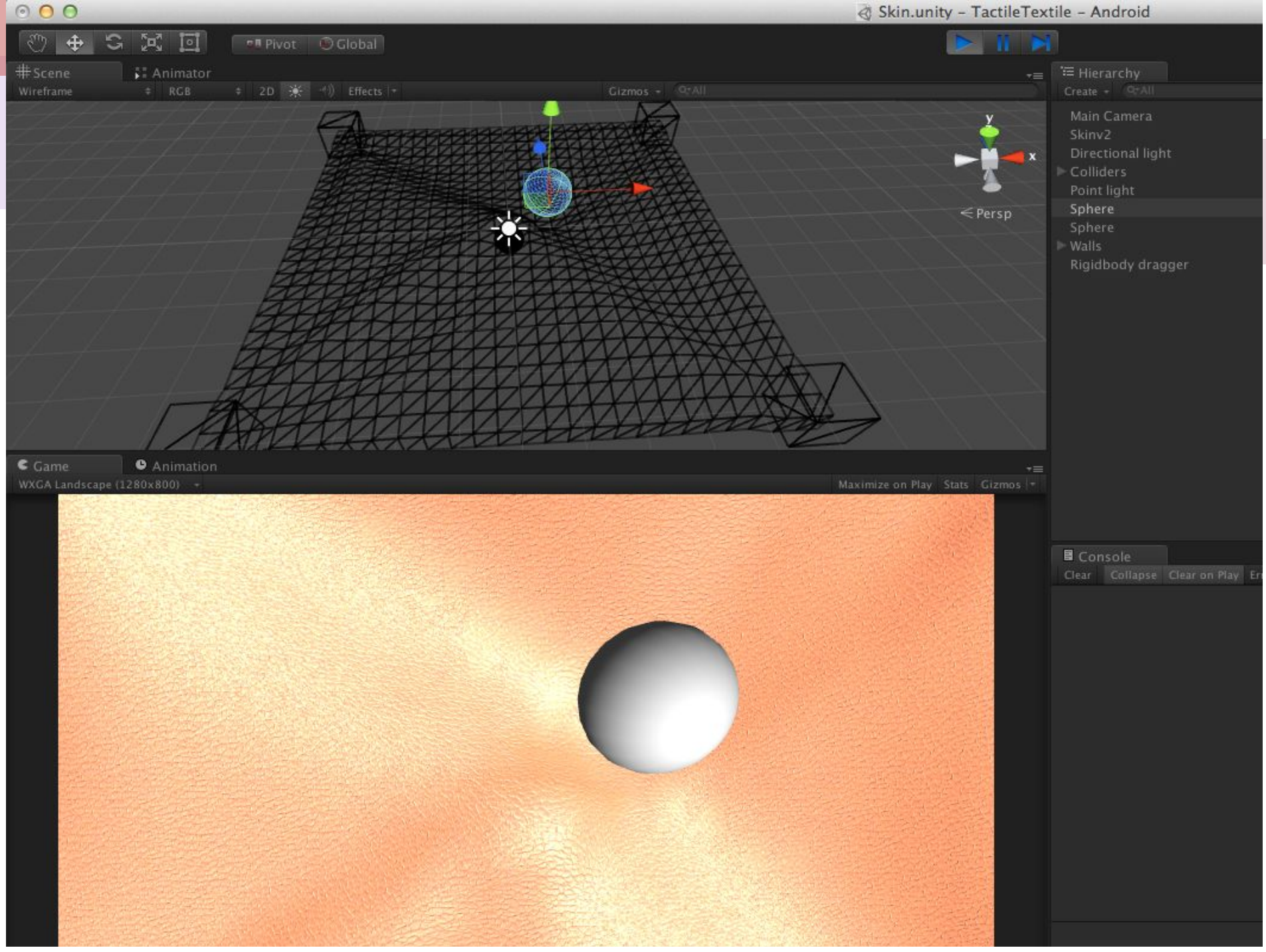



**локальная**
связана с объектом

***Объектная система координат*** *(ОСК) — $x_o y_o z_o$ — связана с конкретным объектом и совершает с ним все движения в СКС или МСК.*

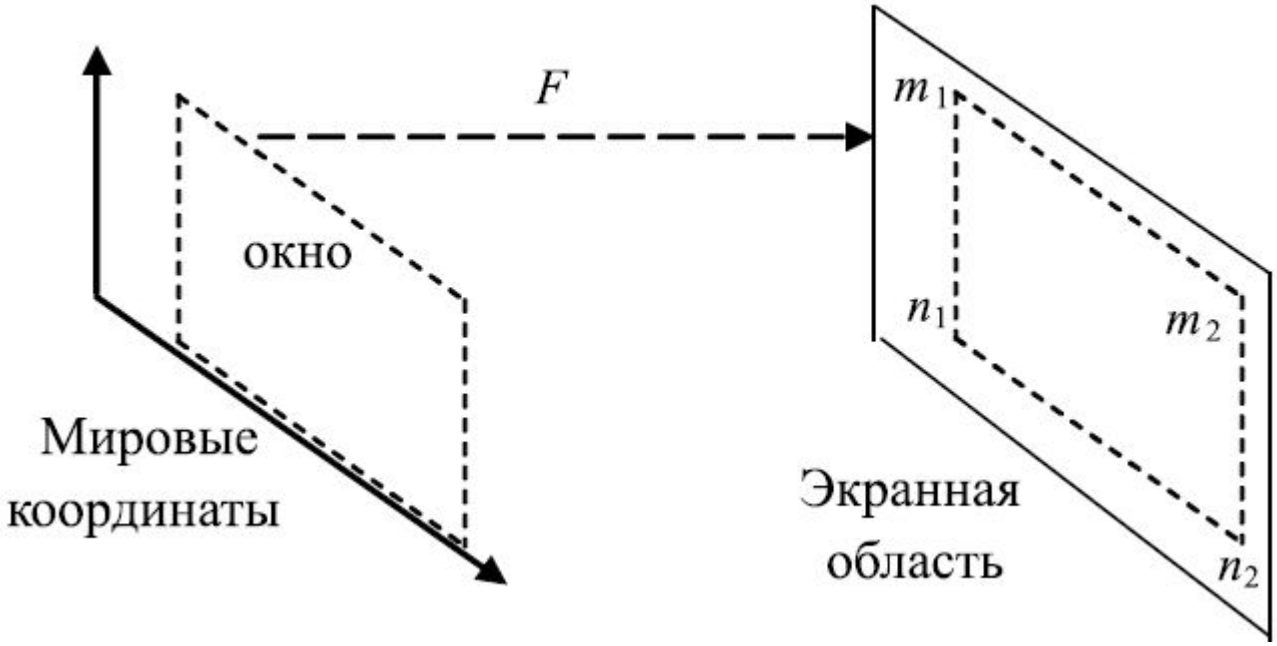

tandalone <DX11>
ools Window Help
Scene
Textured
RGB
2D
Effects
Gizmos
Persp
Camera Preview
Game
Free Aspect
Maximize on Play
Stats
Gizmos


Blender
Файл
Визуализация
Окно
Справка
Default
Scene
Рендер Blender
v2.76 | Вершин:8 | Граней:6 | Тре
Инструм
Созд
Отнош
Анима
Физ
Эскизный ка
Преобразовани
Перемещение
Вращение
Масштаб
Отразить
Правка
Дублировать
Дубли...язями
Удалить
Объединить
Задат... точку
Затенение:
Гладко
Плоско
Перенос данн...
Данны
Разме
Оператор
Польз.-персп.
(1) Cube
Вид
Выделение
Добавить
Объект
Режим объекта
Глобально


Skin.unity – TactileTextile – Android
Pivot
Global
Scene
Animator
Wireframe
RGB
2D
Effects
Gizmos
Persp
Hierarchy
Create
Main Camera
Skinv2
Directional light
Colliders
Point light
Sphere
Sphere
Walls
Rigidbody dragger
Game
Animation
WXGA Landscape (1280x800)
Maximize on Play
Stats
Gizmos
Console
Clear
Collapse
Clear on Play

# Область визуализации и функция кадрирования

Пусть рабочая область визуализации ограничена прямыми $X = n_1$, $Y = m_1$, $X = n_2$, $Y = m_2$. $X$, $Y$ — координаты на экране. Где $m_1$, $m_2$, $n_1$, $n_2$, — координаты растра, и пусть $W = R \times R$ — произвольное прямоугольное окно в мировой системе координат. Тогда функция $F$: $W \to [m_1 : m_2] \times [n_1 : n_2]$ будет называться функцией кадрирования.



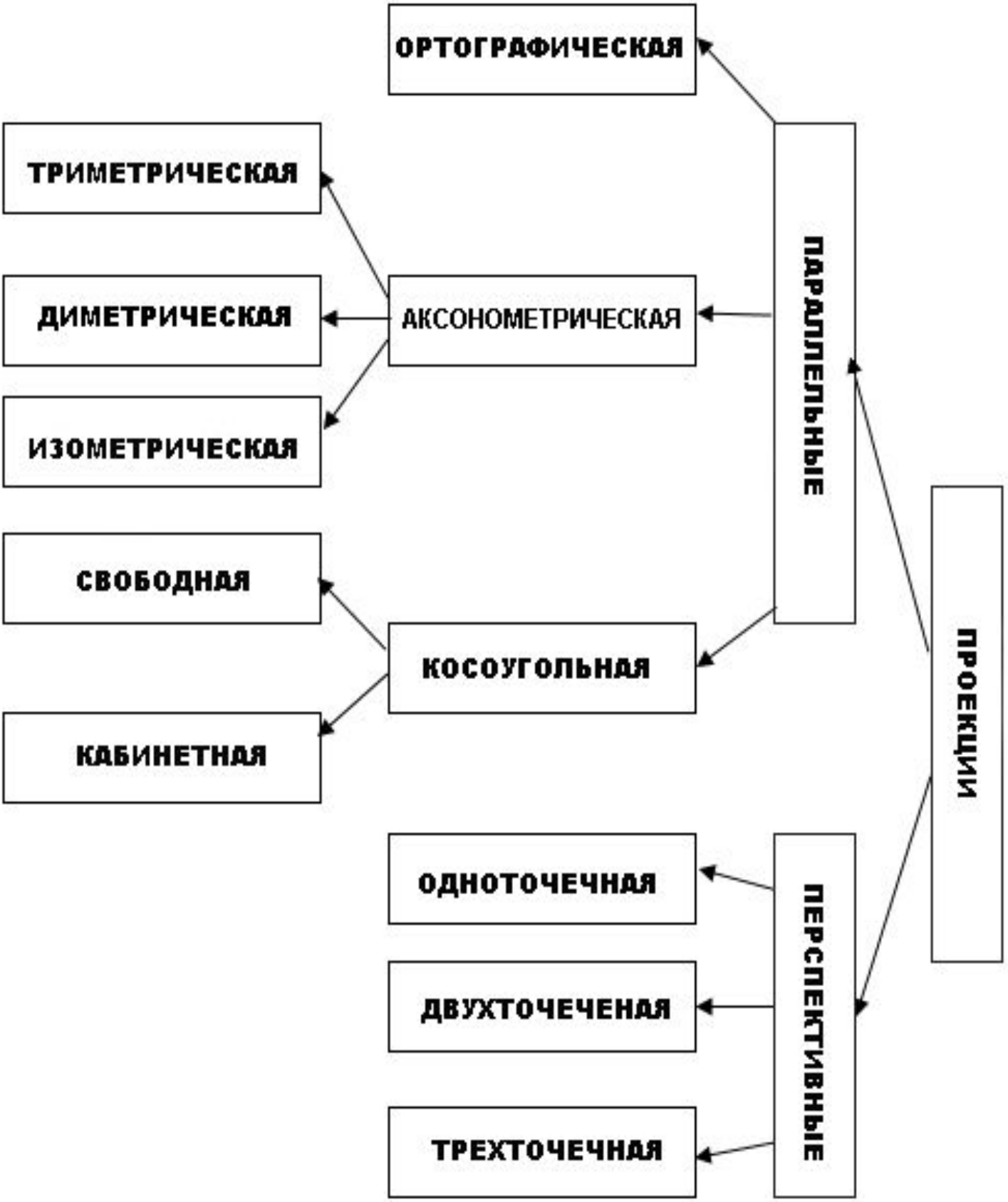
# Функция кадрирования

Вначале вычисляются коэффициенты масштабирования по осям

$$f_x = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad f_y = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}},$$

Затем вычисляем расстояние $X - X_{min}$ точки изображения от левого края экранной области:

$$\begin{cases} X = X_{\min} + f_x(x - x_{\min}) \\ Y = Y_{\min} + f_y(y - y_{\min}) \end{cases}$$


ПРОЕКЦИИ
ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ
ОРТОГРАФИЧЕСКАЯ
АКСОНОМЕТРИЧЕСКАЯ
ТРИМЕТРИЧЕСКАЯ
ДИМЕТРИЧЕСКАЯ
ИЗОМЕТРИЧЕСКАЯ
КОСОУГОЛЬНАЯ
СВОБОДНАЯ
КАБИНЕТНАЯ
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ
ОДНОТОЧЕЧНАЯ
ДВУХТОЧЕЧЕНАЯ
ТРЕХТОЧЕЧНАЯ

# Параллельное проектирование

## *Ортографическая проекция*

$$[P_x] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

**Матрица проектирования вдоль оси X на плоскость YOZ**

**Если плоскость проектирования параллельна координатной плоскости, необходимо умножить матрицу на матрицу переноса:**

$$\left[P_x^{\lambda}\right]=\left[P_x\right]\cdot\left[T_x\right]=\begin{bmatrix}0&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&1&0\\0&0&0&1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&1&0\\\lambda&0&0&1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&1&0\\\lambda&0&0&1\end{bmatrix}.$$

$$\left[P_y^{\mu}\right]=\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&0&0&0\\0&0&1&0\\0&\mu&0&1\end{bmatrix},\quad\left[P_z^{\nu}\right]=\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&0&0\\0&0&\nu&1\end{bmatrix}.$$

# *Аксонометрическая проекция*

**Триметрия** – нормаль к картинной плоскости образует с ортами координатных осей попарно различные углы.

$$[T]=\begin{bmatrix} 0.866 & 0.354 & 0 & 0 \\ 0 & 0.707 & 0 & 0 \\ 0.5 & -0.612 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

# *Аксонометрическая проекция*

**Диметрия** – два угла между нормалью к картинной плоскости и координатными осями равны.

$$[D]=\begin{bmatrix} 0.926 & 0.134 & 0 & 0 \\ 0 & 0.935 & 0 & 0 \\ 0.378 & -0.327 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

# Аксонометрическая проекция

**Изометрия** – все три угла между нормалью к картинной плоскости и координатными осями равны.

$$[I]=\begin{bmatrix} 0.707 & -0.408 & 0 & 0 \\ 0 & 0.816 & 0 & 0 \\ -0.707 & -0.408 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

# Параллельное проектирование

## *Косоугольная проекция*

**При косоугольном проектировании на плоскость XOY имеем:**

$$(0\ \ 0\ \ 1\ \ 1)\ \ (\alpha\ \ \beta\ \ 0\ \ 1).$$

**Матрица преобразования имеет вид:**

$$[K_z]=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \alpha & \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

# *Косоугольная проекция*

1. **Свободная проекция:**

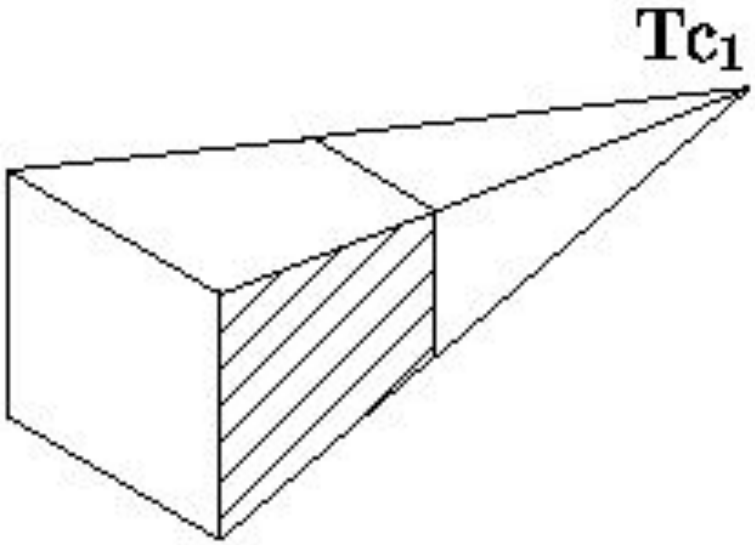
$$\alpha = \beta = \cos\frac{\pi}{4}.$$

2. **Кабинетная проекция:**

$$\alpha = \beta = \frac{1}{2}\cos\frac{\pi}{4}.$$

# Перспективное проектирование

## *Одноточечное перспективное преобразование*




$$[E_z] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

# Одноточечное перспективное преобразование

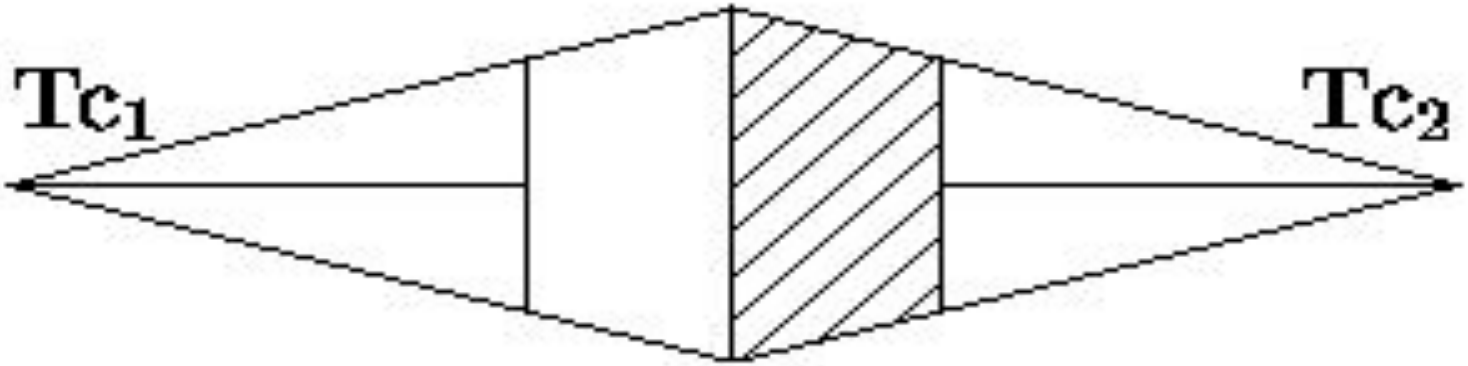
$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{x}{r \cdot z + 1} & \dfrac{y}{r \cdot z + 1} & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & r \end{bmatrix}.$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1/r & 1 \end{bmatrix}$$

# Перспективное проектирование

## *Двухточечное перспективное преобразование*



# Двухточечное перспективное преобразование

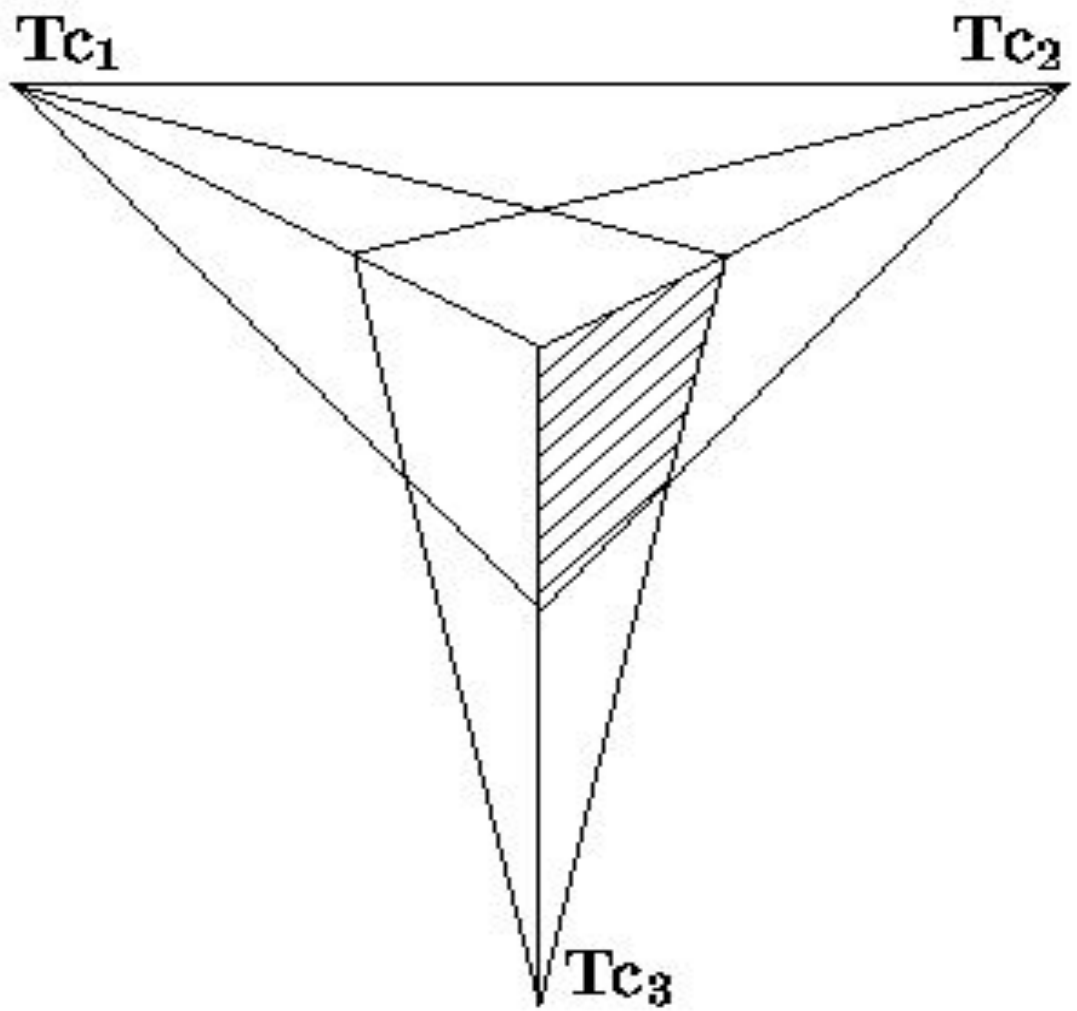
$$[x \quad y \quad z \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p \\ 0 & 1 & 0 & q \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \left[ \frac{x}{p \cdot x + q \cdot y + 1} \quad \frac{y}{p \cdot x + q \cdot y + 1} \quad \frac{z}{p \cdot x + q \cdot y + 1} \quad 1 \right].$$

$$\left[ 1/p \quad 0 \quad 0 \quad 1 \right] \qquad \left[ 0 \quad 1/q \quad 0 \quad 1 \right]$$

# Перспективное проектирование

## *Трехточечное перспективное преобразование*



$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p \\ 0 & 1 & 0 & q \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \dfrac{x}{p \cdot x + q \cdot y + r \cdot z + 1} & \dfrac{y}{p \cdot x + q \cdot y + r \cdot z + 1} & \dfrac{z}{p \cdot x + q \cdot y + r \cdot z + 1} & 1 \end{bmatrix}.$$

- на оси x: $\begin{bmatrix} 1/p & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
- на оси y: $\begin{bmatrix} 0 & 1/q & 0 & 1 \end{bmatrix}$
- на оси z: $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1/r & 1 \end{bmatrix}$

**OpenGL (Open Graphic Library) – библиотека графических функций, интерфейс для графических прикладных программ.**

# Преимущества OpenGL

**Open Graphics Library — открытая графическая библиотека, графическое API — спецификация, определяющая независимый от языка программирования кроссплатформенный программный интерфейс для написания приложений, использующих двумерную и трёхмерную компьютерную графику.**

# OpenGL

- Включает более 250 функций для рисования сложных трёхмерных сцен из простых (2D) примитивов.
- Используется при создании компьютерных игр, САПР, виртуальной реальности, визуализации в научных исследованиях.

# История развития OpenGL

## Continuing OpenGL Innovation

Bringing state-of-the-art functionality to cross-platform graphics

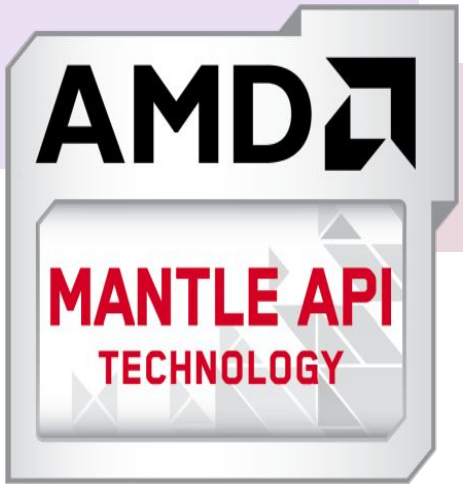
OpenGL 4.5
OpenGL 4.4
OpenGL 4.3
OpenGL 4.2
OpenGL 4.1
OpenGL 3.3/4.0
OpenGL 3.2
OpenGL 3.1
OpenGL 2.0
OpenGL 2.1
OpenGL 3.0

| 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DirectX 9.0c | | DirectX 10.0 | | DirectX 10.1 | | DirectX 11 | | DirectX 11.1 | | DirectX 11.2 |

KHRONOS GROUP

© Copyright Khronos Group 2014 - Page 6

# История развития OpenGL




- **2015 Mantle -** спецификация низкоуровневого API, разработанная компанией AMD в качестве альтернативы DirectX и OpenGL.
- **Февраль 2016 -** Первый публичный релиз Vulkan.
- **Март 2018 –** Vulkan 1.1, открытый графический API доступен на Windows, Linux, Android, Nintendo Switch и различных облачных системах, но его не поддерживает ни одна платформа Apple.

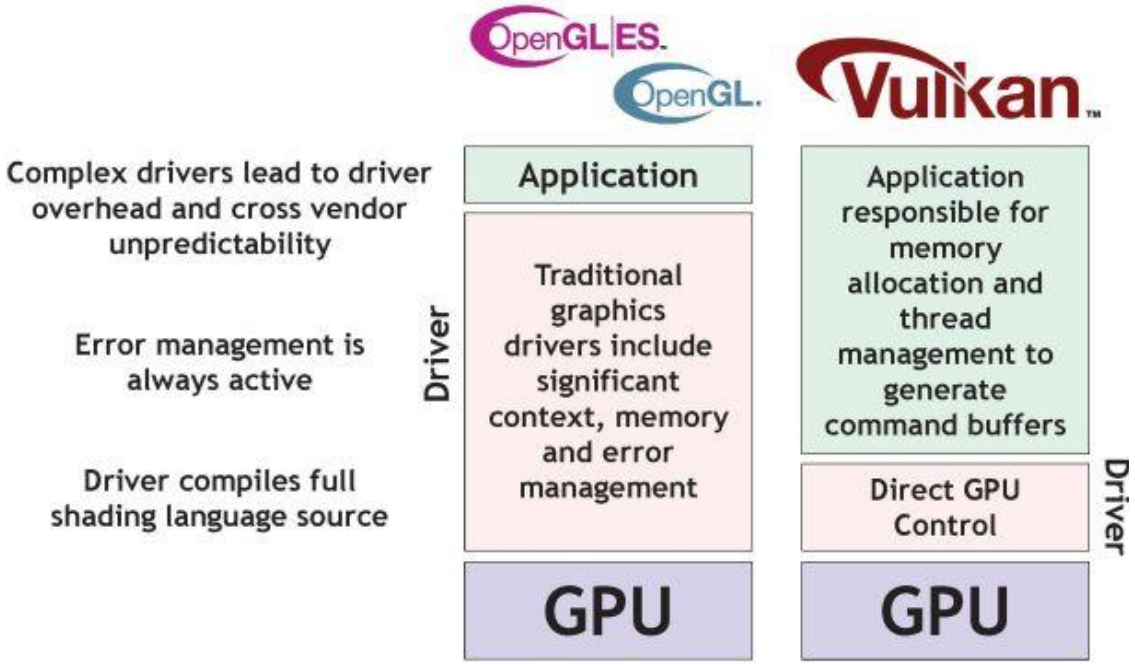
KHRONOS™ GROUP
CONNECTING SOFTWARE TO SILICON

Vulkan

# MoltenVK

- **Единственная возможность работать с Vulkan на MacOS**
- **Стоисть ≈250$**
- **Работает с потерей производительности**

# Vulkan Explicit GPU Control




- **Ручное управление памятью**
- **Отсутствие проверок в драйвере**
- **Спроектирован для многопоточности**

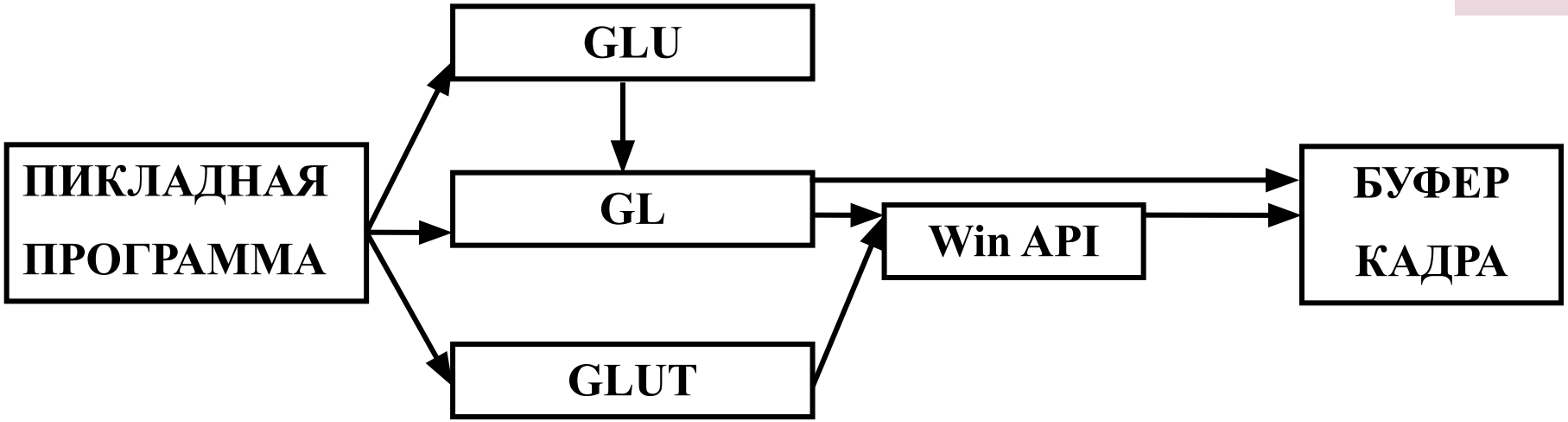
KHRONOS GROUP

| Сравнение | OpenGL 2.x | OpenGL 4.x | DirectX 12 | Vulkan |
|---|---|---|---|---|
| Платформы | **Win/Unix/Mac** | **Win/Unix/Mac** | **Win** | * |
| Временная эффективность | Минимальная | Средняя | Максималь-ная | Максималь-ная |

- **- Vulkan это:**
- **а) Лишь стандарт, а значит реализация лежит на разработчиках драйверов.**
- **б) Очень молодой стандарт (~2 года)**

► **На данный момент  нет поддержки для MacOS.**

# Интерфейс OpenGL




- Graphics Library (GL)
- Graphics Library Utility (GLU)
- Graphics Library Utility Toolkit (GLUT)

# Соглашение о наименовании функций

```
glBegin(<тип>);      // указываем тип примитива
    glVertex[2 3][ i f v](...); // первая вершина
    ……..// остальные вершины
    glVertex[2 3][ i f v](...); // последняя вершина
glEnd;
```

***В OpenGL левый нижний угол области вывода имеет координаты [-1; -1], правый верхний [1; 1].***

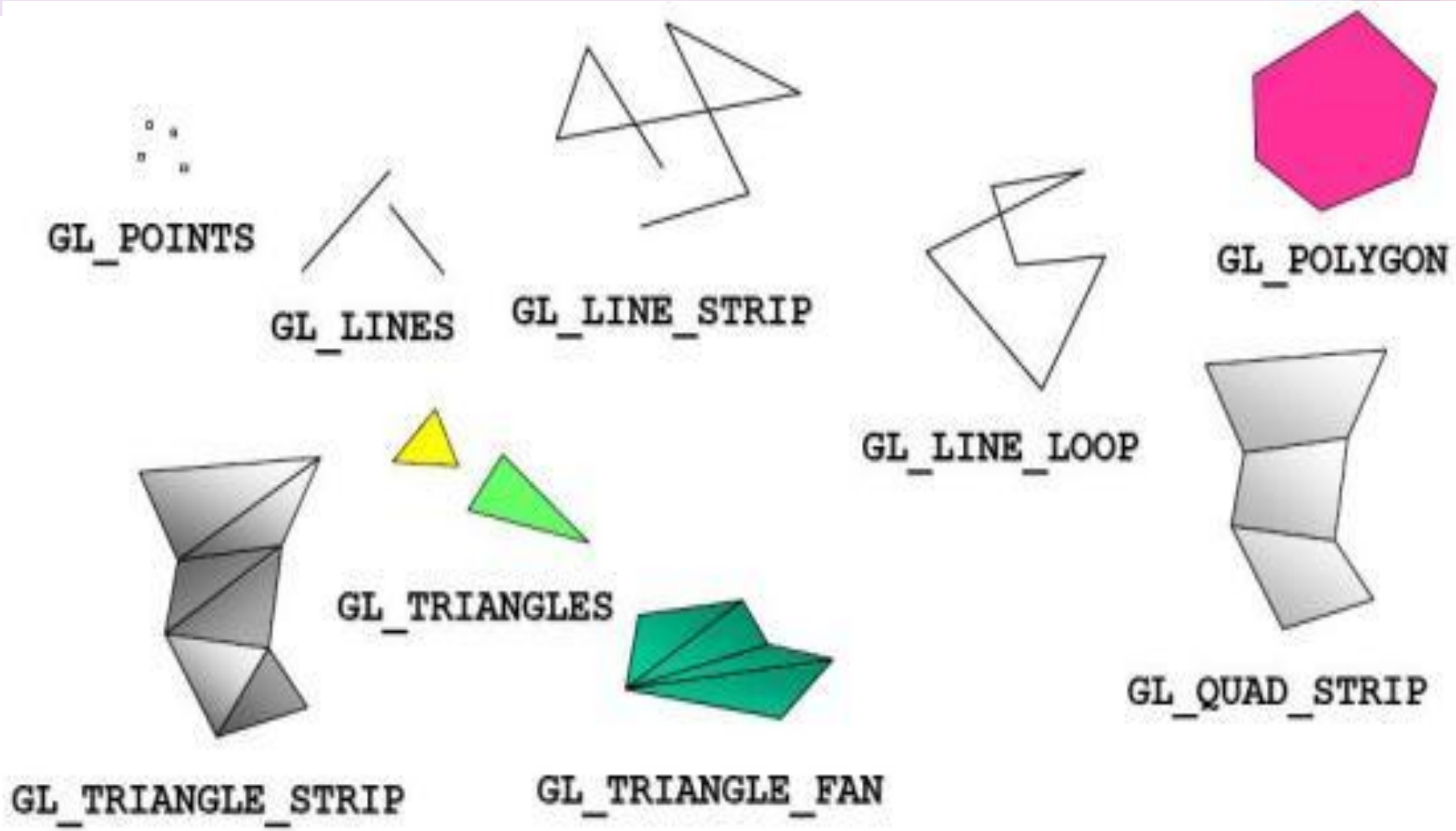
# Визуализация двумерных объектов

| Значение <тип> | Описание |
|---|---|
| GL_POINTS | Каждый вызов glVertex задает отдельную точку |
| GL_LINES | Каждая пара вершин задает отрезок |
| GL_LINE_STRIP | Рисуется ломанная |
| GL_LINE_LOOP | Рисуется ломанная, причем ее последняя точка соединяется с первой |

# Визуализация двумерных объектов

| | |
|---|---|
| **GL_TRIANGLES** | **Тройки вершин образуют треугольник** |
| **GL_TRIANGLE_STRIP** | **Связанные треугольники** |
| **GL_TRIANGLE_FAN** | **Связанные треугольники с общей первой вершиной** |
| **GL_QUADS** | **Каждые четыре вершины образуют четырехугольники** |
| **GL_QUAD_STRIP** | **Связанные четырехугольники** |
| **GL_POLYGON** | **Один выпуклый многоугольник** |

# Визуализация двумерных объектов



# Область вывода

**После применения матрицы проекций на вход следующего преобразования подаются усеченные координаты, для которых значения всех компонент**

***(xc, yc, zc, wc)T* находятся в отрезке [-1,1].**

**После этого находятся нормализованные координаты вершин по формуле:**

$$(xn, yn, zn)T=(xc/wc, yc/wc, zc/wc)T.$$

**Область вывода:**

**glViewPort(x, y, width, height: GLint).**

# МАТРИЦЫ OPENGL

**glMatrixMode**(mode);

Mode:

- *Видовая:* ***GL_MODELVIEW,***
- *Проекций:* ***GL_PROJECTION,***
- *Текстуры:* ***GL_TEXTURE***

***glLoadIdentity = glPushMatrix***
***glPopMatrix***

# ПРЕОБРАЗОВАНИЯ OPENGL

- **Масштабирование:**

  **glScale[2 3] [I f d] (α, β ,γ);**

  **α – относительно оси абсцисс,**

  **β – ординат; γ –аппликат.**

- **Поворот:**

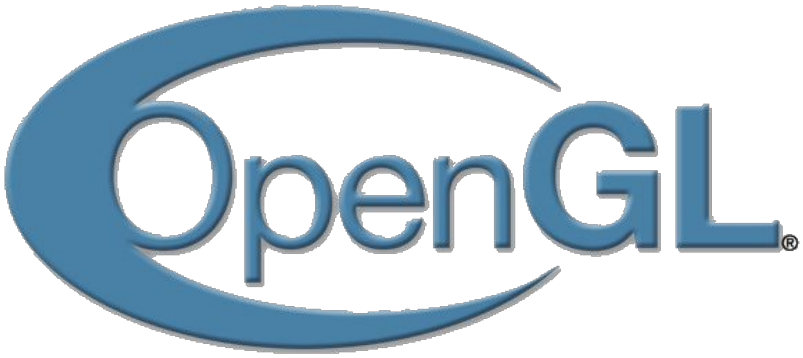
  **glRotate[2 3] [I f d] (α , x, y, z);**

  **Значения x, y, z** $\in \{0,1\}$

- **Сдвиг:**

  **glTranslate[2 3] [I f d] (dx, dy, dz);**

# Tao Framework: OpenGL + C#



TAO

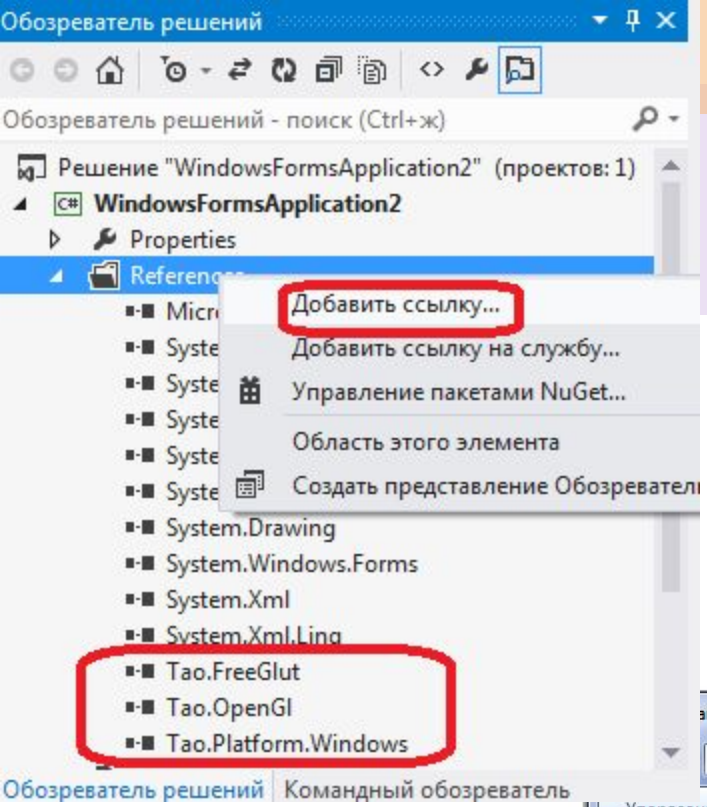
# Установка

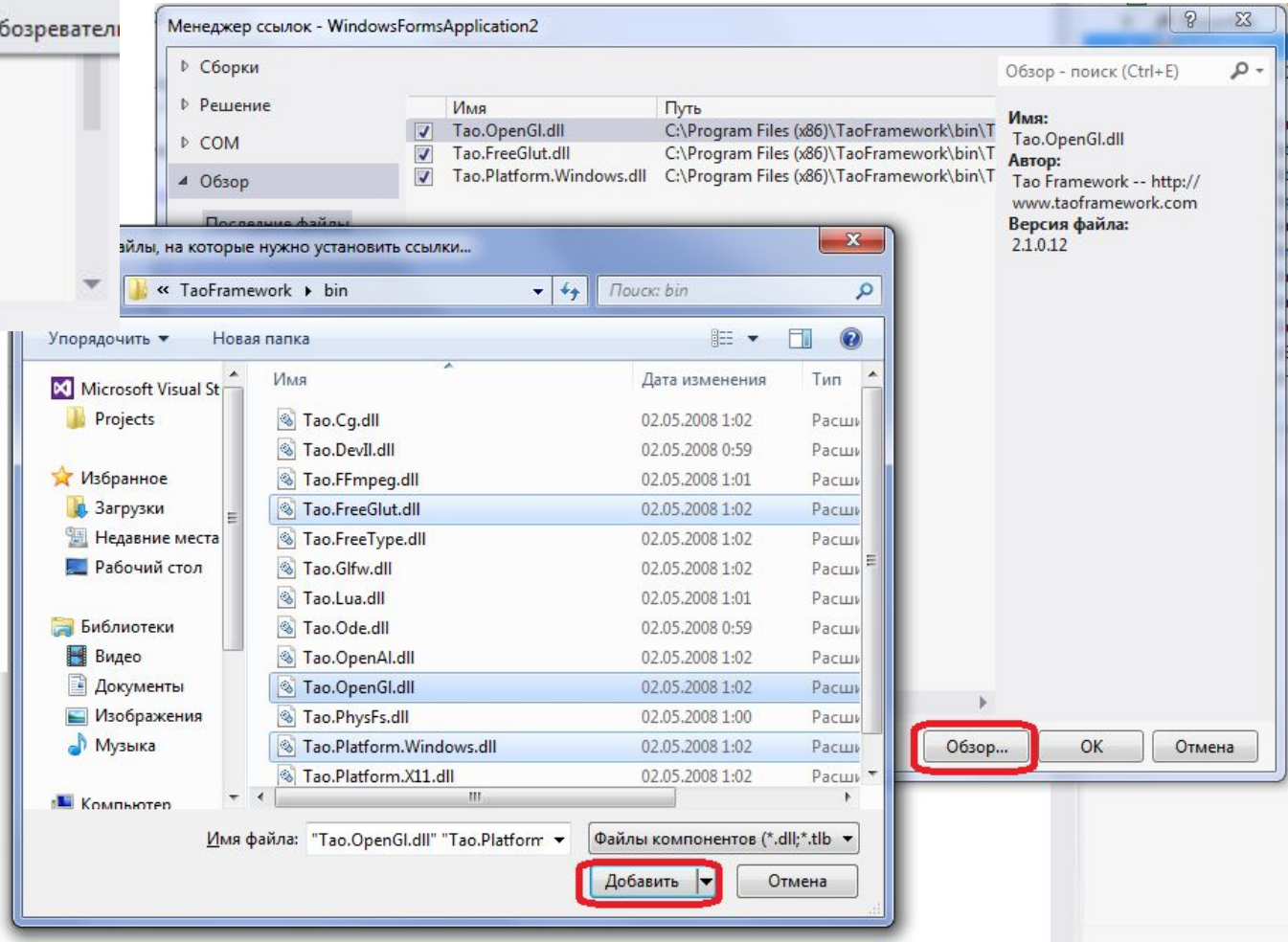
Скачать Tao Framework можно с официальной страницы фреймворка на sourceforge.net:

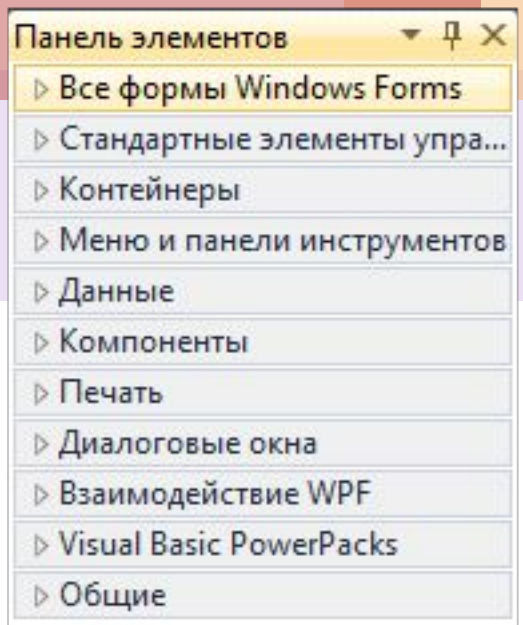
www.sourceforge.net/projects/taoframework

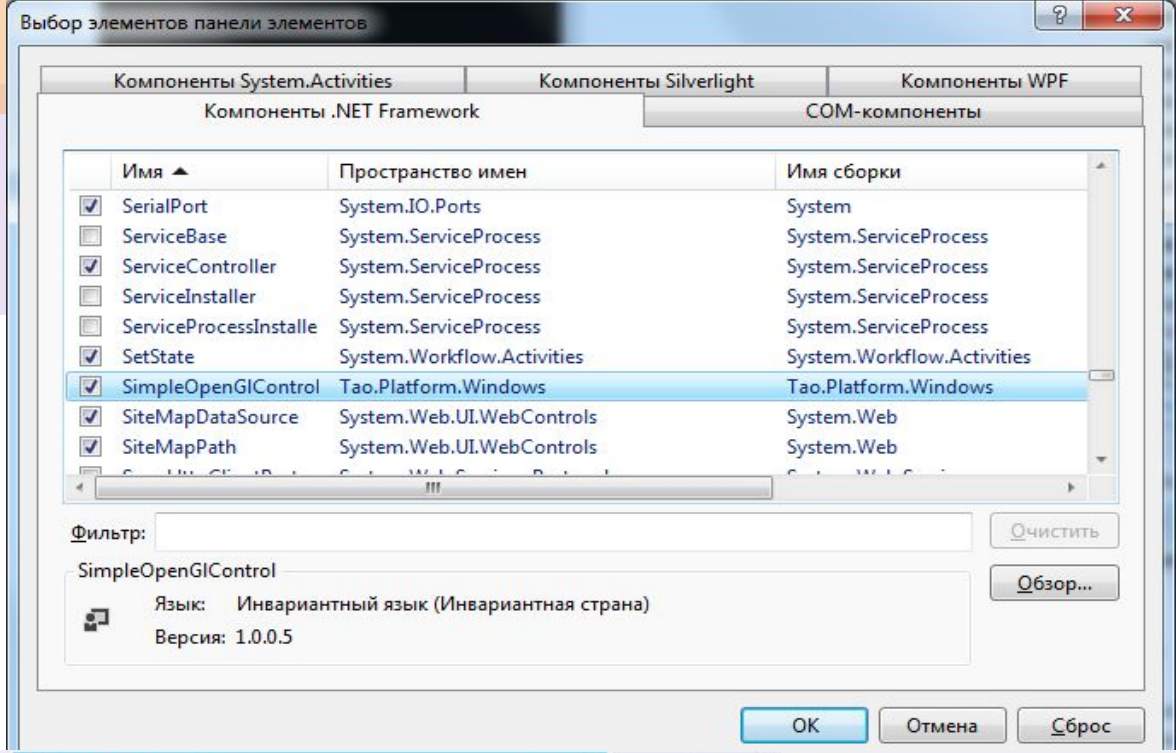
Установка крайне проста, состоит из нажатий кнопки "далее", ошибки могут возникнуть в случае, если у вас нет .NET 2.0 или выше, но, по умолчанию, он устанавливается вместе с Visual Studio.

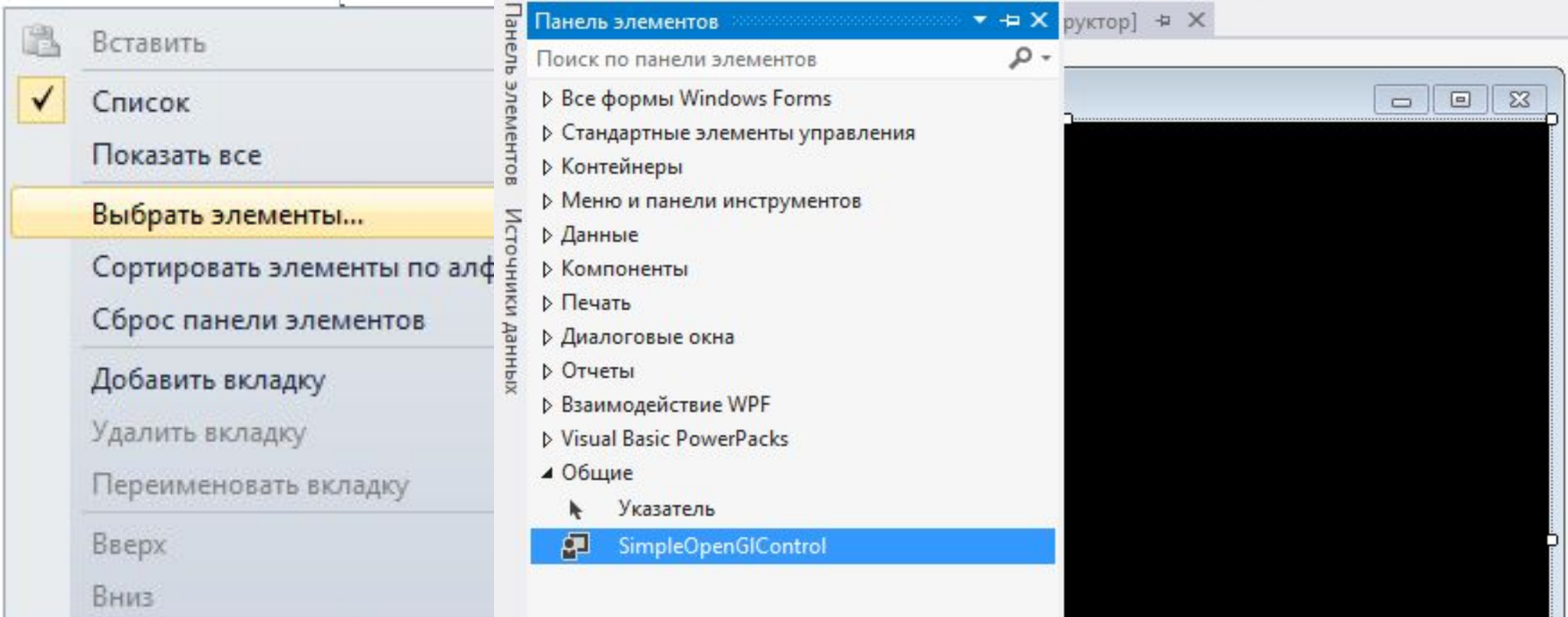
В открывшемся окне «Добавить ссылку» перейдите к закладке «Обзор». После этого перейдите к директории, в которую была установлена библиотека **Tao Framework**. (По умолчанию – "C:\Program Files\Tao Framework").



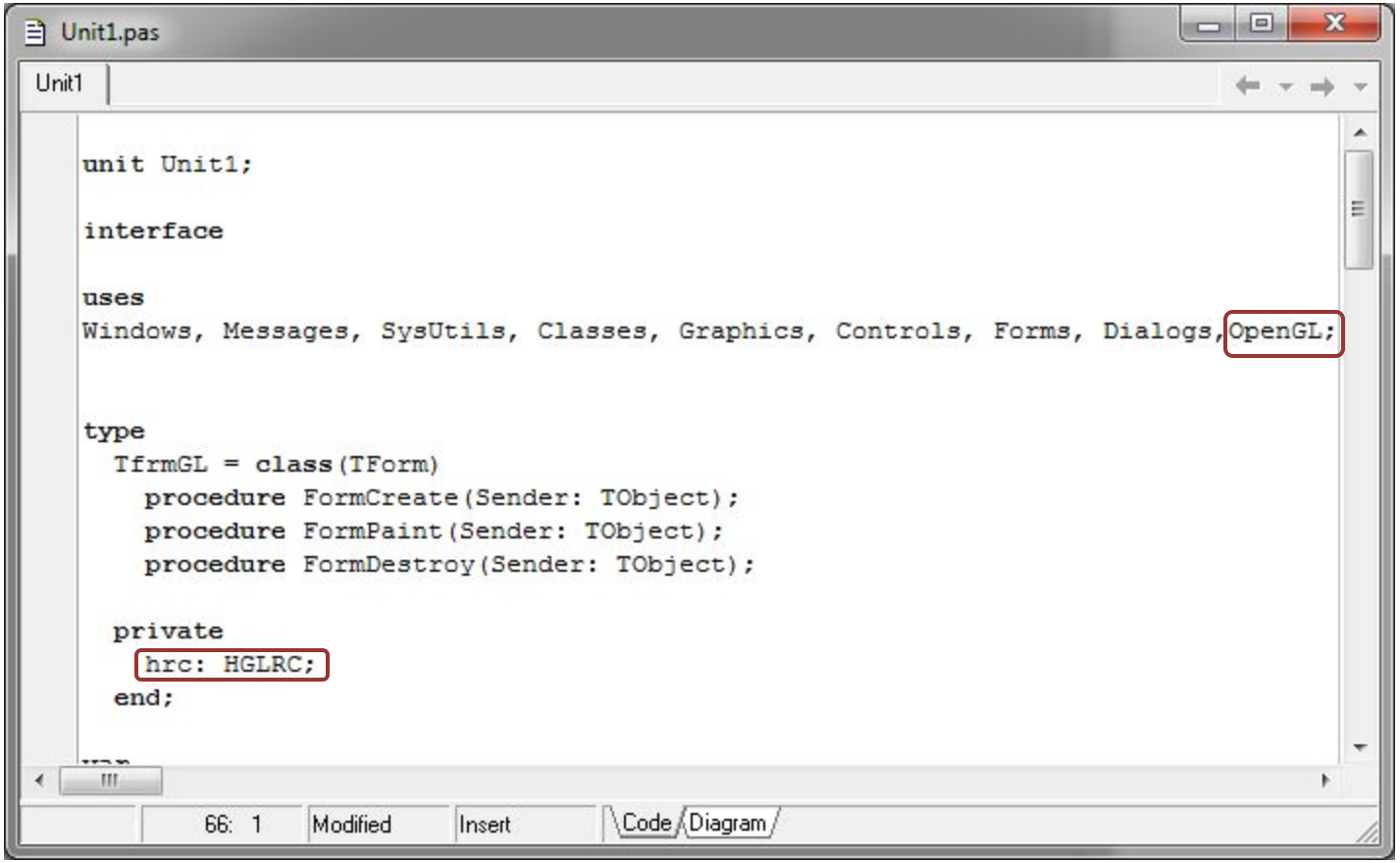




Панель элементов
Все формы Windows Forms
Стандартные элементы упра...
Контейнеры
Меню и панели инструментов
Данные
Компоненты
Печать
Диалоговые окна
Взаимодействие WPF
Visual Basic PowerPacks
Общие

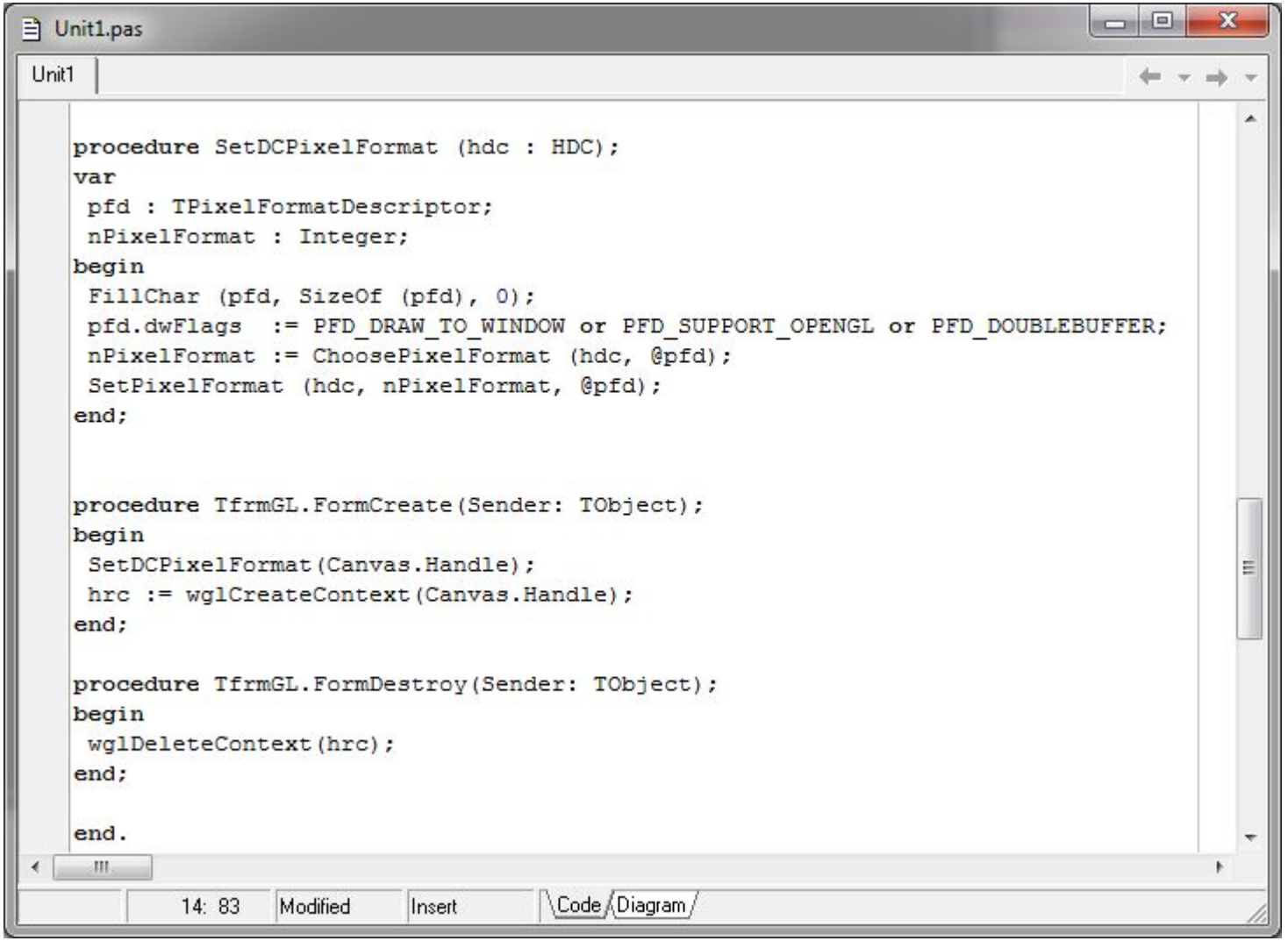

Выбор элементов панели элементов
Компоненты System.Activities
Компоненты Silverlight
Компоненты WPF
Компоненты .NET Framework
COM-компоненты
Имя
Пространство имен
Имя сборки
SerialPort
System.IO.Ports
System
ServiceBase
System.ServiceProcess
System.ServiceProcess
ServiceController
System.ServiceProcess
System.ServiceProcess
ServiceInstaller
System.ServiceProcess
System.ServiceProcess
ServiceProcessInstalle
System.ServiceProcess
System.ServiceProcess
SetState
System.Workflow.Activities
System.Workflow.Activities
SimpleOpenGlControl
Tao.Platform.Windows
Tao.Platform.Windows
SiteMapDataSource
System.Web.UI.WebControls
System.Web
SiteMapPath
System.Web.UI.WebControls
System.Web
Фильтр:
Очистить
SimpleOpenGlControl
Обзор...
Язык: Инвариантный язык (Инвариантная страна)
Версия: 1.0.0.5
OK
Отмена
Сброс


Вставить
Список
Показать все
Выбрать элементы...
Сортировать элементы по алф
Сброс панели элементов
Добавить вкладку
Удалить вкладку
Переименовать вкладку
Вверх
Вниз
Панель элементов
Источники данных
Панель элементов
Поиск по панели элементов
Все формы Windows Forms
Стандартные элементы управления
Контейнеры
Меню и панели инструментов
Данные
Компоненты
Печать
Диалоговые окна
Отчеты
Взаимодействие WPF
Visual Basic PowerPacks
Общие
Указатель
SimpleOpenGlControl

# OpenGL + Delphi (Object Pascal)



# Визуализация двумерных объектов



# Визуализация двумерных объектов

Unit1.pas

Unit1

```
procedure SetDCPixelFormat (hdc : HDC);
var
 pfd : TPixelFormatDescriptor;
 nPixelFormat : Integer;
begin
 FillChar (pfd, SizeOf (pfd), 0);
 pfd.dwFlags  := PFD_DRAW_TO_WINDOW or PFD_SUPPORT_OPENGL or PFD_DOUBLEBUFFER;
 nPixelFormat := ChoosePixelFormat (hdc, @pfd);
 SetPixelFormat (hdc, nPixelFormat, @pfd);
end;

procedure TfrmGL.FormCreate(Sender: TObject);
begin
 SetDCPixelFormat(Canvas.Handle);
 hrc := wglCreateContext(Canvas.Handle);
end;

procedure TfrmGL.FormDestroy(Sender: TObject);
begin
 wglDeleteContext(hrc);
end;

end.
```

nPixelFormat = 2

60: 1 | Modified | Insert | Code | Diagram

# Визуализация двумерных объектов

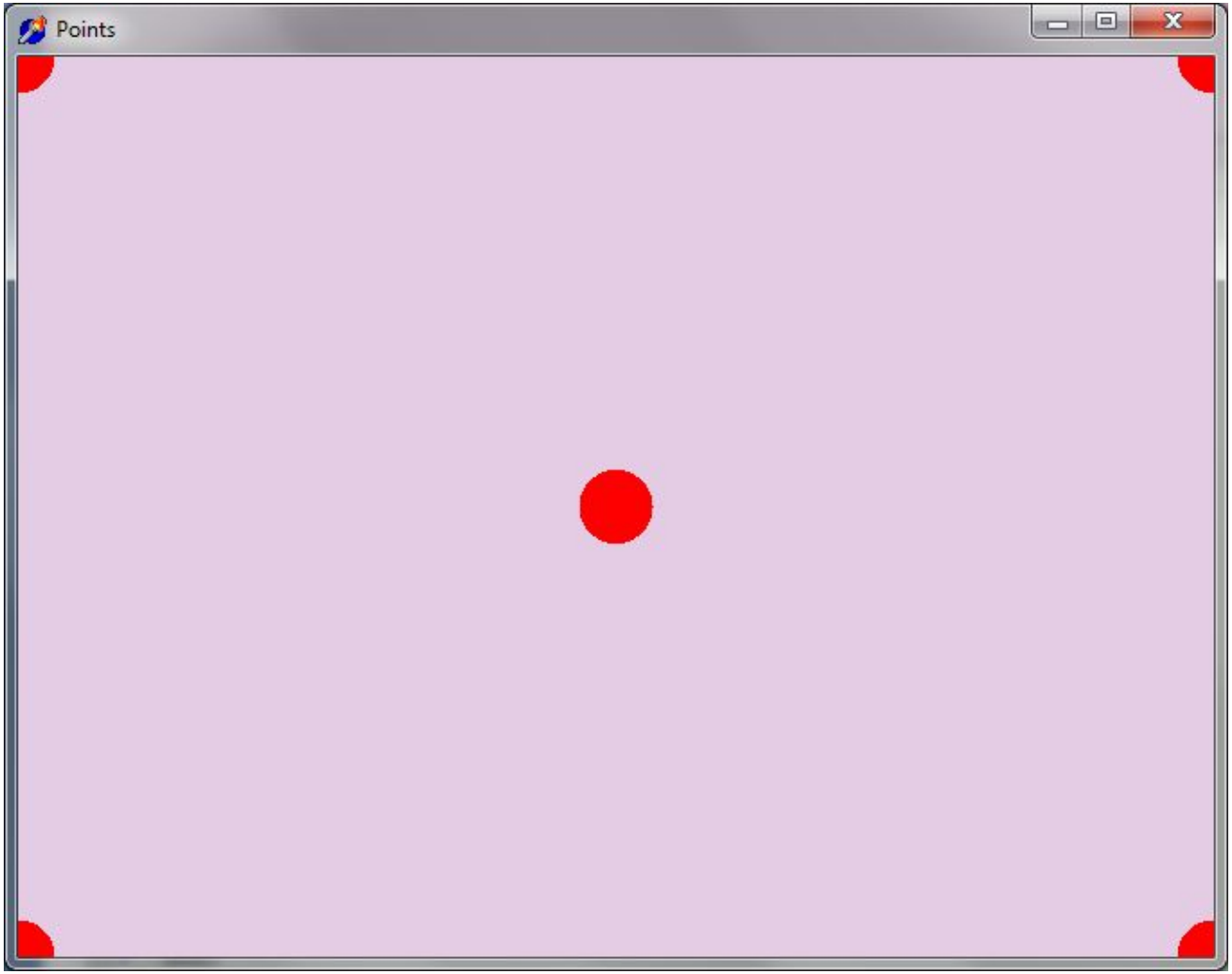
Unit1.pas

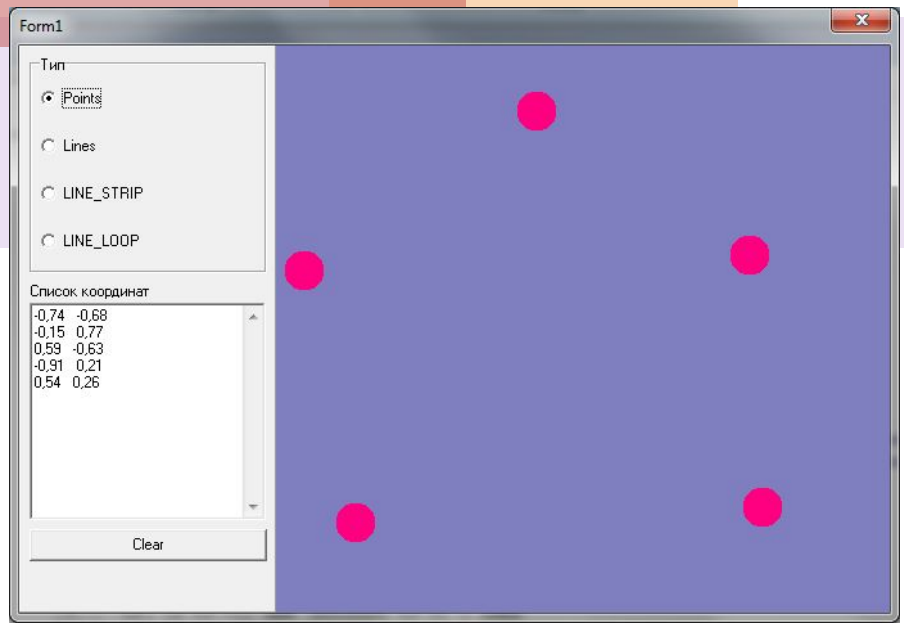
Unit1

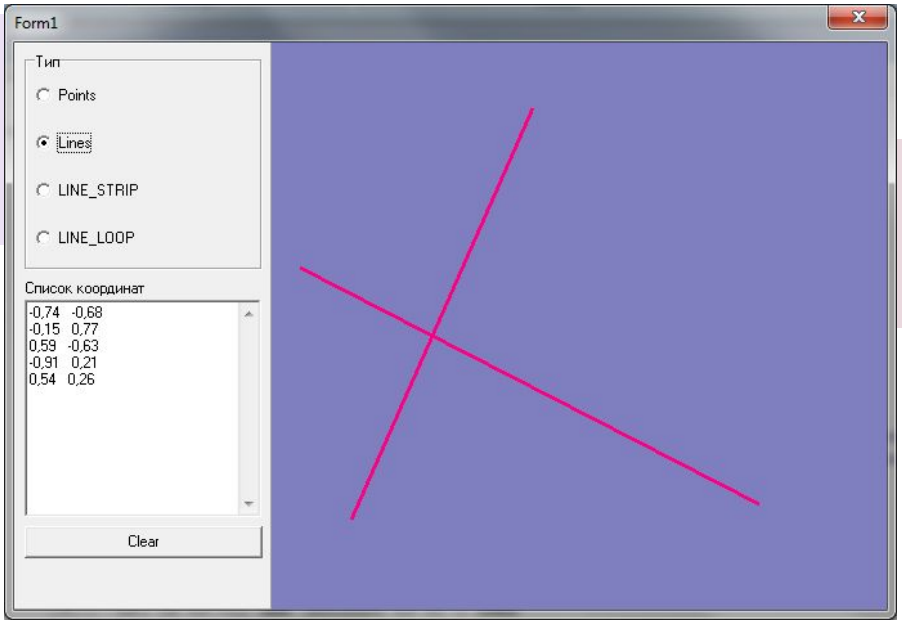
```
procedure TfrmGL.FormPaint(Sender: TObject);
begin
 wglMakeCurrent(Canvas.Handle, hrc);

 glViewPort (0, 0, ClientWidth, ClientHeight); // область вывода

 glClearColor (0.9, 0.8, 0.9, 1.0); // цвет фона
 glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT);       // очистка буфера цвета

 glPointSize (40);                    // размер точек
 glColor3f (1.0, 0.0, 0.0);           // текущий цвет примитивов
 glEnable(GL_POINT_SMOOTH);
 glBegin (GL_POINTS);                 // открываем командную скобку
   glVertex2f (-1, -1);
   glVertex2f (-1, 1);
   glVertex2f (0, 0);
   glVertex2f (1, -1);
   glVertex2f (1, 1);
 glEnd;                               // закрываем командную скобку

 SwapBuffers(Canvas.Handle);          // содержимое буфера - на экран
 wglMakeCurrent(0, 0);
end;
```

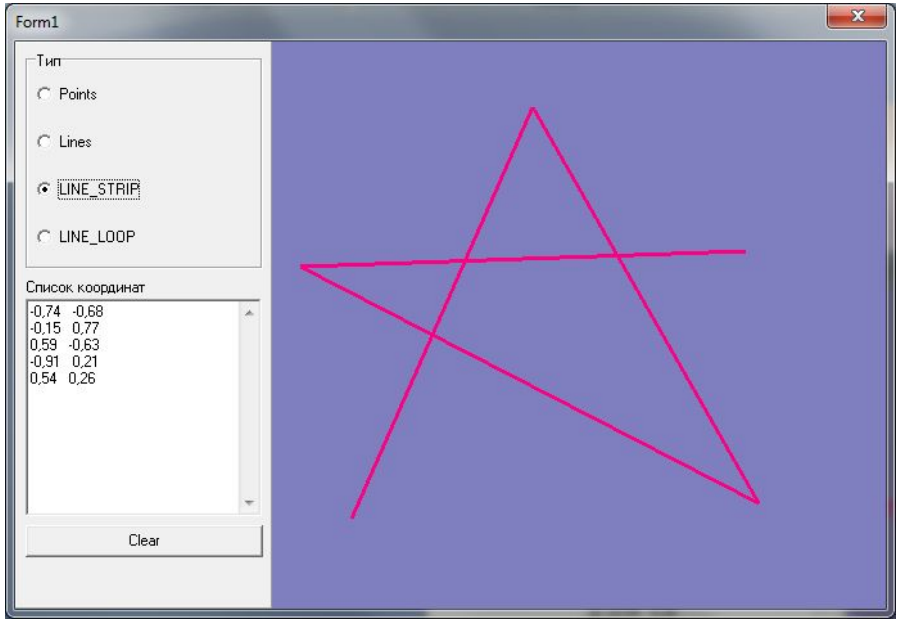
21: 12 | Modified | Insert | Code | Diagram

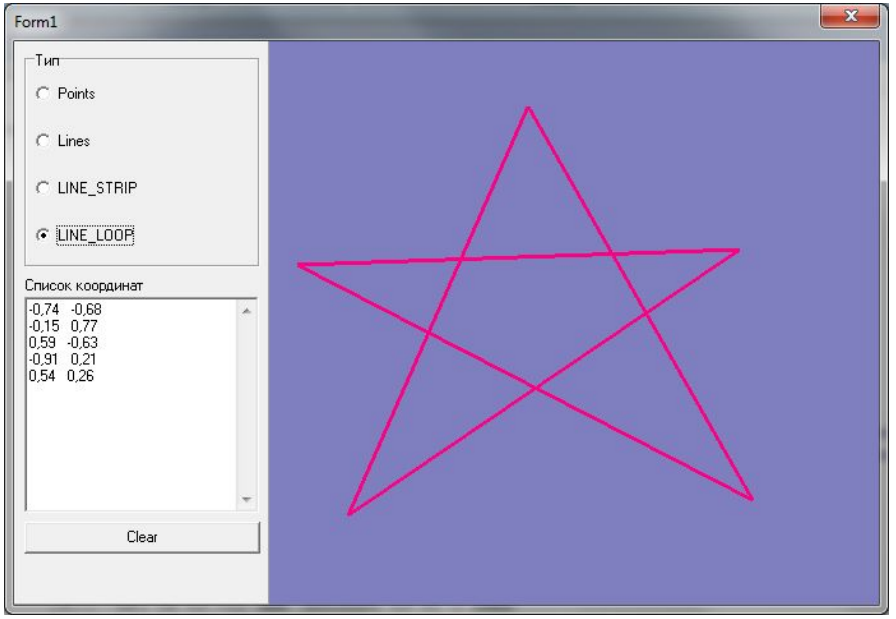
# Визуализация двумерных объектов



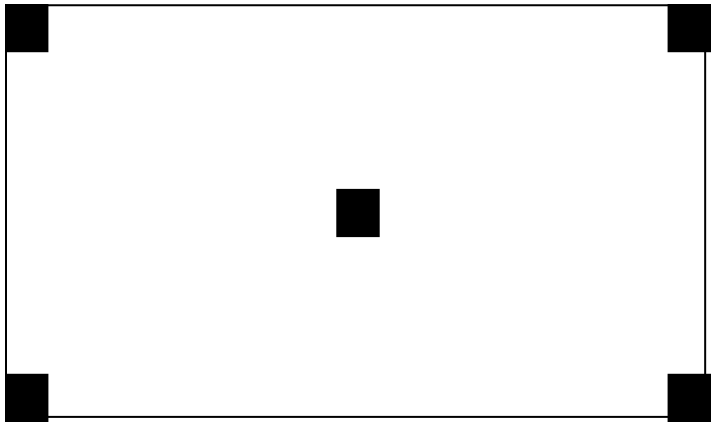

Form1
Тип
Points
Lines
LINE_STRIP
LINE_LOOP
Список координат
-0,74 -0,68
-0,15 0,77
0,59 -0,63
-0,91 0,21
0,54 0,26
Clear


Form1
Тип
Points
Lines
LINE_STRIP
LINE_LOOP
Список координат
-0,74 -0,68
-0,15 0,77
0,59 -0,63
-0,91 0,21
0,54 0,26
Clear


Form1
Тип
Points
Lines
LINE_STRIP
LINE_LOOP
Список координат
-0,74 -0,68
-0,15 0,77
0,59 -0,63
-0,91 0,21
0,54 0,26
Clear

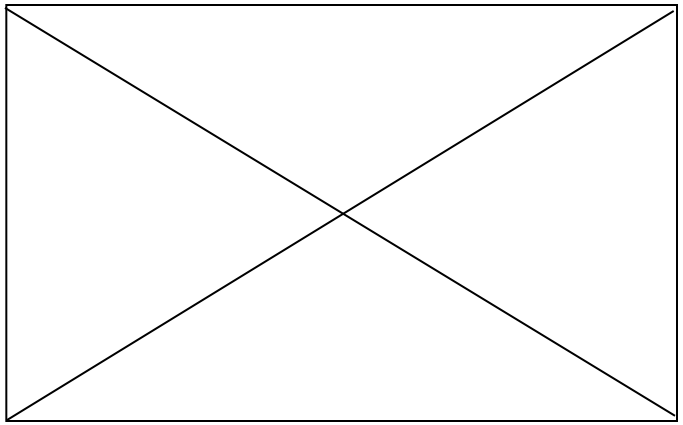

Form1
Тип
Points
Lines
LINE_STRIP
LINE_LOOP
Список координат
-0,74 -0,68
-0,15 0,77
0,59 -0,63
-0,91 0,21
0,54 0,26
Clear

# GL_POINTS



```
glPointSize (20);
glColor3f (1.0, 1.0, 1.0);
glBegin (GL_POINTS);
   glVertex2f (-1, -1);
glVertex2f (-1, 1);
glVertex2f (0, 0);
glVertex2f (1, -1);
glVertex2f (1, 1);
glEnd;
```

# GL_LINES



```
glLineWidth (2.5);
glBegin (GL_LINES);
    glVertex2f (-1, -1);
glVertex2f (1, 1);
glVertex2f (-1, 1);
glVertex2f (1, -1);
glEnd;
```

# СОБЫТИЕ, СООБЩЕНИЕ, КОНТЕКСТ

```
procedure TfmTest.Button1Click(Sender: TObject);
var   H : HWND;
    begin
    H := FindWindow('TForm1', 'Form1');
    If H <> 0 then ShowMessage('Есть Form1!')
          else ShowMessage('Нет Form1!')
    end;
```

**Все окна при своем создании регистрируются в операционной системе и получают уникальный идентификатор, называемый "ссылка на окно".**

**Тип этой величины в Delphi – HWND**

**(HWND - WiNDow Handle - ссылка на окно)**

# ССЫЛКИ НА КОНТЕКСТ УСТРОЙСТВА И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

```
var
dc : HDC; { ссылка на контекст устройства }
hrc: HGLRC { ссылка на контекст воспроизведения }
```

***Контекст устройства*** **- величина типа HDC (функция GetDC). Ссылке на контекст устройства в Delphi соответствует свойство Canvas.Handle формы, принтера и некоторых компонентов (вместо DC можно использовать Canvas.Handle) .**

**Графическая система OpenGL, как и любое другое приложение Windows, также нуждается в ссылке на окно, на котором будет осуществляться воспроизведение − специальной *ссылке на контекст воспроизведения* − величина типа HGLRC (Handle openGL Rendering Context, ссылка на контекст воспроизведения OpenGL).**

# КОНТЕКСТ

**Приложению для того, чтобы воспользоваться функциями воспроизведения Windows, необходимо только указать ссылку на контекст устройства, содержащую средства и характеристики устройства вывода.**

**Win32 Programmer's Reference фирмы MicroSoft о контексте устройства сообщает следующее: *"Контекст устройства является структурой, которая определяет комплект графических объектов и связанных с ними атрибутов, и графические режимы, влияющие на вывод. Графический объект включает карандаш для изображения линии, кисть для краски и заполнения, растр для копирования или прокрутки частей экрана, палитру для определения комплекта доступных цветов, области для отсечения и других операций, и маршрута для операций рисования".***

# ФОРМАТ ПИКСЕЛЯ

**Прежде чем получить контекст воспроизведения, сервер OpenGL должен получить детальные характеристики используемого оборудования. Эти характеристики хранятся в специальной структуре, тип которой - TPixelFormatDescriptor (описание формата пикселя). Формат пикселя определяет конфигурацию буфера цвета и вспомогательных буферов.**

PFD_DRAW_TO_WINDOW

PFD_SUPPORT_OPENGL

PFD_DOUBLEBUFFER

# МИНИМАЛЬНАЯ ПРОГРАММА

```
Uses    Windows, Messages, SysUtils, Classes,
Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  OpenGL;

…….

Private     hrc: HGLRC;
```

# ФОРМАТ ПИКСЕЛЯ

```
procedure SetDCPixelFormat (hdc : HDC);
var
 pfd : TPixelFormatDescriptor;
 nPixelFormat : Integer;
begin
 FillChar (pfd, SizeOf (pfd), 0);
 pfd.dwFlags  := PFD_DRAW_TO_WINDOW or
PFD_SUPPORT_OPENGL or PFD_DOUBLEBUFFER;
 nPixelFormat := ChoosePixelFormat (hdc, @pfd);
 SetPixelFormat (hdc, nPixelFormat, @pfd);
end;
```

# ПРОРИСОВКА ОКНА

```
procedure TForm1.FormPaint(Sender: TObject);
begin
 wglMakeCurrent(Canvas.Handle, hrc); // устанавливает текущий
      контекст воспроизведения
 glViewPort (0, 0, ClientWidth, ClientHeight); // область вывода
 glClearColor (0.5, 0.5, 0.75, 1.0);   // цвет фона
 glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT);   // очистка буфера цвета
 glPointSize (20);                  // размер точек
 glColor3f (1.0, 0.0, 0.5);         // текущий цвет примитивов
 glBegin (GL_POINTS);                  // открываем командную скобку
   glVertex2f (-1, -1);
   ……glEnd;                           // закрываем командную скобку
 SwapBuffers(Canvas.Handle);           // содержимое буфера - на экран
 wglMakeCurrent(0, 0);
end;
```

# СОЗДАНИЕ ФОРМЫ

```
procedure TfrmGL.FormCreate(Sender: TObject);
begin
 SetDCPixelFormat(Canvas.Handle);
 hrc := wglCreateContext(Canvas.Handle);
end;
```

# КОНЕЦ РАБОТЫ ПРИЛОЖЕНИЯ

```
procedure TfrmGL.FormDestroy(Sender: TObject);
begin
 wglDeleteContext(hrc);
end;
```