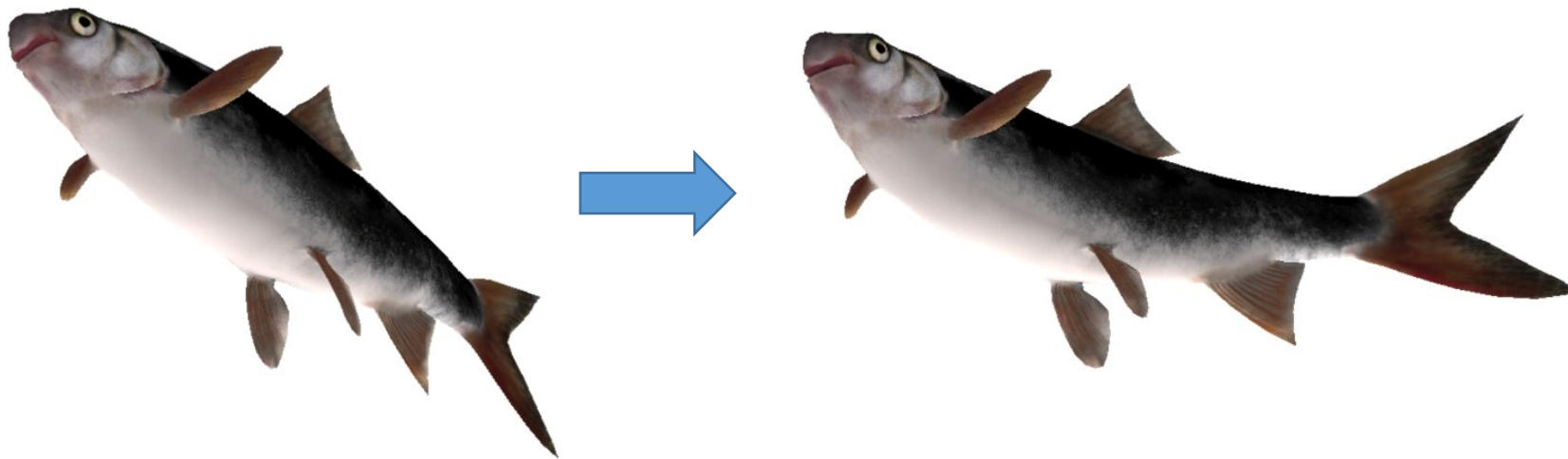


# **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ГИДРОБИОНТА В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО ФОРМЫ**



Авторы:  
к.т.н. Ражев А.О.,  
к.т.н., доцент Недоступ А.А.

Докладчик:  
к.т.н. Ражев А.О.

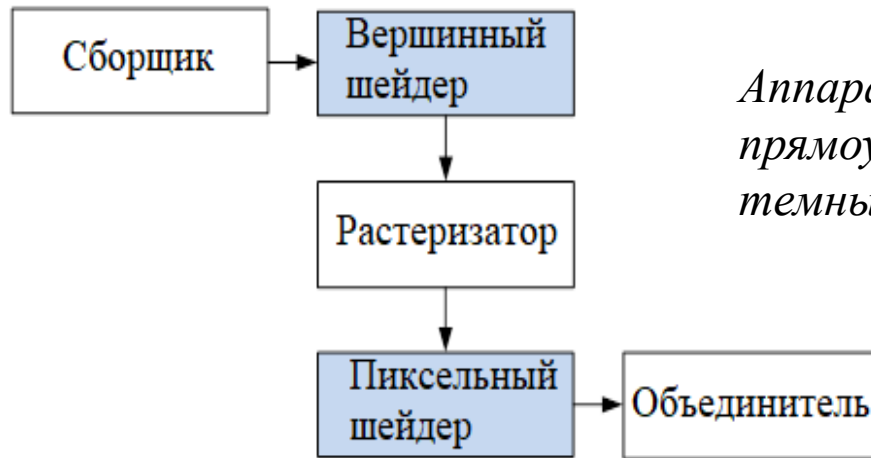
*Исследование выполнено в ООО «Лаборатория цифровых технологий» за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00010, <https://rscf.ru/project/23-21-00010/>*

## Введение

В задачах имитации виртуальной реальности необходимо в реальном времени и с приемлемым качеством визуализировать моделируемые натурные процессы. Для визуализации формоизменяемых объектов информация о форме должна генерироваться в процессе имитации.

При визуализации (рендеринге) на графическом процессоре объекты трехмерной сцены описываются поверхностями с дискретизацией треугольными примитивами (гранями). Вершины и ребра примитивов создают поверхностную сетку объекта. Рендеринг осуществляется поэтапно на программно-аппаратном графическом конвейере.

### Графический конвейер



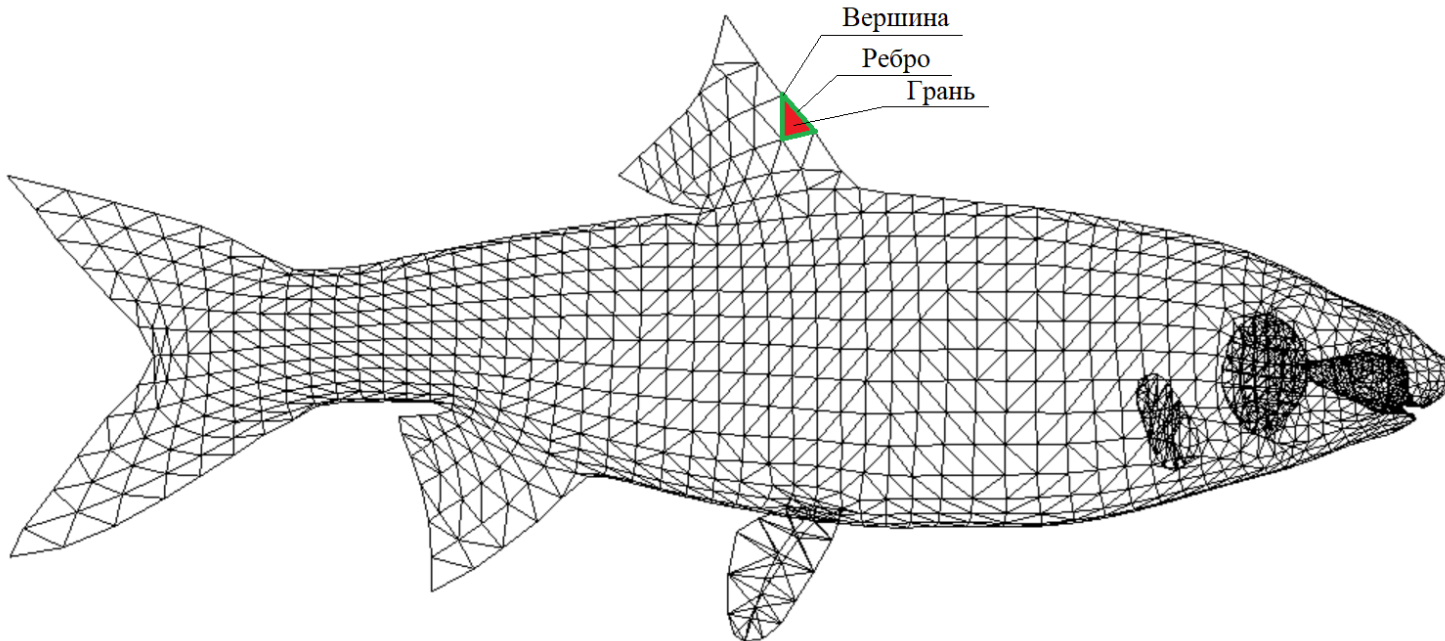
*Аппаратные этапы конвейера отображены в виде белых прямоугольников, программные (шейдеры) – в виде темных прямоугольников*

## Постановка задачи

Разработка математической модели и программного кода на графическом процессоре, способных в режиме реального времени производить деформацию (изгиб) и визуализацию гидробионта (рыбы) по заданным характеристикам, изменяющимся во времени.

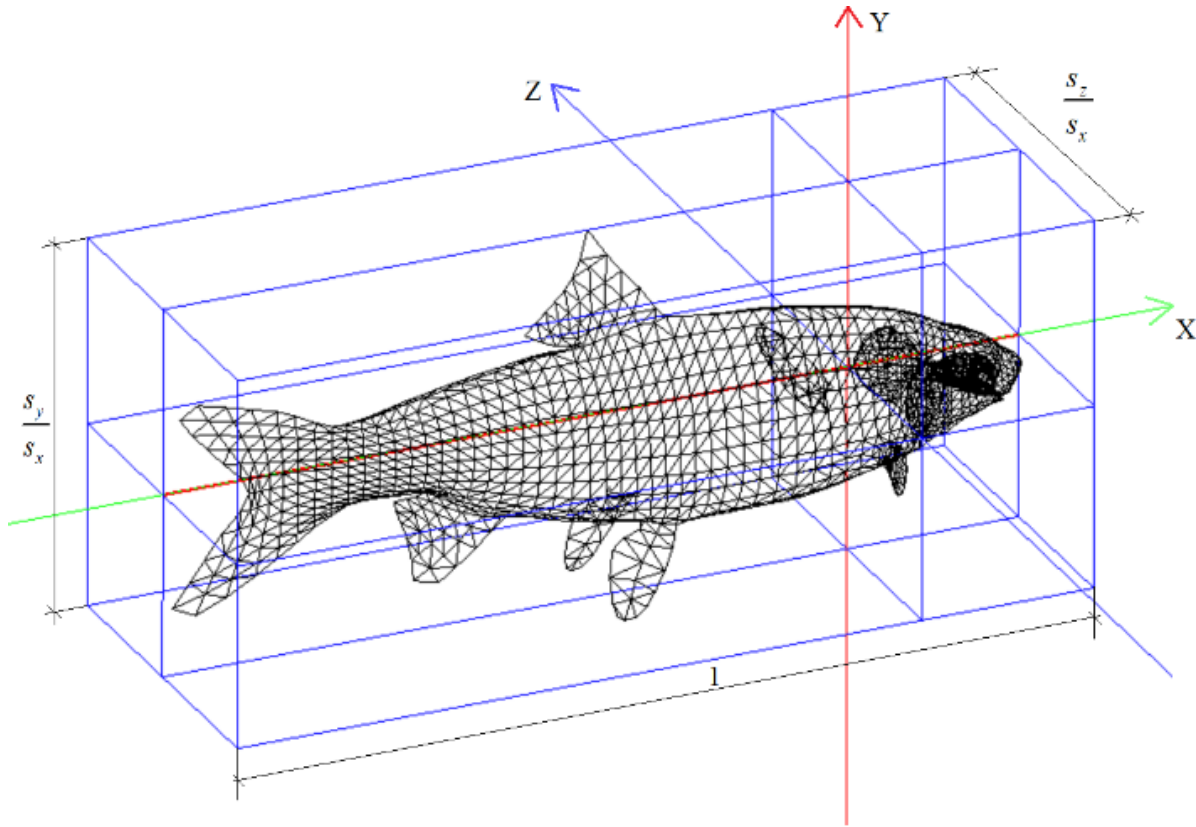
### Входные данные

- Статическая трехмерная модель с текстурой
- Положение, зависящее от времени
- Ориентация в пространстве, зависящая от времени
- Размеры
- Степень и направление изгиба, зависящие от времени



# Математическая модель

1. В локальной системе координат приводим длину рыбы  $s_x$  к 1.



$s_x, s_y, s_z$  – размеры рыбы;

$\mathbf{p} = (x; y; z; 1)^T$  – вершины до трансформации;

$\mathbf{p}' = (x'; y'; z'; 1)^T$  – вершины после трансформации

2. Проводим секущую плоскость  $F(\mathbf{p}_0) = 0$ ;  $\mathbf{p}_0 = (x_0; y_0; 0)^T$  – точка на плоскости

## Математическая модель

3. Трансформируем секущую плоскость  $F(\mathbf{p}_0) = 0$  в секущую поверхность  $F'(\mathbf{p}_0') = 0$  функцией трансформации

$$\mathbf{f}(\mathbf{p}_0) = (x_0'; y; mx^2)^T$$

$\mathbf{p}_0' = (x_0'; y_0'; z_0')$  – точка на поверхности после трансформации;  $x_0 = x$ ;  $y_0 = y$

$m$  – параметр, определяющий степень и направление прогиба рыбы

4. Проведем на плоскости  $F(\mathbf{p}_0) = 0$  кривую  $\mathbf{L}(\lambda) = \mathbf{L}(x_c(\lambda), y_c(\lambda))$

$x_c(\lambda) = \lambda$ ,  $y_c(\lambda) = 0$  – функции параметра  $\lambda = x$

5. Наложив условие неизменности длины любой дуги кривой при трансформации получим равенство дифференциалов их дуг  $ds_0 = ds_0'$

$$ds_0 = \left| \frac{d\mathbf{L}_0(\lambda)}{d\lambda} \right| d\lambda = 1 \quad ds_0' = \left| \frac{d\mathbf{f}(\mathbf{L}_0(\lambda))}{d\lambda} \right| d\lambda = \sqrt{\left( \frac{dx_0'}{dx} \right)^2 + 4m^2 x^2} \quad \longrightarrow \quad \frac{dx_0'}{dx} = \pm \sqrt{1 - 4m^2 x^2} \quad (1)$$

6. Разложив правую часть (1) в ряд Маклорена 4-го порядка и проинтегрировав по  $dx$  получим

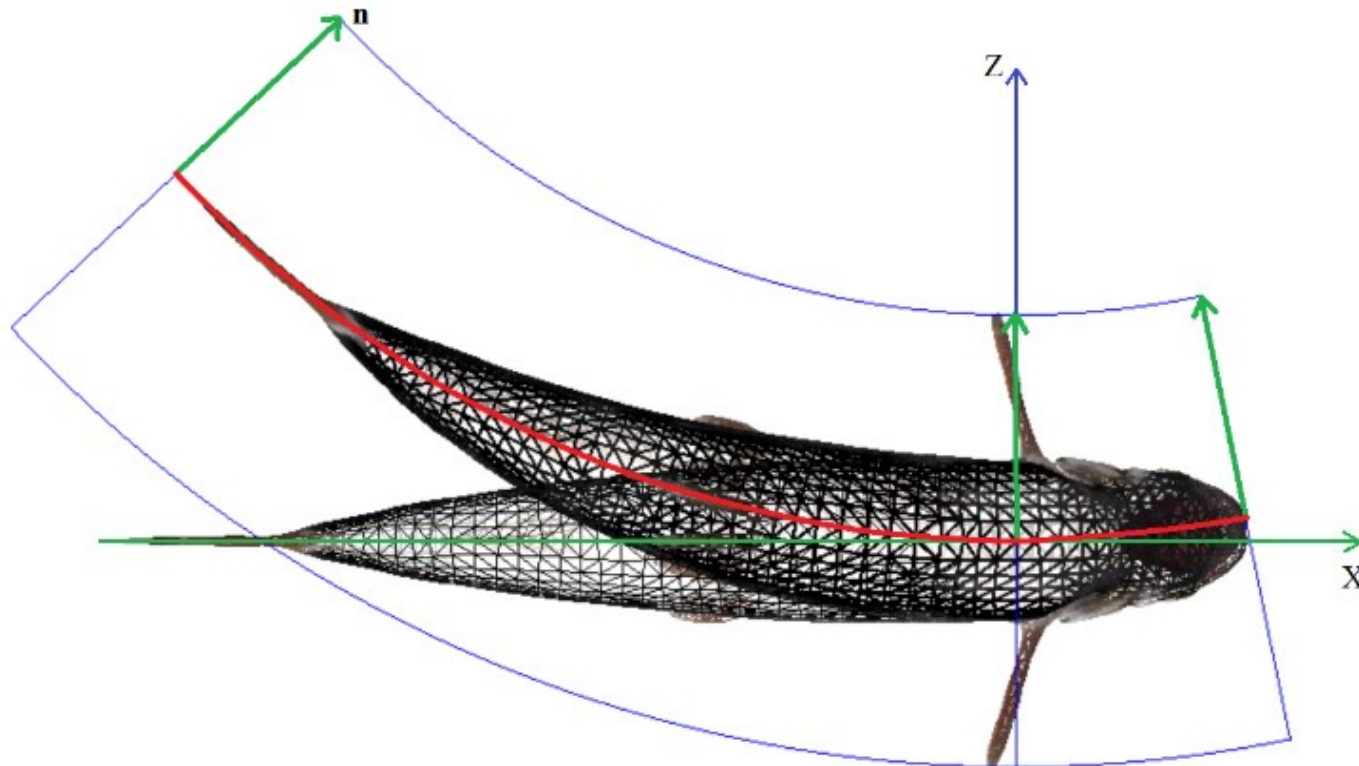
$$\mathbf{f}(\mathbf{p}_0) = (x_0'; y; mx^2)^T \quad x_0' \approx x \left( 1 - \frac{2}{3} m^2 x^2 - \frac{2}{5} m^4 x^4 \right)$$

# Математическая модель

7. Определим орт нормали к секущей поверхности в точке  $\mathbf{p}_0$ '

$$\mathbf{n} = \left( \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{p}_0)}{\partial x} \times \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{p}_0)}{\partial y} \right) / \left| \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{p}_0)}{\partial x} \times \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{p}_0)}{\partial y} \right| \quad \longrightarrow \quad \mathbf{n} = (-2mx; 0; 1 - 2m^2x^2 - 2m^4x^4) / \sqrt{4m^2x^2 + (1 - 2m^2x^2 - 2m^4x^4)^2}$$

8. Определим координаты точек, не лежащих на секущей поверхности  $\mathbf{p}' = \mathbf{p}_0 + z\mathbf{n}$



Результат трансформации при  $m = 0,5$

# Программный код

## Реализация вершинного шейдера на языке программирования HLSL в Direct3D

```
PS_PCT_INPUT VS_QBendBodyTex(float4 x : POSITION, float4 nv : NORMAL, float2 t : TEXCOORD0)
{
    PS_PCT_INPUT o;
    float4 p = mul(IPGM, x);
    float mx = M * p.x;
    float mx2 = mx * mx;
    float b = 1 - mx2 * (2.f/3 + 2.f/5 * mx2);
    float4 xc = mul(DSM, float4(p.x * b, p.y, mx * p.x, 1));
    float4 n = normalize(mul(IDSM, float4(-mx - mx, 0, 1 - (mx2 + mx2) * (1 + mx2), 0)));
    float mnz = 1 - n.z;
    float r2 = dot(n.xy, n.xy);
    float _sin = sqrt((1 - n.z * n.z) / r2);
    float nynx = n.y * n.x / r2;
    float nxsin = n.x * _sin, nysin = n.y * _sin;
    float manz = 1 - abs(n.z);

    matrix m =
    {
        { n.z + mnz * n.y * n.y / r2, -manz * nynx, -nxsin, 0 },
        { -mnz * nynx, abs(n.z) + manz * n.x * n.x / r2, -nysin, 0 },
        { nxsin, nysin, n.z, 0 },
        { 0, 0, 0, 1 }
    };

    o.X = mul(PGM, xc + n * (p.z * DSM[2][2]));
    nv.w = 0;
    o.C = Color1 * max(normalize(mul(m, mul(SM, nv))).z, 0) + Color2;
    o.T = t;
    return o;
}
```

# Результат

Механика гидробионтов

Менеджер проектов - Рабочее пространство

- Рабочее пространство
  - Настройки
  - Библиотеки
  - Проект - УЗВ
    - QuadraticBending
      - Fish
    - QuadraticBending1
      - Fish
    - QuadraticBending2
      - Fish
    - QuadraticBending3
      - Fish
    - QuadraticBending4
      - Fish
    - QuadraticBending5
      - Fish
    - QuadraticBending6
      - Fish
    - QuadraticBending7
      - Fish

Лист 3D -...- Fish

Свойства - Проект - УЗВ - QuadraticBending7 - Fish

Имя	Значение
<input type="checkbox"/> StepTime	0,050
<input type="checkbox"/> BodyAmp	0,300
<input type="checkbox"/> BodyPeriod	1,000
<input type="checkbox"/> Radius	35,000
<input type="checkbox"/> StartPhase	2,400
<input type="checkbox"/> Period	20,000
<input type="checkbox"/> BodyBend	0,212
<input type="checkbox"/> X	26,717
<input type="checkbox"/> Y	22,610
<input type="checkbox"/> Phase	7,152
<input type="checkbox"/> Animate	<input checked="" type="checkbox"/>

Атрибуты - Проект - УЗВ - QuadraticBending7 - Fish - BodyAmp

Имя	Значение
<input type="checkbox"/> Имя	BodyAmp
<input type="checkbox"/> Тип	Вещественный

Глобальные

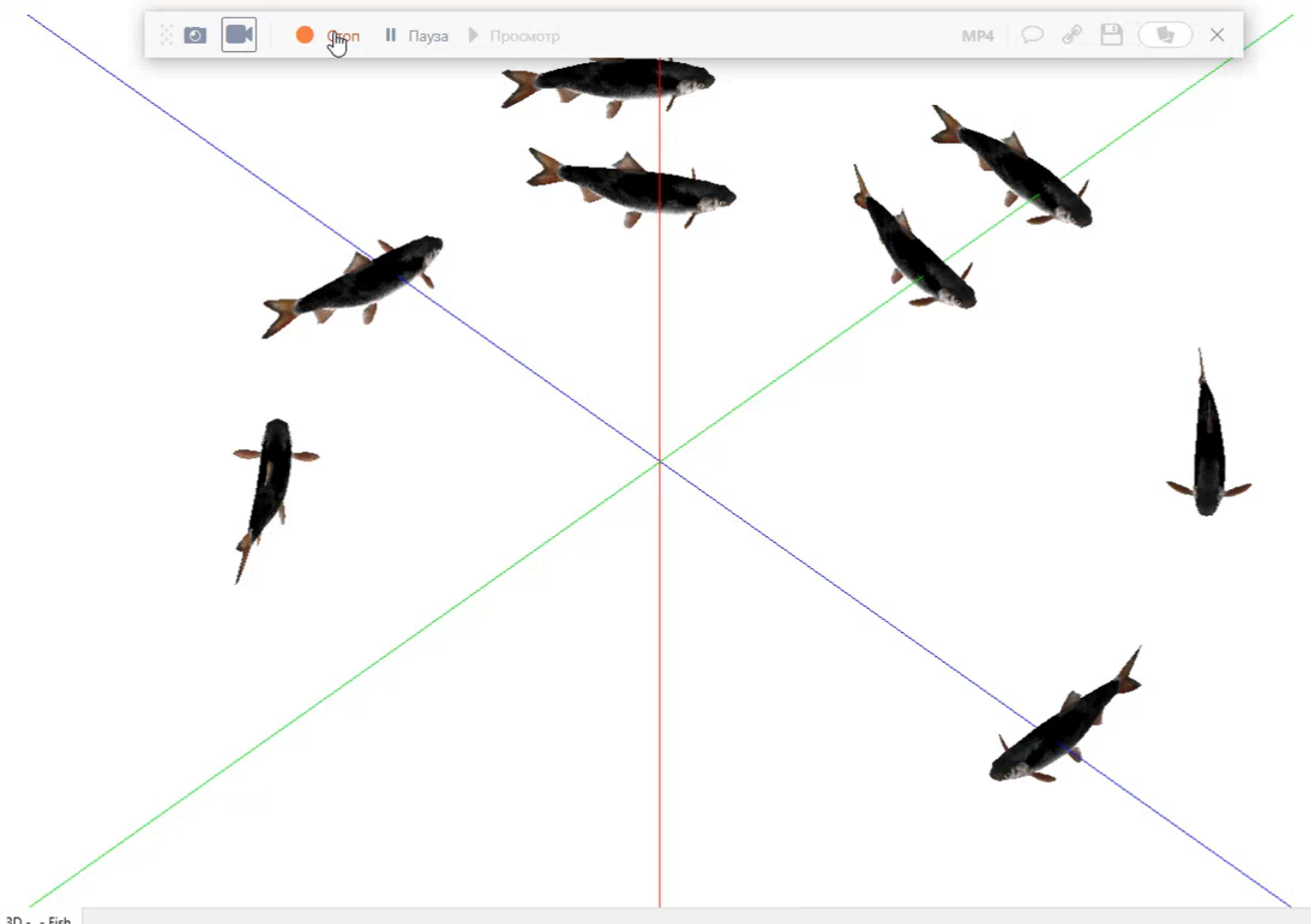
Глобальные класса CAD\_Fish\_t

Глобальные типа Вещественный

<input type="checkbox"/> Отображение	@Real
<input type="checkbox"/> Просмотр	Float
<input type="checkbox"/> Редактор	Float
<input type="checkbox"/> Формат	0.000

Сообщения

- 29.05.2023 22:07:14 Загрузка 3D-визуализатора
- 29.05.2023 22:07:14 Загрузка ядра базы данных...
- 29.05.2023 22:07:14 Загрузка генератора спецификаций...
- 29.05.2023 22:07:14 Инициализация...





## Заключение

Предложенные математическая база и вычислительный алгоритм способны изменять форму гидробионта в процессе визуализации на графическом процессоре в реальном времени.

Результаты исследования можно применять для широкого круга задач виртуальной реальности. В частности, данный метод будет применен для визуализации поведения рыб в виртуальной установке замкнутого водоснабжения в рамках выполнения научного проекта «Разработка математических моделей, технологий дополненной реальности и машинного зрения для задач автоматизации сбора данных в рыбоводных хозяйствах».

Представленные математическая модель и алгоритм были реализованы в виде программного модуля для разработанного программного обеспечения «Система автоматизированного проектирования орудий рыболовства и технических средств аквакультуры» (САПР-ОР).

**Спасибо за внимание!**