

SECTION 2. Applied mathematics. Mathematical modeling.

Shevtsov Alexandr Nikolayevich

candidate of technical Sciences,

President of International Academy of Theoretical & Applied Sciences, Kazakhstan

[Shev\\_AlexXXXX@mail.ru](mailto:Shev_AlexXXXX@mail.ru)

**SOME QUESTIONS SIMULATION OF INTERACTIVE DYNAMIC SYSTEMS**

*Abstract:* The process of developing an interactive model is a rather complicated process. In the structure of the model is necessary not only to draw up the conditions that influence its work, and also to connect directly with the graphic libraries and the matrices of transformation of the coordinates. In this article the approach and the implementation of the three-dimensional model calculation of the orbital trajectories of objects interactively in the Delphi-XE4.

*Key words:* interactive model, orbits, collisions of objects.

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ  
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Аннотация:* Процесс реализации любой интерактивной модели представляет собой довольно сложный процесс. В самой структуре модели необходимо не только правильно составить условия, влияющие на ее работу, но и связать непосредственно с графическими библиотеками и матрицами преобразования координат. В данной статье рассмотрен подход, и реализация трехмерной модели расчета орбитальных траекторий объектов, в интерактивном режиме в среде Delphi-XE4.

*Ключевые слова:* интерактивная модель, орбиты, столкновения объектов.

Отслеживание траекторий движения объектов на орбите Земли представляет собой очень важную проблему. По данным ежеквартального отчета НАСА, посвященного проблеме космического мусора, на данный момент на орбите находятся 16,094 тысячи "мусорных объектов", в том числе вышедших из строя 3,396 тысячи спутников и 12,968 тысячи верхних ступеней ракет-носителей и других обломков. К примеру, ВВС США готовят к запуску первый космический аппарат, предназначенный для наблюдения за космическим мусором на орбите Земли. Спутник космического наблюдения будет следить за 1000 действующими спутниками и 22 000 фрагментами космического мусора. Три компании, в том числе, Lockheed-Martin, получили от ВВС США по 30 миллионов долларов на разработку электронной изгороди, которая позволит отслеживать перемещения космических объектов размером более пяти сантиметров [1].

Причем большинство объектов не являются геостационарными, а значит движутся по определенным эллиптическим орбитам. Зная орбитальные координаты объектов, можно проанализировать данные и отследить движение всех объектов. Разработаем математическую и компьютерную модель, движения объектов на орбите Земли. Из курса физики известно, что тело, движущееся по орбите вокруг другого тела, подчинено трём законам Кеплера. Нас будут интересовать только два из них - первый и третий.

Согласно первому закону Кеплера, тело, обращающееся вокруг Земли движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится центр Земли [2].

### Орбитальные элементы

Для того, чтобы задать параметры и ориентацию орбиты околоземных объектов в пространстве, нужно указать 6 так называемых кеплеровских элементов (орбитальных элементов) (рис. 1). Орбита ИСЗ полностью задаётся шестью орбитальными элементами.

	Наименование	Обозначение в программе
1.	Большая полуось "a". Равна среднему расстоянию ИСЗ от центра Земли.	D[ ].a1
2.	Эксцентриситет "e" (см. формулу 1) - мера сплюснутости эллипса.	D[ ].a2
3.	Наклонение орбиты "i" к экваториальной плоскости Земли - угол пересечения плоскости орбиты ИСЗ с плоскостью экватора Земли.	D[ ].a3
4.	Аргумент перигея (АП) $\omega$ - угол, отсчитываемый в плоскости орбиты ИСЗ от восходящего узла орбиты до точки перигея (точка, где расстояние между ИСЗ и центром Земли наименьшее).	D[ ].a5
5.	Долгота восходящего узла (ДВУ) $\Omega$ - угол, отсчитываемый в плоскости земного экватора от восходящего узла до точки весеннего равноденствия. Угол отсчитывается против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса мира.	D[ ].a4
6.	Средняя аномалия (СА) $M_0$ - угол, отсчитываемый в плоскости орбиты ИСЗ от перигея до ИСЗ на орбите. Угол отсчитывается против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса мира.	D[ ].a6

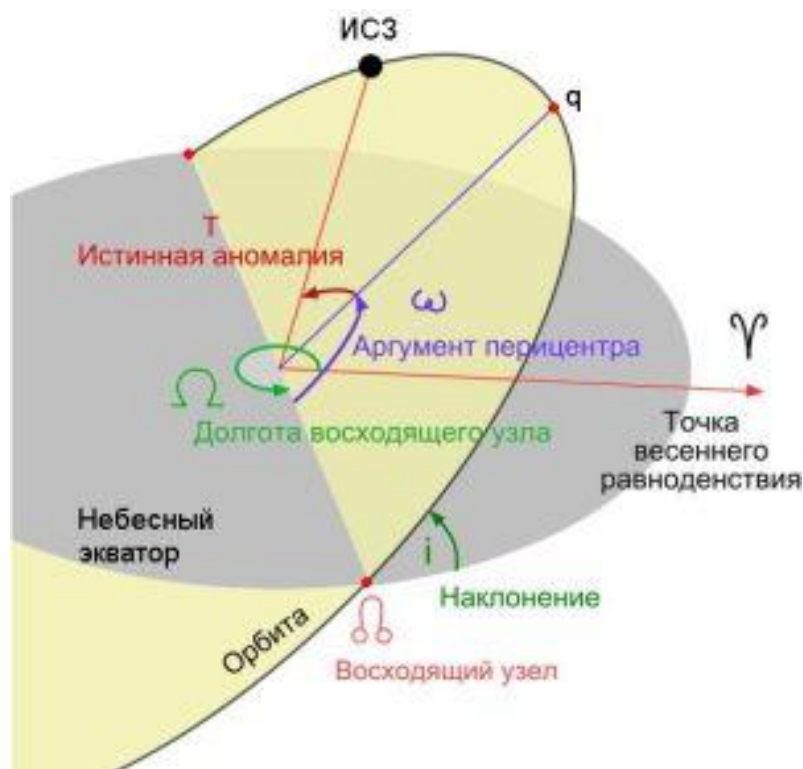
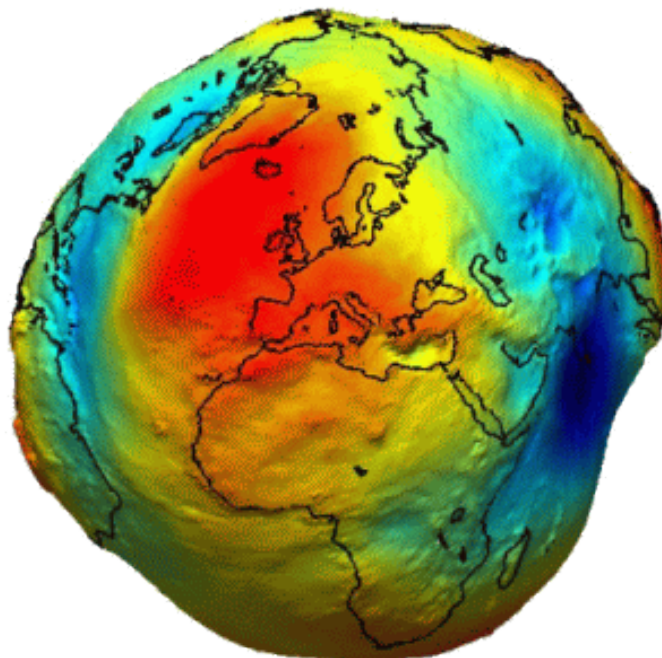


Рисунок 1 - Орбитальные элементы. [2]

Двигаясь по эллиптической орбите, объект ближе всего подлетает к центру Земли в перигее, а дальше всего находится в апогее. Также происходит - эволюция

орбиты, прецессия орбиты, смещение восходящего узла за один виток [3], вращение эллиптической орбиты [1], атмосферное торможение, влияние давления света. В заключение нужно отметить, что перечисленные факторы влияния на эволюцию орбиты спутника не составляют полный список. Например, на ИСЗ действуют своим притяжением Солнце и Луна, но это воздействие в 10000 раз слабее действия экваториального "горба" Земли (Рис.2.), но его нужно учитывать для орбит с большим эксцентриситетом. Экваториальный "горб" также вызывает незначительные колебания плоскости орбиты ИСЗ при пересечении экваториальной плоскости. Наконец, неравномерность распределения масс под поверхностью Земли также сказывается на движении спутника.



**Рисунок 2 - Форма земного геоида по данным ИСЗ "GOCE" [4-5].**

Используя все выше описанные алгоритмы разработаем интерактивную компьютерную математическую модель.

#### **База данных орбит объектов.**

Разработку будем вести посредством DirectX11 и OpenGL в среде XE4. В качестве нормы примем среднюю длину радиуса Земли. Загрузим Quad объект шара и наложим текстуру. Траектории орбит будем загружать из базы данных. Все данные в базе - согласно таблице, указанных выше, орбитальных элементов:

Название орбитального объекта	D[ ].name
Большая полуось	D[ ].a1
Эксцентриситет	D[ ].a2
Наклонение орбиты	D[ ].a3
Долгота восходящего узла	D[ ].a4
Аргумент перигея	D[ ].a5
Средняя аномалия	D[ ].a6

Вращение модели в пространстве будем осуществлять в автоматическом режиме и вручную с помощью правой кнопки мыши в любую произвольную сторону.

Увеличение и уменьшение размера с помощью колесика. Модель поддерживает более 100 млн. отдельных объектов, причем базу можно редактировать в реальном времени, а также при необходимости дополнить более подробными характеристиками и параметрами отдельных объектов, или связать с другими базами данных.

Спутники	Кратчайшие ра
<input checked="" type="checkbox"/> Доплер_4	5 0,6 0 0 0 0
<input checked="" type="checkbox"/> name2	4 0,2 30 180 0 0
<input checked="" type="checkbox"/> name4	3 0,6 66 120 0 0
<input checked="" type="checkbox"/> name456	6 0,6 66 120 0 0
<input checked="" type="checkbox"/> Коперник	4 0,6 15 0 0 0
<input checked="" type="checkbox"/> name3	3 0,4 150 270 0 0
<input checked="" type="checkbox"/> name3	2 0,4 20 20 0 0

Рисунок 3 – Выбор спутника из базы.

Название спутника	name456
Большая полуось(a1)	6
Эксцентриситет(a2)	0,6
Наклонение орбиты(a3)	66
Долгота восходящего узла(a4)	120
Аргумент перигея(a5)	0
Средняя аномалия(a6)	0

Рисунок 4 – Редактирование базы спутников.

Расчет кратчайших возможных расстояний между отдельными траекториями будем рассчитывать как функцию минимизации длины множества векторов соответствующих точек орбит в глобальной системе координат.

После нахождения, данные сортируются по возрастанию и выводятся на экран в указании названий спутников. Имеется возможность не только найти минимальное расстояние но и определить глобальные координаты в каждом из случаев.

Спутники	Кратчайшие расстояния	Спутники	Кратчайшие расстояния	Спутники	Кратчайшие расстояния
0.0370817072689533	name4 + Коперник	0.209600552916527	name4 + name300	0.209600552916527	name4 + name300
0.15177221596241	Доплер_4 + name4	0.281669765710831	name2 + name456	0.281669765710831	name2 + name456
0.209600552916527	name4 + name300	0.345115900039673	Коперник + name300	0.345115900039673	Коперник + name300
0.281669765710831	name2 + name456	0.348878145217896	Доплер_4 + name2	0.348878145217896	Доплер_4 + name2
0.345115900039673	Коперник + name300	0.355212092399597	Коперник + name3	0.355212092399597	Коперник + name3
0.348878145217896	Доплер_4 + name2	0.377251982688904	name4 + name3	0.377251982688904	name4 + name3
0.355212092399597	Коперник + name3	0.383527427911758	Доплер_4 + name3	0.383527427911758	Доплер_4 + name3
0.377251982688904	name4 + name3	0.392701268196106	name456 + Коперник	0.392701268196106	name456 + Коперник
0.383527427911758	Доплер_4 + name3	0.449311107397079	name3 + name300	0.449311107397079	name3 + name300
0.392701268196106	name456 + Коперник	0.521892368793488	Доплер_4 + Коперник	0.521892368793488	Доплер_4 + Коперник
0.449311107397079	name3 + name300	0.74449079036713	name2 + name3	0.74449079036713	name2 + name3
0.521892368793488	Доплер_4 + Коперник	0.816896855831146	Доплер_4 + name300	0.816896855831146	Доплер_4 + name300
0.74449079036713	name2 + name3	0.898431122303009	name2 + Коперник	0.898431122303009	name2 + Коперник
0.816896855831146	Доплер_4 + name300	0.993332743644714	name456 + name3	0.993332743644714	name456 + name3
0.898431122303009	name2 + Коперник	1.1999992847443	name4 + name456	1.1999992847443	name4 + name456
0.993332743644714	name456 + name3	1.2944895029068	Доплер_4 + name456	1.2944895029068	Доплер_4 + name456
1.1999992847443	name4 + name456	1.53993630409241	name456 + name300	1.53993630409241	name456 + name300
1.2944895029068	Доплер_4 + name456	1.61448431015015	name2 + name4	1.61448431015015	name2 + name4
1.53993630409241	name456 + name300	1.72877943515778	name2 + name300	1.72877943515778	name2 + name300
1.61448431015015	name2 + name4				
1.72877943515778	name2 + name300				

<input checked="" type="radio"/> безразмерные коорд.	Расчет	<input checked="" type="radio"/> безразмерные коорд.	Расчет	<input checked="" type="radio"/> безразмерные коорд.	Расчет
<input type="radio"/> км		<input type="radio"/> км		<input type="radio"/> км	
name	name4	Коперник	name	Доплер_4	Коперник
x =	1.33736741542816	1.35637807846069	x =	0.773547887802124	0.413828730583191
y =	-0.95720374584198	-0.988854348659515	y =	2.62423610687256	2.26274156570435
z =	-0.35992653131481	-0.363440424203873	z =	0	-0.110885076224804

<input checked="" type="radio"/> безразмерные коорд.	Расчет	<input checked="" type="radio"/> безразмерные коорд.	Расчет	<input checked="" type="radio"/> безразмерные коорд.	Расчет
<input type="radio"/> км		<input type="radio"/> км		<input type="radio"/> км	
name	name2	name300	name	name2	name300
x =	-0.87984889745712	-0.623219966888428	x =	-0.87984889745712	-0.623219966888428
y =	3.49201798439026	2.09226846694946	y =	3.49201798439026	2.09226846694946
z =	-0.50798100233078	0.473610162734985	z =	-0.50798100233078	0.473610162734985

Рисунок 5 – Расчет кратчайшего, произвольного, и максимального расстояния между орбитами спутников в безразмерных координатах.

Спутники	Кратчайшие расстояния	Спутники	Кратчайшие расстояния	Спутники	Кратчайшие расстояния
236,258746705371	name4 + Коперник	236,258746705371	name4 + Коперник	1335,42837123554	name4 + name300
966,986586348401	Доплер_4 + name4	966,986586348401	Доплер_4 + name4	1794,60307339605	name2 + name456
1335,42837123554	name4 + name300	1335,42837123554	name4 + name300	2198,83754057181	Коперник + name300
1794,60307339605	name2 + name456	1794,60307339605	name2 + name456	2222,80793988914	Доплер_4 + name2
2198,83754057181	Коперник + name300	2198,83754057181	Коперник + name300	2263,16342870181	Коперник + name3
2222,80793988914	Доплер_4 + name2	2222,80793988914	Доплер_4 + name2	2403,58622044406	name4 + name3
2263,16342870181	Коперник + name3	2263,16342870181	Коперник + name3	2443,56897562349	Доплер_4 + name3
2403,58622044406	name4 + name3	2403,58622044406	name4 + name3	2502,01828035305	name456 + Коперник
2443,56897562349	Доплер_4 + name3	2443,56897562349	Доплер_4 + name3	2862,69664836369	name3 + name300
2502,01828035305	name456 + Коперник	2502,01828035305	name456 + Коперник	3325,13376668288	Доплер_4 + Коперник
2862,69664836369	name3 + name300	2862,69664836369	name3 + name300	4743,1097258685	name2 + name3
3325,13376668288	Доплер_4 + Коперник	3325,13376668288	Доплер_4 + Коперник	5204,69637350849	Доплер_4 + name300
4743,1097258685	name2 + name3	4743,1097258685	name2 + name3	5724,17578880262	name2 + Коперник
5204,69637350849	Доплер_4 + name300	5204,69637350849	Доплер_4 + name300	6328,82265567628	name456 + name3
5724,17578880262	name2 + Коперник	5724,17578880262	name2 + Коперник	7645,56165366399	name4 + name456
6328,82265567628	name456 + name3	6328,82265567628	name456 + name3	8247,58324533992	Доплер_4 + name456
7645,56165366399	name4 + name456	7645,56165366399	name4 + name456	9811,39888118324	name456 + name300
8247,58324533992	Доплер_4 + name456	8247,58324533992	Доплер_4 + name456	10286,3667232203	name2 + name4
9811,39888118324	name456 + name300	9811,39888118324	name456 + name300	11014,5754540908	name2 + name300
10286,3667232203	name2 + name4	10286,3667232203	name2 + name4		

<input type="radio"/> безразмерные коорд.	Расчет	<input type="radio"/> безразмерные коорд.	Расчет	<input type="radio"/> безразмерные коорд.	Расчет
<input checked="" type="radio"/> км		<input checked="" type="radio"/> км		<input checked="" type="radio"/> км	

name	name4	Коперник	name	name3	name300	name	name2	name300
x =	1,33736741542816	1,35637807846069	x =	-2,73908257484436	-2,38289451599121	x =	-0,87984889745712	-0,623219966888428
y =	-0,95720374584198	-0,988854348659515	y =	1,26566779613495	1,10502958297729	y =	3,49201798439026	2,09226846694946
z =	-0,35999265313148!	-0,363440424203873	z =	0,730733633041382	0,952557682991028	z =	-0,50798100233078	0,473610162734985

Рисунок 6 – Расчет кратчайшего, произвольного, и максимального расстояния между орбитами спутников в системе СИ.

Полученная интерактивная модель отображена на рисунках 7-10.

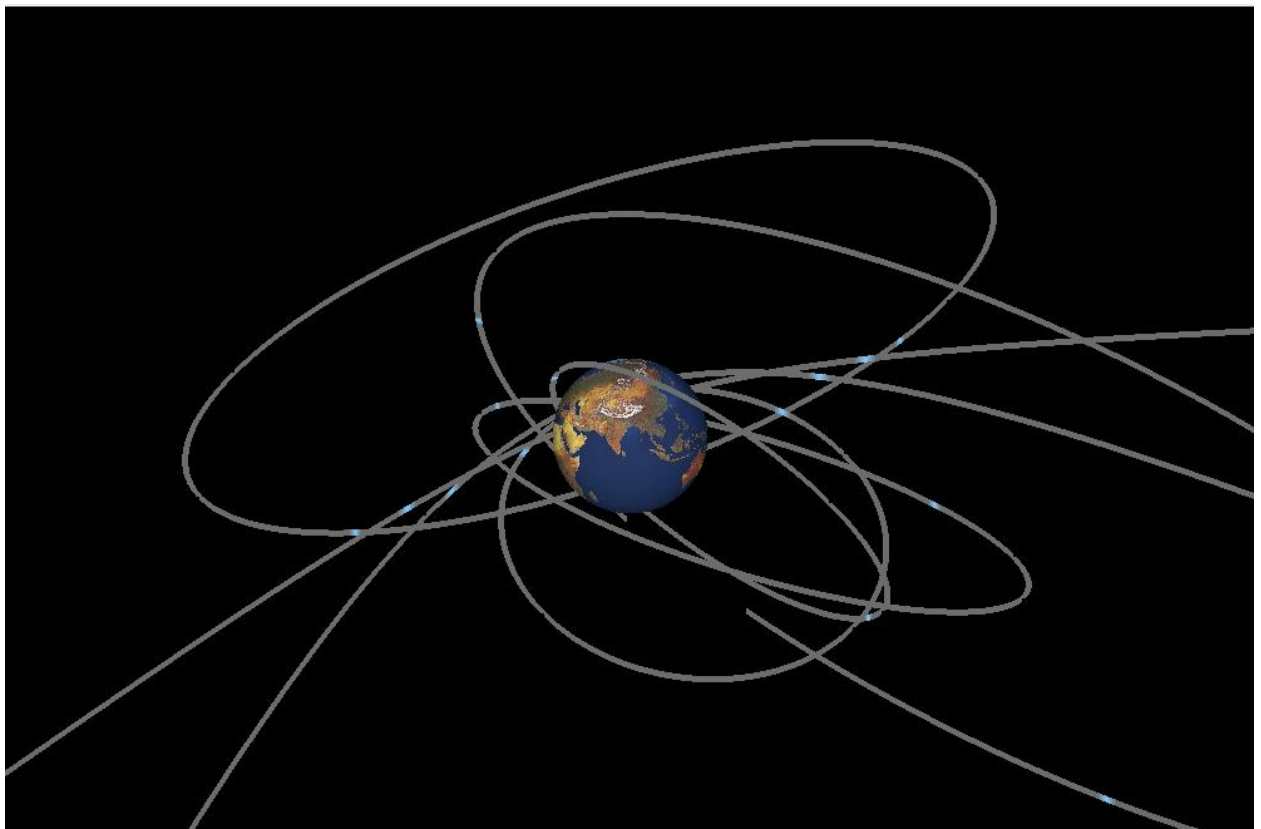


Рисунок 7 – Разработанная модель.



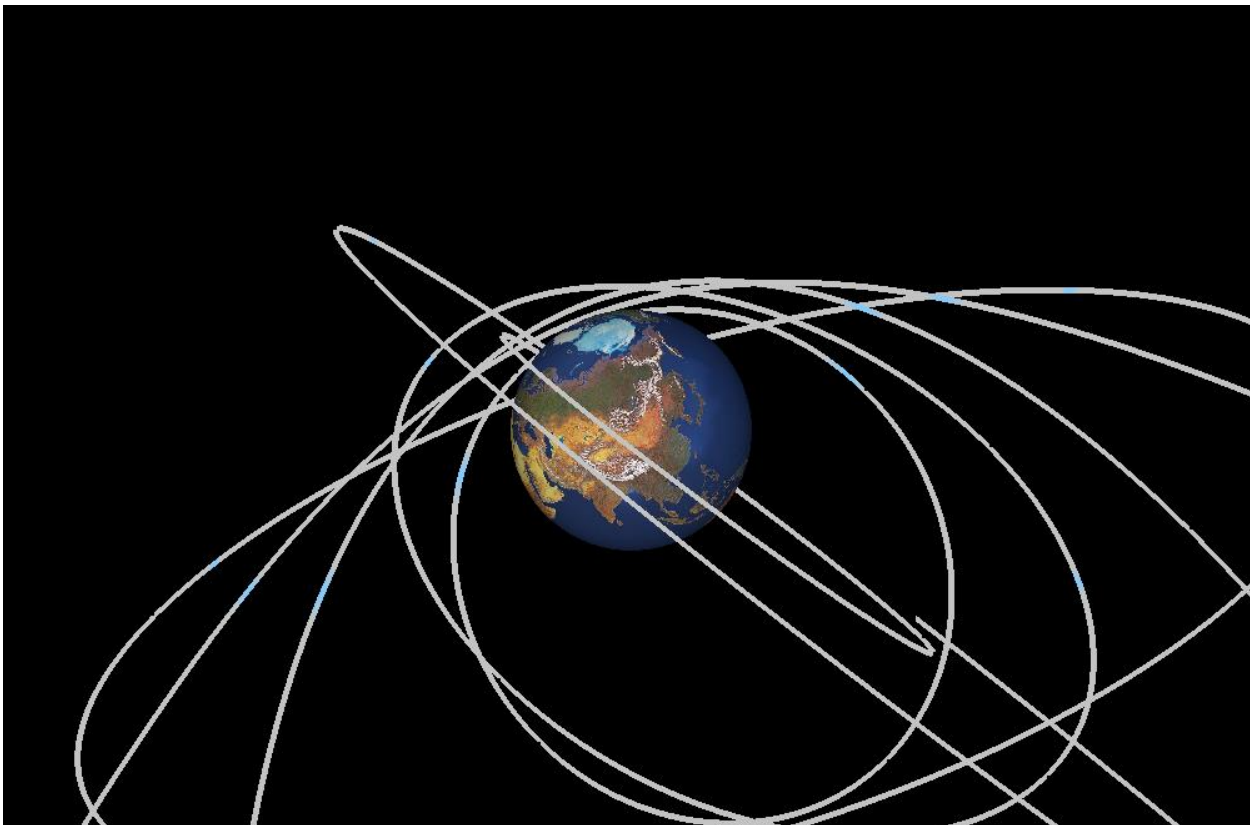


Рисунок 8 – Разработанная модель.

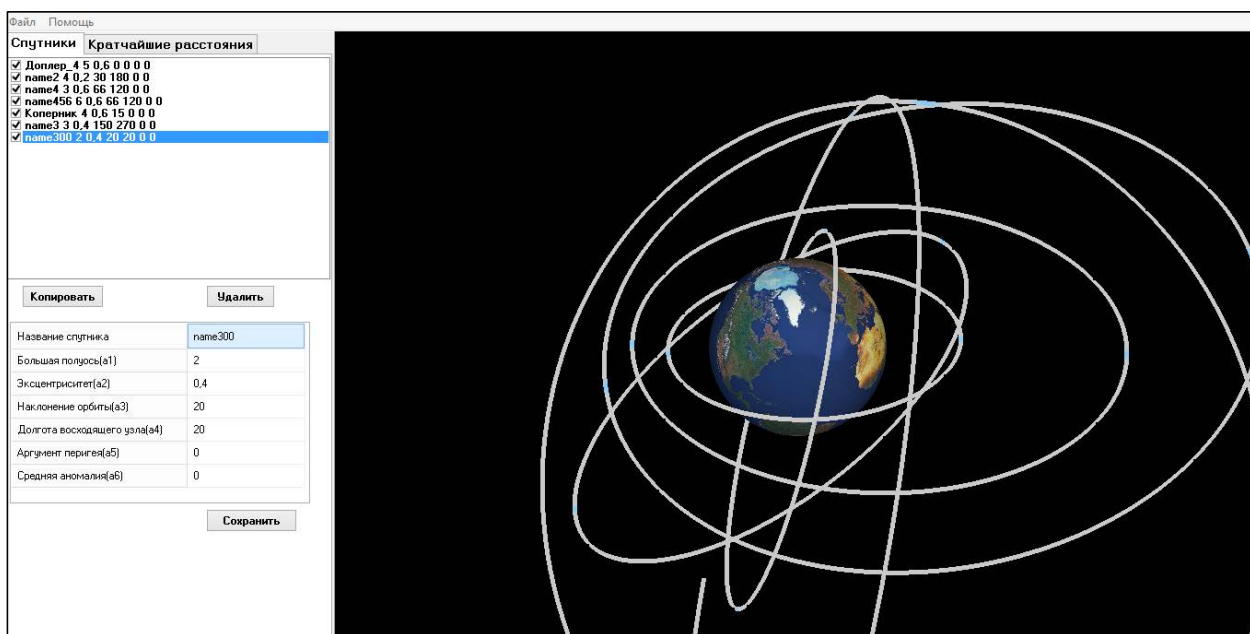


Рисунок 9 – Разработанная модель.



**Рисунок 10 – Разработанная модель.**

Полученная модель позволяет просчитывать минимальные расстояния между орбитами спутников и вероятности их столкновений. Модель основана на апробированных методиках и алгоритмах расчета. Траектории спутников можно отображать и исследовать в реальном времени на данной интерактивной модели.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате проведенного исследования и компьютерного моделирования получены следующие результаты:

- Разработана интерактивная компьютерная модель отображающая траектории околоземных объектов,
- Алгоритмы расчета траекторий движения спутников в глобальной системе координат связанной с Землей,
- Компьютерные алгоритмы трехмерных преобразований проекций,
- Алгоритмы определяющие все возможные минимальные расстояния между траекториями отдельных объектов.

Разработанные модели и программное обеспечение могут быть использованы как при научных исследованиях и построении более сложных систем слежения, так и в процессе преподавания.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Д. Кинг-Хили, "Искусственные спутники и научные исследования", М., 1963 г.
2. Кеплеровы элементы орбиты. [Электронный ресурс]. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B\\_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D)

- [0%BD%D1%82%D1%8B\\_%D0%BE%D1%80%D0%B1%D0%B8%D1%82%D1%8B](#)
3. Левантовский В.И., "Механика космического полёта в элементарном изложении", М., 1980 г.
  4. Предложен новый метод определения формы Земли. [Электронный ресурс]. URL: <http://mestechko.info/science/11010-predlozhen-novyj-metod-opredeleniya-formy-zemli.html> (дата обращения: 20.01.2014).
  5. ESA показало самую точную "математическую форму Земли". [Электронный ресурс]. URL: <HTTP://LENTA.RU/NEWS/2011/04/01/GOCE> (дата обращения: 12.01.2014).
  6. Наблюдение искусственных спутников Земли. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sat.belastro.net/glava1/glava1.php> BelAstro.Net, Lupus, 01.09.2013 (дата обращения: 29.01.2014).
  7. Наблюдение искусственных спутников Земли. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sat.belastro.net/glava2/glava2.php> BelAstro.Net, Lupus, 01.09.2013 (дата обращения: 29.01.2014).

### ПРИЛОЖЕНИЕ (алгоритмы и программа)

```
unit MainUnit;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, OpenGL, glTextures, ExtCtrls, DGlut, OpenGLEx, Vcl.StdCtrls,
  Vcl.ComCtrls, Vcl.AppEvnts, Vcl.CheckLst, Vcl.Grids, Vcl.Buttons, Vcl.Menus;
const
  // Идентификатор текстуры
  EARTH_TEXT_ID = 1;
  // Радиус Земли
  EARTH_RAD = 1;
  // Файл текстуры
  EARTH_TEXT_FILE_NAME = 'earth.jpg';
  // Кол-во звезд на экране
  STARS_COUNT = 1000;
  // Максимальная скорость вращения земли, по горизонтали и по вертикали
  MAX_X_SPEED = 10;
  MAX_Y_SPEED = 10;
  // Позиция источника света (Солнца)
  LIGHT_POS: array[1..3] of GLfloat = ( 1, 1, 1);
  // LIGHT_POS1: array[0..3] of GLfloat = (-1.0, -1.0, -1.0, 0.0);
  // LIGHT_POS2: array[0..3] of GLfloat = (1.0, 1.0, 1.0, 0.0);
  // LIGHT_POS3: array[0..3] of GLfloat = (1.0, 1.0, 1.0, 0.0);
  ambient: array[1..4] of GLfloat = ( 1, 1, 1, 1);
  // Цвет тумана (Атмосферы Земли)
  FOG_COLOR: array[0..3] of GLfloat = (0.5, 0.8, 1.0, 0.0);
type
  // Структура, описывающая орбиту
  TStar = record
    name: string;  a1:GLfloat;  a2:GLfloat;  a3:GLfloat;  a4:GLfloat;  a5:GLfloat;
    a6:GLfloat;
  end;
```



```

Dlina = record
  name1: string; name2: string; d:GLfloat; x1:GLfloat; y1:GLfloat; z1:GLfloat;
  x2:GLfloat; y2:GLfloat; z2:GLfloat;
end;

TMainForm = class(TForm)
  Timer: TTimer;
  Panel1: TPanel;
  Timer1: TTimer;
  ApplicationEvents1: TApplicationEvents;
  TrackBar1: TTrackBar;
  Memo1: TMemo;
  PageControl1: TPageControl;
  TabSheet1: TTabSheet;
  CheckListBox1: TCheckListBox;
  StringGrid1: TStringGrid;
  BitBtn1: TBitBtn; BitBtn2: TBitBtn; BitBtn3: TBitBtn;
  TabSheet2: TTabSheet;
  BitBtn4: TBitBtn;
  Memo2: TMemo;
  RadioGroup1: TRadioGroup;
  ProgressBar1: TProgressBar;
  StringGrid2: TStringGrid;
  ListBox1: TListBox;
  MainMenu1: TMainMenu;
  N1: TMenuItem; N2: TMenuItem; N3: TMenuItem; N4: TMenuItem;
  N5: TMenuItem;
  procedure FormPaint(Sender: TObject);
  procedure FormCreate(Sender: TObject);
  procedure FormResize(Sender: TObject);
  procedure TimerTimer(Sender: TObject);
  procedure FormDestroy(Sender: TObject);
  procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
  procedure FormMouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton; Shift: TShiftState;
  X, Y: Integer);
  procedure FormMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
  procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
  procedure ApplicationEvents1Message(var Msg: tagMSG; var Handled: Boolean);
  procedure TrackBar1Change(Sender: TObject);
  procedure CheckListBox1Click(Sender: TObject);
  procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
  procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
  procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
  procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
  procedure ListBox1Click(Sender: TObject);
  procedure N2Click(Sender: TObject);
  procedure N4Click(Sender: TObject);
  procedure N5Click(Sender: TObject);
private
  // Переменные для инициализации OpenGL

```

```

HRC:      HGLRC;
pfd:      TPixelFormatDescriptor;
nPixelFormat: Integer;
// Координаты центра экрана
FOX: Integer;
FOY: Integer;
// Старые координаты мыши
FOldMouseX: Double;
FOldMouseY: Double;
// Направление вращения земли, по горизонтали и по вертикали
FVRotateDirection: Integer;
FHRotateDirection: Integer;
// Текстура земли
FEarthText: TGLTexture;
// Скорость вращения земли, по горизонтали и по вертикали
FSpeedX: Double;
FSpeedY: Double;
// Сфера
FGLUObj: GLUquadricObj;
// Массив звезд
FStars: array[1..STARS_COUNT] of TStar;
D: array[0..1000000] of Dlina;
// Процедура рисования сцены
procedure DrawScene;
// Сброс параметров вращения земли (остановка)
procedure ResetMoveParams;
procedure Traekt;
end;

var
  MainForm: TMainForm;
  stars_N: integer;
implementation

{$R *.dfm}
function GetToken(aString, SepChar: string; TokenNum: Byte): string; var Token:
string; StrLen: Byte; TNum: Byte; TEnd: Byte;
begin StrLen := Length(aString); TNum := 1; TEnd := StrLen; while ((TNum <= TokenNum)
and (TEnd <> 0)) do begin TEnd := Pos(SepChar, aString); if TEnd <> 0 then begin
Token := Copy(aString, 1, TEnd - 1); Delete(aString, 1, TEnd); Inc(TNum); end else
begin Token := aString; end; end; if TNum >= TokenNum then begin GetToken :=
Token; end else begin GetToken := "; end; end;
function NumToken(aString, SepChar: string): Byte; var RChar: Char; StrLen, TNum, TEnd:
Byte;
begin if SepChar = '#' then begin RChar := '*' end else begin RChar := '#' end; StrLen :=
Length(aString); TNum := 0; TEnd := StrLen; while TEnd <> 0 do begin Inc(TNum); TEnd
:= Pos(SepChar, aString); if TEnd <> 0 then begin aString[TEnd] := RChar; end;
end; Result := TNum; end;

procedure TMainForm.FormCreate(Sender: TObject);
var

```

```

I: Integer;
s:string;
begin
PageControl1.TabIndex:=0;
memo1.Lines.LoadFromFile('sput.txt');
STARS_N:=0 ;
for I := 0 to memo1.Lines.Count-1 do
begin
s:=memo1.Lines.Strings[i];
if NumToken(s, ' ')>=7 then
begin
inc(STARS_N);
FStars[STARS_N].name := gettoken(s, ',1);
FStars[STARS_N].a1 := strtfloat(gettoken(s, ',2));
FStars[STARS_N].a2 := strtfloat(gettoken(s, ',3));
FStars[STARS_N].a3 := strtfloat(gettoken(s, ',4));
FStars[STARS_N].a4 := strtfloat(gettoken(s, ',5));
FStars[STARS_N].a5 := strtfloat(gettoken(s, ',6));
FStars[STARS_N].a6 := strtfloat(gettoken(s, ',7));
CheckListBox1.Items.Add(s);
end;
end;

for i := 0 to CheckListBox1.Items.Count-1 do
CheckListBox1.Checked[i]:=true;
stringgrid1.Cells[0,0]:='Название спутника' ;
stringgrid1.Cells[0,1]:='Большая полуось(a1)' ;
stringgrid1.Cells[0,2]:='Эксцентриситет(a2)' ;
stringgrid1.Cells[0,3]:='Наклонение орбиты(a3)' ;
stringgrid1.Cells[0,4]:='Долгота восходящего узла(a4)' ;
stringgrid1.Cells[0,5]:='Аргумент перигея(a5)' ;
stringgrid1.Cells[0,6]:='Средняя аномалия(a6)' ;
ResetMoveParams;
// Вычисляем центр экрана
FoX := (ClientWidth-panel1.Width) div 2;
FoY := ClientHeight div 2;
// Инициализируем OpenGL
FillChar(pfd, SizeOf(pfd), 0);
pfd.dwFlags := PFD_DOUBLEBUFFER or
PFD_SUPPORT_OPENGL or
PFD_DRAW_TO_WINDOW or
PFD_GENERIC_ACCELERATED;
nPixelFormat := ChoosePixelFormat(Canvas.Handle, @pfd);
SetPixelFormat(Canvas.Handle, nPixelFormat, @pfd);
hrc := wglCreateContext(Canvas.Handle);
wglMakeCurrent(Canvas.Handle, hrc);
// Создаем и загружаем текстуру земли
FEarthText := TGLTexture.Create(EARTH_TEXT_ID);
FEarthText.LoadFromJpg(EARTH_TEXT_FILE_NAME);
ReSize;
Timer.Enabled := True;

```

```
end;
procedure TMainForm.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin
  wglMakeCurrent(0, 0);
  wglDeleteContext(hrc);
end;

procedure TMainForm.FormPaint(Sender: TObject);
begin
  DrawScene;
end;

procedure TMainForm.FormResize(Sender: TObject);
begin
  FoX := ClientWidth div 2;
  FoY := ClientHeight div 2;
  glViewport(panel1.Width, 0, ClientWidth-panel1.Width, ClientHeight);
  glMatrixMode(GL_PROJECTION);
  glLoadIdentity;
  gluPerspective(trackbar1.Position, (ClientWidth-panel1.Width) / ClientHeight, 0.2, 10);
  glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
  InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure TMainForm.ListBox1Click(Sender: TObject);
var s:string;
i:integer;
pp:double;
begin
  s:= ListBox1.Items.Strings[ListBox1.ItemIndex];
  if RadioGroup1.ItemIndex=0 then pp:=1 else pp:=6371.302;

  for I := 1 to ListBox1.Items.Count do

  if pos(d[i].name1+' '+d[i].name2,s)>1 then
  begin

StringGrid2.Cells[1,0]:=d[i].name1;
StringGrid2.Cells[2,0]:=d[i].name2;
StringGrid2.Cells[1,1]:=floattostr(d[i].x1);
StringGrid2.Cells[1,2]:=floattostr(d[i].y1);
StringGrid2.Cells[1,3]:=floattostr(d[i].z1);
StringGrid2.Cells[2,1]:=floattostr(d[i].x2);
StringGrid2.Cells[2,2]:=floattostr(d[i].y2);
StringGrid2.Cells[2,3]:=floattostr(d[i].z2);
end;
StringGrid2.Cells[0,0]:='name';
StringGrid2.Cells[0,1]:='x =';
StringGrid2.Cells[0,2]:='y =';
StringGrid2.Cells[0,3]:='z =';
end;
```

```
procedure TMainForm.N2Click(Sender: TObject);
begin
Application.Terminate;
end;

procedure TMainForm.N4Click(Sender: TObject);
begin
Showmessage('Математическое и компьютерное моделирование траекторий
орбитальных объектов. Данная программа предназначена для исследования
траекторий движения околоземных объектов. ');
end;

procedure TMainForm.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
application.ProcessMessages;
end;

procedure TMainForm.TimerTimer(Sender: TObject);
begin
DrawScene;
if FSpeedX > 0.2 then
begin
FSpeedX := FSpeedX - 0.05;
end else
begin
FSpeedX := 0.2;
end;

if FSpeedY > 0.05 then
begin
FSpeedY := FSpeedY - 0.05;
end else
begin
FSpeedY := 0;
end;
end;

procedure TMainForm.TrackBar1Change(Sender: TObject);      begin  MainForm.Resize;
end;

procedure TMainForm.FormMouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton; Shift:
TShiftState; X, Y: Integer);
begin
FOldMouseX := X;      FOldMouseY := Y;
if ssLeft in Shift then ResetMoveParams;
end;

procedure TMainForm.FormMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
if ssRight in Shift then
```



```

begin
  FSpeedX := Abs(FOldMouseX - X);
  if FSpeedX > MAX_X_SPEED then
    begin
      FSpeedX := MAX_X_SPEED;
    end;

  FSpeedY := Abs(FOldMouseY - Y);
  if FSpeedY > MAX_Y_SPEED then
    begin
      FSpeedY := MAX_Y_SPEED;
    end;

  if FOldMouseX > X then FHRotateDirection := - 1;
  if FOldMouseX < X then FHRotateDirection := 1;
  if FOldMouseY > Y then FVRotateDirection := - 1;
  if FOldMouseY < Y then FVRotateDirection := 1;
  FOldMouseY := Y;
  FOldMouseX := X;
end;
end;

procedure TMainForm.FormDestroy(Sender: TObject);
var i:integer;
begin
  FEarthText.Free;
  memo1.Clear;
  for I := 0 to CheckListBox1.Items.Count-1 do
    memo1.Lines.Add(CheckListBox1.Items.Strings[i]);
  memo1.Lines.SaveToFile('sput.txt');
end;

procedure TMainForm.ApplicationEvents1Message(var Msg: tagMSG;
  var Handled: Boolean);
begin
  with Msg do
    // собственно само сообщение
    if message = WM_MOUSEWHEEL Then // если крутим колесо
      begin
        if wParam/10000000>1 then trackbar1.Position:=trackbar1.Position+5;
        if wParam/10000000<1 then trackbar1.Position:=trackbar1.Position-5;
        end;
      end;
end;

procedure TMainForm.Traekt;
var
  I,j: Integer;
  x,y,z,a,b,c,x1,y1,z1:GLfloat;
begin
  glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK,GL_Line);
  glLineWidth(5);
  for I := 1 to STARS_N do

```

```

begin
a:= FStars[I].a1;
c:=a*FStars[I].a2;
b:= sqrt(sqrt(a)-sqrt(c));
glBegin(GL_Polygon);
glcolor4f(255, 255,255,255);
if checklistbox1.Checked[i-1] then
for j := 0 to 360 do
begin
x:=-c+a*cos(j*pi/180);
y:=b*sin(j*pi/180);
z:=0;
x1:= x*cos(FStars[I].a3*pi/180)+z*sin(FStars[I].a3*pi/180);
y1:= y;
z1:=-x*sin(FStars[I].a3*pi/180)+z*cos(FStars[I].a3*pi/180);
x:=x1;y:=y1;z:=z1;
x1:= x*cos(FStars[I].a4*pi/180)+y*sin(FStars[I].a4*pi/180);
y1:= -x*sin(FStars[I].a4*pi/180)+y*cos(FStars[I].a4*pi/180);
z1:=z;
if i-1=checklistbox1.ItemIndex then glcolor3f(255, 0,0);
glVertex(x1, y1,z1);
end;
glEnd;
end;
glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK,GL_fill);
end;

procedure TMainForm.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var s:string; i,k:integer;
begin
s:="";
for i := 0 to 6 do
s:=s+stringgrid1.Cells[1,i]+' ';
k:=checklistbox1.ItemIndex;
checklistbox1.Items.Strings[k]:=s;
k:=k+1;
FStars[k].name := gettoken(s,'',1); FStars[k].a1 := strtofloat(gettoken(s,'',2));
FStars[k].a2 := strtofloat(gettoken(s,'',3)); FStars[k].a3 := strtofloat(gettoken(s,'',4));
FStars[k].a4 := strtofloat(gettoken(s,'',5)); FStars[k].a5 := strtofloat(gettoken(s,'',6));
FStars[k].a6 := strtofloat(gettoken(s,'',7));
end;

procedure TMainForm.BitBtn2Click(Sender: TObject);
var s:string;
begin
s:=checklistbox1.Items.Strings[checklistbox1.ItemIndex];
checklistbox1.Items.Add(s);
inc(STARS_N);
FStars[STARS_N].name := gettoken(s,'',1);
FStars[STARS_N].a1 := strtofloat(gettoken(s,'',2));
FStars[STARS_N].a2 := strtofloat(gettoken(s,'',3));

```

```

FStars[STARS_N].a3 := strtfloat(gettoken(s,',4));
FStars[STARS_N].a4 := strtfloat(gettoken(s,',5));
FStars[STARS_N].a5 := strtfloat(gettoken(s,',6));
FStars[STARS_N].a6 := strtfloat(gettoken(s,',7));
checkbox1.Checked[STARS_N-1]:=true;
end;

procedure TMainForm.BitBtn3Click(Sender: TObject);
var s:string; i,k:integer;
begin
k:=checkbox1.ItemIndex;
for I := k+1 to STARS_N-1 do
begin
FStars[i].name := FStars[i+1].name;
FStars[i].a1 := FStars[i+1].a1; FStars[i].a2 := FStars[i+1].a2;
FStars[i].a3 := FStars[i+1].a3; FStars[i].a4 := FStars[i+1].a4;
FStars[i].a5 := FStars[i+1].a5; FStars[i].a6 := FStars[i+1].a6;
end;
checkbox1.Items.Delete(k);
STARS_N:=STARS_N-1 ;
checkbox1.ItemIndex:=0;
end;

function Sort(List: TStringList; Index1, Index2: Integer): integer;
begin
Result:=trunc(strtfloat(gettoken(List[Index1],',1))-strtfloat(gettoken(List[Index2],',1)));
end;
//***** расстояние
procedure TMainForm.BitBtn4Click(Sender: TObject);
var
I,j,k,kk,w: Integer;
a0,b0,c0, x,y,z,a,b,c,x1,y1,z1,x2,y2,z2,d1,d0,pp:GLfloat;
var
tmp:TStringList;
begin
w:=0;
ProgressBar1.Max:= STARS_N-1;
for I := 1 to STARS_N-1 do
begin
ProgressBar1.Position:=i;
a0:= FStars[I].a1;
c0:=a0*FStars[I].a2;
b0:= sqrt(sqr(a0)-sqr(c0));
for j := i+1 to STARS_N do
begin
a:= FStars[j].a1;
c:=a*FStars[j].a2;
b:= sqrt(sqr(a)-sqr(c));
d0:=1000000;
inc(w);
for k := 0 to 360 do

```

```

begin
x:=-c0+a0*cos(k*pi/180);
y:=b0*sin(k*pi/180);
z:=0;
x1:= x*cos(FStars[I].a3*pi/180)+z*sin(FStars[I].a3*pi/180);
y1:= y;
z1:=-x*sin(FStars[I].a3*pi/180)+z*cos(FStars[I].a3*pi/180);
x:=x1;y:=y1;z:=z1;
x1:= x*cos(FStars[I].a4*pi/180)+y*sin(FStars[I].a4*pi/180);
y1:= -x*sin(FStars[I].a4*pi/180)+y*cos(FStars[I].a4*pi/180);
z1:=z;
x2:=x1;y2:=y1;z2:=z1;
for kk := 0 to 360 do
begin
x:=-c+a*cos(kk*pi/180);
y:=b*sin(kk*pi/180);
z:=0;
x1:= x*cos(FStars[j].a3*pi/180)+z*sin(FStars[j].a3*pi/180);
y1:= y;
z1:=-x*sin(FStars[j].a3*pi/180)+z*cos(FStars[j].a3*pi/180);
x:=x1;y:=y1;z:=z1;
x1:= x*cos(FStars[j].a4*pi/180)+y*sin(FStars[j].a4*pi/180);
y1:= -x*sin(FStars[j].a4*pi/180)+y*cos(FStars[j].a4*pi/180);
z1:=z;
d1:=sqrt(sqrt(x2-x1)+sqrt(y2-y1)+sqrt(z2-z1));
if d1<d0 then
begin
d0:=d1;
d[w].name1:=FStars[i].name;
d[w].name2:=FStars[j].name;
d[w].d:=d0;
d[w].x1:=x2; d[w].y1:=y2; d[w].z1:=z2;
d[w].x2:=x1; d[w].y2:=y1; d[w].z2:=z1;
end; end; end; end; end;
memo2.Clear;
if RadioGroup1.ItemIndex=0 then pp:=1 else pp:=6371.302;
for I := 1 to w do
memo2.Lines.Add(floattostr(d[i].d*pp) + ' ' +d[i].name1+' '+d[i].name2);
tmp:=TStringList.Create;
tmp.Assign(Memo2.Lines);
if RadioGroup1.ItemIndex=1 then tmp.CustomSort(Sort) else
tmp.Sort;
Memo2.Lines.Assign(tmp);
listbox1.Items.Assign(tmp);
FreeAndNil(tmp);
end;
procedure TMainForm.CheckListBox1Click(Sender: TObject);
var s:string; i:integer;
begin
s:=checkboxlistbox1.Items.Strings[checkboxlistbox1.ItemIndex];
for i := 0 to 6 do

```

```
stringgrid1.Cells[1,i]:=gettoken(s,',',i+1);
end;
procedure TMainForm.DrawScene;
var mvMatrix: array[0..15] of GLfloat;
begin // Очищаем буфер цвета и буфер глубины
  glClearColor(0, 0, 0, 0);
  glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT or GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
  // Рисуем землю // Включаем буфер глубины
  glEnable(GL_DEPTH_TEST);
  // Включаем освещение
  glEnable(GL_LIGHTING); glEnable(GL_LIGHT0);
  // Включаем туман (Атмосферу)
  glEnable(GL_FOG);
  glFogi(GL_FOG_MODE, GL_LINEAR);
  glFogfv(GL_FOG_COLOR, @FOG_COLOR);
  glFogf(GL_FOG_DENSITY, 1.0);
  glFogf(GL_FOG_START, 0.9);
  glFogf(GL_FOG_END, 0.3);
  glMatrixMode(GL_PROJECTION);
  glPushMatrix; glTranslate(0, 0, -4); glPopMatrix;
  Тракт;
  glPopMatrix;
  // Рисуем землю
  glEnable(GL_NORMALIZE); glEnable(GL_TEXTURE_2D);
  glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, FEarthText.TextureID);
  FGLUObj := gluNewQuadric;
  gluQuadricTexture(FGLUObj, GL_TRUE);
  gluQuadricDrawStyle(FGLUObj, GLU_FILL);
  gluSphere(FGLUObj, EARTH_RAD, 64, 64);
  gluDeleteQuadric(FGLUObj);
  glDisable(GL_TEXTURE_2D);
  glPopMatrix;
  glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
  glDisable(GL_LIGHTING);
  glDisable(GL_DEPTH_TEST);
  glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
  glGetFloatv(GL_MODELVIEW_MATRIX, @mvMatrix);
  glLoadIdentity();
  glRotatef(FHROtateDirection * FSpeedX / 2, 0, 1, 0);
  glRotatef(FVROtateDirection * FSpeedY / 2, 1, 0, 0);
  glLightModelfv(GL_LIGHT_MODEL_AMBIENT, @ambient);
  glMultMatrixf(@mvMatrix);
  SwapBuffers(Canvas.Handle);
end;
procedure TMainForm.ResetMoveParams;
begin
  FSpeedX := 0.2; FSpeedY := 0;
  FHROtateDirection := 1;
end; end.
```