

УДК 004

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОСТРОЕНИЯ ОТКОСОВ В ГИС ИНГЕО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИВЫХ

**Кулаков Петр Алексеевич**

канд. тех. наук

Уфимский государственный нефтяной технический университет  
(филиал), Стерлитамак

*author@apriori-journal.ru*

**Аннотация.** Раскрываются особенности программирования геометрических преобразований на плоскости. Рассмотрен математический аппарат и алгоритмы построения откосов для геоинформационной системы Ингео.

**Ключевые слова:** геоинформационная система; рельеф; откос; программирование; алгоритм.

---

## AUTOMATED SYSTEM FOR BUILDING SLOPES OF GIS INGEO USING CURVES

**Kulakov Petr Alecseevich**

candidate of technical sciences

Ufa State Aircraft Technical University (branch), Sterlitamak

**Abstract.** The peculiarities of programming geometric transformations in the plane. The mathematical apparatus and algorithms for constructing slopes for geographic information system Ingeo.

**Key words:** geographic information system; terrain; slope; programming algorithm.

Геоинформационная система (ГИС) технологии позволяют эффективно выполнять задачи анализа, планирования, развития в социальной демографической, промышленной, градостроительной, экономической области. Существует множество ГИС различных производителей и ориентированных на разные задачи. Это AutoCAD Map 3D, ArcGIS, Autodesk MapGuide Studio, MapInfo, Ингео и др. Практически все они имеют средства конструирования библиотек, любых векторных символов, линий, заливок и проч. без малейших ограничений, API для связи с внешними программами (COM/OLE Automation), встроенные VBscript и Javascript, импорт/экспорт во внешние форматы MIF/MID, DXF. Но среди множества ГИС можно выделить Ингео, как обладающую рядом отличительных свойств: это система архитектуры «клиент/сервер», имеющая самую развитую систему санкционированного доступа к картографической информации среди всех других ГИС, единственная система, которая обеспечивает защиту растров от несанкционированного копирования пользователями.

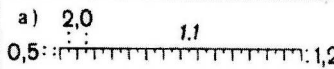
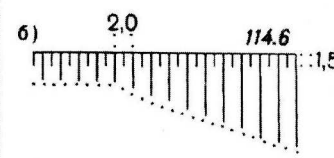
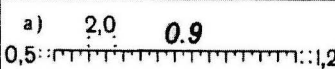
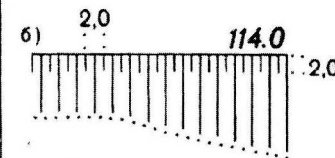
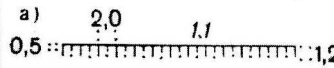
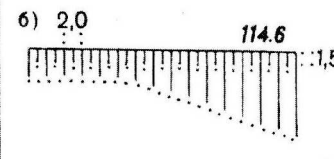
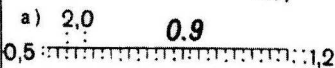
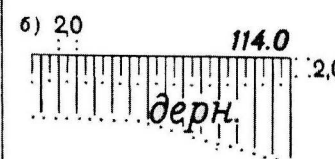
№	НАЗВАНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ПЛАНОВ МАСШТАБОВ	
		1:5 000, 1:2 000	1:1 000, 1:500
84	Откосы неукрепленные (цифры — высоты в м) [131-133]	а)  б) 	а)  б) 
85	Откосы укрепленные (надписи — способы укрепления; цифры — высоты в м) [131-133]	а)  б) 	а)  б) 

Рис. 1. Условные обозначения откосов

Наряду со своими преимуществами ГИС Ингео не имеет многих популярных у проектировщиков встроенных средств имеющихся в других системах, в частности стоит проблема с построением рельефа и откосов (см. рис. 1), которые имеют требования к изображению [1]. Если первое реализовано в виде сторонних модулей, то вторая проблема не решена.

При разработке модуля построения откосов было рассмотрено 3 модели [2]. Первые две модели: работа в реальной системе координат и параллельный перенос и поворот осей системы координат признаны неэффективными, поскольку имеют следующие недостатки:

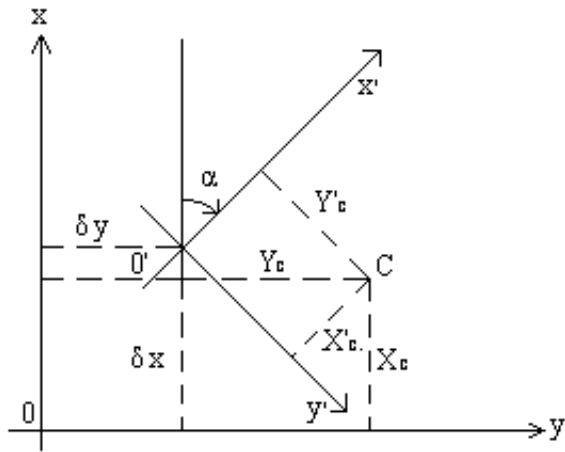
При нахождении уравнения прямой по формуле (1) – имеем четыре вычитания, которые являются делителем.

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (1)$$

В результате, при достаточно близких значениях  $x_1$  и  $x_2$  или  $y_1$  и  $y_2$  можем получить большую погрешность (ввиду возможных больших значений координат 9-12 значащих цифр, возможны округления, затем вычитания). А вариант с отрезками параллельными или близкими к этому состоянию нужно обрабатывать как исключительные ситуации, по своеобразному алгоритму.

Вторым недостатком является то, что зная уравнение прямой, необходимо для каждого отрезка дополнительно определять направление вектора, как самой прямой, так и перпендикуляра. Если первый вычисляется достаточно просто сравнением  $x_1$  и  $x_2$  или  $y_1$  и  $y_2$ , то направление, перпендикуляра вычисляется уже сложнее.

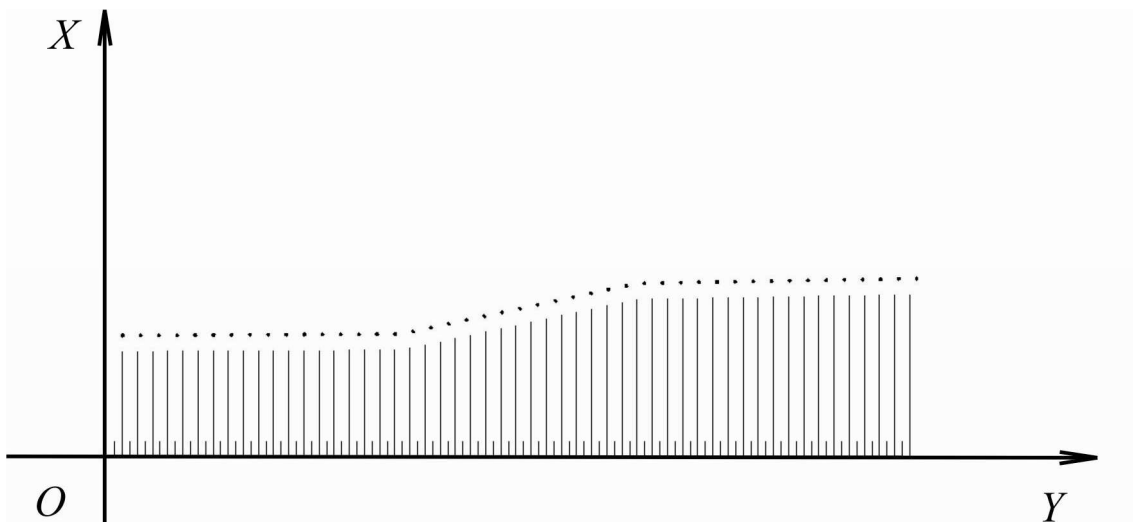
При параллельном переносе и повороте осей системы координат (см. рис. 2). Положение любой точки в новой системе координат будет определяться по формуле 2 [3].



**Рис. 2. Перенос системы координат**

$$\begin{cases} X'_c = (X_c - \delta x) \cdot \cos(\alpha) + (Y_c - \delta y) \cdot \sin(\alpha); \\ Y'_c = -(X_c - \delta x) \cdot \sin(\alpha) + (Y_c - \delta y) \cdot \cos(\alpha); \end{cases} \quad (2)$$

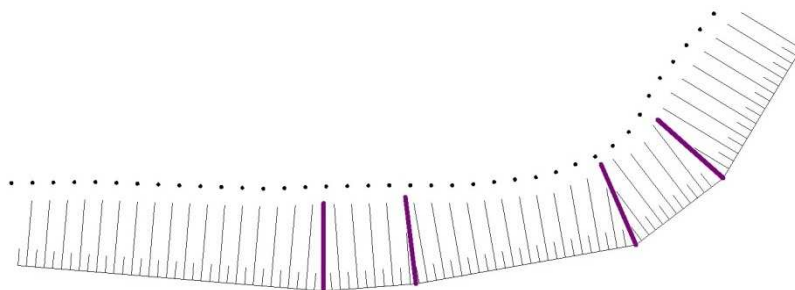
С одной стороны при переносе системы координат в начало рассматриваемого отрезка верхней линии откоса и поворот системы координат до параллельности отрезка одной из осей, позволяет легко получить координаты перпендикуляров заданной длины – это отрезки перпендикулярные оси, одна из координат которых лежит на оси через заданный интервал. Далее, получив уравнение пунктирной линии, легко находится точка пересечения с длинным штрихом (см. рис. 3).



**Рис. 3. Откос в новой системе координат**

Данный метод хорош для углов  $\alpha$  от 0 до 90 градусов. Но как только, рассмотрим всю плоскость от 0 до 360 градусов – система становится запутанной, поскольку придется обрабатывать исключительные ситуации при углах 0, 90, 180, 270 градусов (углы  $\alpha$  находятся через  $\text{arctg}$  и  $\text{arcctg}$ , которые не могут одновременно существовать и только их одновременное нахождение может позволить точно определить в какой четверти находится угол). В результате то получаем сложную систему с четырьмя исключительными ситуациями и множеством вспомогательных вычислений. Так же как и в первом методе, необходимо для каждого отрезка определять направление перпендикуляра.

В результате был предложен способ оторваться от геометрии и перейти к объектовой модели программирования. В качестве базового объекта было предложено взять класс, содержащий следующие поля: начальная точка, конечная точка, вектор (двухмерная величина, определяемая как разность  $x_2 - x_1$  и  $y_2 - y_1$ ) и отрезок единичной длины вдоль этого вектора.



**Рис. 4. Разбиение откоса на части**

Направление построение перпендикуляров определяется 1 раз для всего откоса, поскольку положение верхнего края и линии подножия откоса не меняется друг относительно друга. Таким образом можно получить перпендикулярный отрезок единичной длины. Затем строятся короткие штрихи и длинные. В последнем случае находится точка пересечения с линией подножия и длина штрих уменьшается на величину, установленную в условных знаках.

Далее возникает вопрос с пересечением линий на изгибах. Для этого производим разбиение всего откоса на многоугольники (см. рис. 4).

Биссектрисы углов выделены жирными линиями. И внутри каждой трапеции или многоугольника строим штриховку.

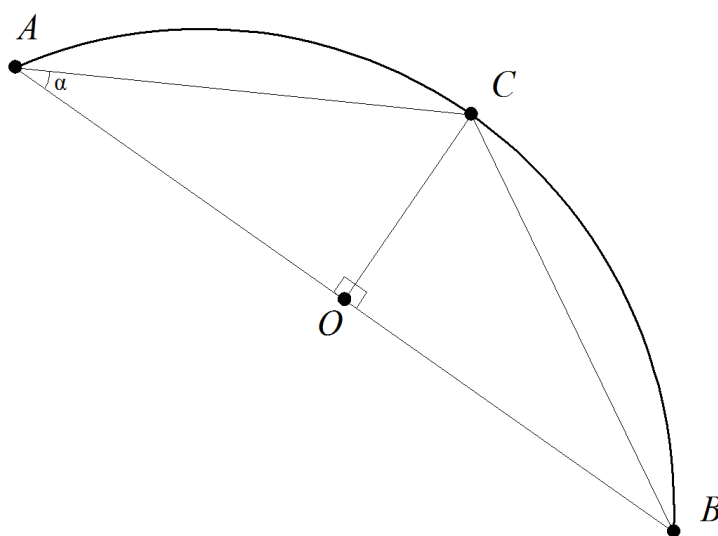
Далее решили задачу для откосов заданных не только прямыми линиями, но и кривыми, заданными через три параметра: координаты  $x$ ,  $y$  и тангенс угла наклона описанной окружности. Если последний параметр не равен нулю, то есть не прямая линия, для каждого промежутка сначала необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. Необходимо определить три точки окружности (см. рис. 5). Зная тангенс угла  $\alpha$ , можно определить координаты точки  $C$ . Сначала по формуле находим координаты точки  $O$ , как координаты начально точки  $A$ , плюс половина вектора  $AB$ .

$$\begin{cases} X_O = X_A + (X_A + X_B)/2; \\ Y_O = Y_A + (Y_A + Y_B)/2; \end{cases} \quad (3)$$

Перпендикуляром будет служить вектор  $(-(Y_A + Y_B) / 2, (X_A + X_B) / 2)$ . Поскольку отношение  $CO/AO$  равно  $\text{tg}(\alpha)$ , то координата точки  $C$  можно вычислить по формуле:

$$\begin{cases} X_C = X_O - \text{tg}(\alpha)(Y_A + Y_B)/2; \\ Y_C = Y_O + \text{tg}(\alpha)(X_A + X_B)/2; \end{cases} \quad (4)$$



**Рис. 5. Построение треугольника для описанной окружности**

2. Необходимо определить центр окружности. Пусть  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  радиус-векторы вершин треугольника,  $r_O$  – радиус-вектор центра описанной окружности. Тогда

$$R_O = \alpha_A R_A + \alpha_B R_B + \alpha_C R_C \quad (5)$$

где:

$$\alpha_A = \frac{a^2}{8S^2} (R_A - R_B, R_A - R_C),$$

$$\alpha_B = \frac{b^2}{8S^2} (R_B - R_A, R_B - R_C),$$

$$\alpha_C = \frac{c^2}{8S^2} (R_C - R_A, R_C - R_B),$$

Тогда координаты центра окружности определяются по формулам:

$$X_O = \frac{1}{4S} \begin{vmatrix} x_A^2 + y_A^2 & y_A & 1 \\ x_B^2 + y_B^2 & y_B & 1 \\ x_C^2 + y_C^2 & y_C & 1 \end{vmatrix}, \quad Y_O = \frac{1}{4S} \begin{vmatrix} x_A^2 + y_A^2 & x_A & 1 \\ x_B^2 + y_B^2 & x_B & 1 \\ x_C^2 + y_C^2 & x_C & 1 \end{vmatrix}, \quad (6)$$

а уравнение описанной окружности имеет вид:

$$\begin{vmatrix} x^2 + y^2 & x & y & 1 \\ x_A^2 + y_A^2 & x_A & y_A & 1 \\ x_B^2 + y_B^2 & x_B & y_B & 1 \\ x_C^2 + y_C^2 & x_C & y_C & 1 \end{vmatrix}$$

Зная центр окружности и радиус, далее необходимо провести аппроксимацию дуги отрезками, в соответствии с требованиями условными обозначениями и работать аналогично, как и с отрезками.

Используя разработанную математическую модель, был разработан модуль построения штриховки для ГИС Ингео. Данный модуль реализован в виде двух DLL. Первая DLL реализует взаимодействие с ГИС Ингео в качестве COM компонента. Данный модуль получает исходные данные и формирует объекты для создания в ГИС Ингео. Второй модуль получает на входе 2 массива точек верха и низа откосов, обрабатывает их и возвращает массив с координатами отрезков штрихов. Таким образом, данную разработку можно использовать не только для ГИС Ингео, но и при небольших доработках для любых других программных пакетов.

## Список использованных источников

1. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. М.: Картгеоцентр-Геозедиздат, 2000. 286 с.
2. Кулаков П.А. Автоматизированная система построения откосов в ГИС Ингео // Научная дискуссия: вопросы математики, физики, химии, биологии: матер. V междунар. заоч. науч.-практ. конф. М.: Международный центр науки и образования, 2013. С. 90-94.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М., 1962. 608 с.
4. Понарин Я.П. Элементарная геометрия. В 2 т. Т. 1: Планиметрия, преобразования плоскости. М.: МЦНМО, 2008. 312 с.