

УДК 004.67

## ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ДАННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Медведева В.Н., Коробенко И.В.

## ИНТЕРПОЛЯЦІЯ ДАНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ВИМІРІВ

Медведєва В.М., Короленко І.В.

## INTERPOLATION OF GEOLOGICAL MEASUREMENTS

Medvedeva V., Korobenko I.

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

[vnm@aprodos.kpi.ua](mailto:vnm@aprodos.kpi.ua)

*Предложена методика интерполяции геологических данных, основанная на триангуляции Делоне и барицентрических координатах точки интерполирования. Порядок следования слоев грунта формируется с учетом упорядоченного классификатора грунтов. Методика реализована в автоматизированной системе мониторинга геологической среды в зоне сооружений энергетического объекта*

**Ключевые слова:** мониторинг состояния грунтов, кригинговая интерполяция, триангуляция Делоне, барицентрические координаты

*Запропонована методика інтерполяції геологічних даних, що заснована на триангуляції Делоне та барицентричних координатах точки інтерполювання. Послідовність розміщення шарів ґрунта формується з урахуванням упорядкованого класифікатора ґрунтів. Методика реалізована в автоматизованій системі моніторингу геологічного середовища у зоні споруд енергетичного об'єкту.*

**Ключові слова:** моніторинг стану ґрунтів, кригінгова інтерполяція, тріангуляція Делоне, барицентричні координати

*A methodology for interpolation of geological data based on Delaunay triangulation and on barycentric coordinate system for interpolation points is suggested. The order of soil layers is formed according to the ordered classificatory of soils. The methodology is implemented within the automated system for the monitoring of a geological environment in a construction zone of an energy facility.*

**Keywords:** monitoring of the soil condition, kriging interpolation, Delaunay triangulation, barycentric coordinate system

### 1. Введение

Одной из актуальных задач мониторинга окружающей среды в зоне влияния АЭС является наблюдение за геологическими процессами и состоянием грунтов, что требует наличия информации о грунтовом массиве: о характеристиках грунтовых слоев, об уровне грунтовых вод и т.д.[1]

Существующая практика предполагает получение информации о грунтовом массиве по данным бурения в виде «образцов-представителей», которые проходят

лабораторную обработку. Большая стоимость и трудоемкость бурения скважин и обработки образцов ограничивает сетку скважин на площадке и объем информации о грунтовом массиве.

Развитие технологий статического и динамического зондирования позволяет получить информацию по одной скважине в значительно более короткие сроки по сравнению с методом бурения разведочных скважин.

Однако одной из характерных особенностей данных геологических измерений остается неравномерность распространения замеров [2,4]. При использовании таких данных для построения разрезов, отображающих характер напластований грунтов, возникает задача интерполяции данных в точках, где отсутствуют измерения. Целью данной работы является проведение такой интерполяции, т.е. построение так называемых виртуальных скважин.

## 2. Интерполяция геологических данных

При обработке геологических измерений широко применяется кригинговая интерполяция фактических данных [5,7,8], которая заключается в следующем: в искомой точке определяется среднее значение измеренной величины по некоторой выборке. В такую выборку помещаются события, пространственное положение которых таково, что расстояние между точкой измерения и искомой точкой меньше некоторой величины, называемой радиусом усреднения. Радиус усреднения полагается или постоянным, или выбирается среди набора радиусов, меняющихся в диапазоне от минимального до максимального значения с некоторым шагом. Радиус выбирается таким, чтобы дисперсия искомой величины не превышала заданного значения. Вес каждого замера в выборке при определении среднего значения зависит от расстояния между точкой измерения и искомой точкой.

В нашем случае необходимо проводить интерполяцию не для одной, а для нескольких измеренных величин, полученных в каждой точке измерения, т.е. в каждой скважине. Это характеристики всех зафиксированных слоев грунта и их последовательность, а именно, глубина подошвы каждого слоя, шифр грунта слоя, уровень грунтовых вод. Поэтому для увеличения производительности вычислений было бы эффективно определить некую единую характеристику, которая позволит провести интерполяцию всех нужных параметров в искомой точке.

Предлагается следующая методика интерполяции: провести триангуляцию Делоне [3,9,10] на плоскости с отмеченными скважинами, затем, зная треугольник, в который попадает искомая точка (виртуальная скважина), провести на основе барицентрических координат этой точки интерполяцию параметров всех слоев грунта, учитывая при этом приоритет следования слоев.

## 3. Построение виртуальной скважины

*Интерполяция.* Существуют хорошо разработанные методы гладкой интерполяции функций [6]. Особенно часто при интерполяции кривых и поверхностей используются сплайн-функции, которые гладко «склеиваются» из полиномов. Среди них следует выделить кубические сплайны, которые строятся из полиномов третьей степени. Они широко используются в инженерной геометрии благодаря простоте их вычисления и другим полезным свойствам.

Воспользуемся наиболее простым вариантом интерполяции функции двух переменных, а именно интерполяцией по трем заданным точкам с помощью кусочно-линейной функции. Пусть на плоскости задан треугольник с вершинами  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2,$

$y_2$ ) и  $(x_3, y_3)$ , а также заданы значения функции в этих точках  $z_1, z_2$  и  $z_3$ . Предполагается, что площадь треугольника больше нуля, т.е. треугольник невырожденный.

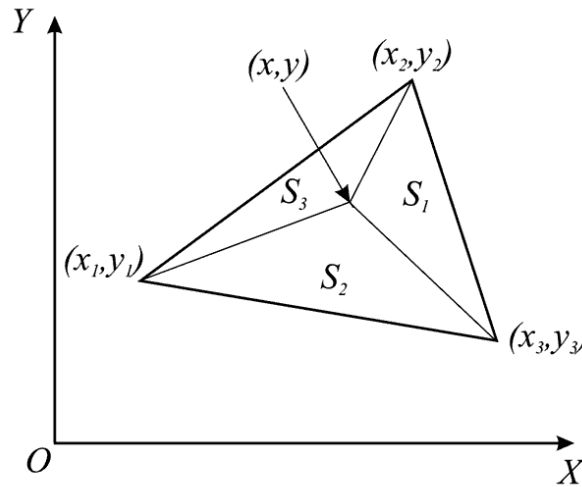


Рис. 1. Линейная интерполяция функции двух переменных

Для определения значения функции  $z$  в произвольной точке  $(x, y)$ , лежащей внутри треугольника, воспользуемся так называемыми барицентрическими координатами  $(\alpha, \beta, \gamma)$  этой точки. Геометрический смысл этих координат заключается в том, что они равны отношению площадей треугольников, изображенных на рис. 1:

$$\alpha = S_1 / S; \quad \beta = S_2 / S; \quad \gamma = S_3 / S; \quad S = S_1 + S_2 + S_3.$$

Барицентрические координаты по определению неотрицательны и удовлетворяют следующим соотношениям:

$$\left. \begin{aligned} \alpha + \beta + \gamma &= 1 \\ \alpha \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \gamma \cdot x_3 &= x \\ \alpha \cdot y_1 + \beta \cdot y_2 + \gamma \cdot y_3 &= y \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Определитель системы уравнений (1) по модулю равен удвоенной площади треугольника, поэтому  $\Delta \neq 0$ , следовательно, система имеет единственное решение при любой правой части. Воспользуемся методом Крамера для решения этой системы уравнений:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \end{vmatrix}; \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x & x_2 & x_3 \\ y & y_2 & y_3 \end{vmatrix}; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_1 & x & x_3 \\ y_1 & y & y_3 \end{vmatrix}.$$

$$\alpha = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad \beta = \frac{\Delta_2}{\Delta}; \quad \gamma = 1 - \alpha - \beta.$$

После того как получены барицентрические координаты точки  $(x, y)$ , значение функции в ней рассчитывается по формуле

$$z = \alpha z_1 + \beta z_2 + \gamma z_3.$$

*Порядок следования слоев в виртуальной скважине.* Как уже отмечалось, каждая скважина характеризуется такими основными параметрами, как последовательность слоев грунта, шифр каждого слоя, его мощность. Информацию о слоях можно представить схематически (рис.2.) Таким образом, интерполируемой величиной является глубина подошвы каждого слоя.

Шифр грунта слоя 1	Глубина подошвы слоя 1 (GPS1)
Шифр грунта слоя 2	Глубина подошвы слоя 2 (GPS2)
...	...
Шифр грунта слоя n	Глубина подошвы слоя n (GPSn)

Рис.2. Информация о слоях грунта в скважине

Зная информацию о трех скважинах, расположенных в углах треугольника, полученного в результате триангуляции, и вычислив барицентрические координаты виртуальной скважины  $(\alpha, \beta, \gamma)$ , можем использовать эти координаты для определения всех слоев виртуальной скважины.

Если у всех трех скважин совпадает количество слоев и шифры грунтов, то для виртуальной скважины вычисляется глубина подошвы каждого ( $i$ -го) слоя по формуле:

$$\begin{aligned} &GPSi(\text{виртуальной скважины}) = \\ &GPSi(\text{скважины 1}) * \alpha + GPSi(\text{скважины 2}) * \beta + GPSi(\text{скважины 3}) * \gamma \end{aligned}$$

и присваивается шифр грунта соответствующего слоя исходных скважин. Значение уровня грунтовых вод вычисляется аналогично.

Если на очередном слое шифры грунтов исходных скважин не совпадают, то определяется, какие из трех исходных скважин будут участвовать в вычислении текущего слоя виртуальной скважины. Для этого используется классификатор грунтов, содержащий различные параметры грунта (плотность частиц, коэффициент фильтрации и др.), соответствующие определенному шифру грунта.

С помощью экспертов записи в классификаторе упорядочены в той последовательности, в которой наиболее вероятно следуют слои грунта в данной местности – грунт с меньшим номером располагается ближе к поверхности земли.

Тогда, если шифры грунтов исходных скважин на очередном этапе формирования виртуальной скважины не совпадают, то определяется минимальный порядковый номер этих шифров в классификаторе. Шифр с минимальным

порядковым номером становится шифром грунта текущего слоя виртуальной скважины. В вычислении глубины подошвы этого слоя участвуют скважины, имеющие тот же шифр грунта текущего слоя. Для тех скважин, у которых другой шифр грунта, глубина подошвы слоя остается на предыдущем уровне, т.е. мощность слоя приравнивается нулю.

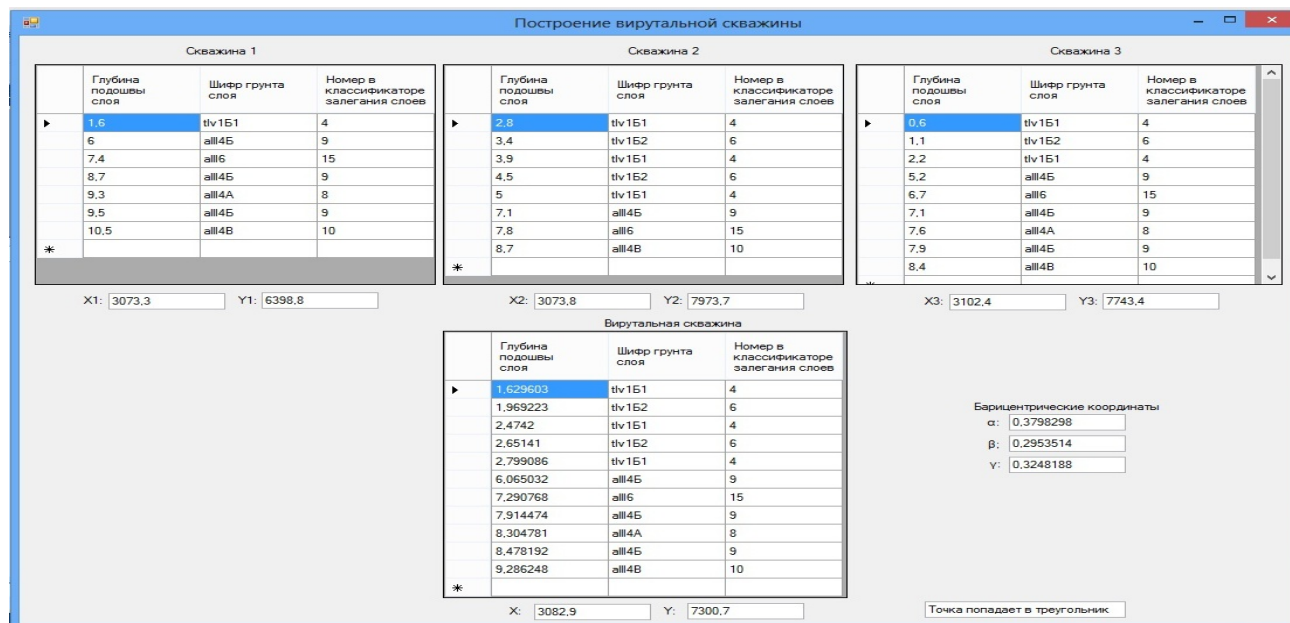


Рис.3. Построение виртуальной скважины

Таким образом, в виртуальной скважине учитывается влияние всех слоев грунта, зафиксированных в трех исходных скважинах. Слои грунта в виртуальной скважине, порожденные различными слоями исходных скважин, следуют в той последовательности, которая характерна для данной местности.

### 3. Реализация методики

Имеется модель промплощадки – плоскость с нанесенными отметками-скважинами.

Параметры скважин хранятся в базе данных. Пусть искомая точка имеет координаты  $x=3082,9$ ,  $y=7300,7$ . В результате проведения триангуляции и проверки принадлежности точки треугольнику получаем, что искомая точка принадлежит треугольнику со следующими координатами вершин-скважин  $x_1=3073,3$ ,  $y_1=6398,8$ ,  $x_2=3073,8$ ,  $y_2=7973,7$ ,  $x_3=3002,4$ ,  $y_3=7743,4$ . Барицентрические координаты виртуальной скважины:  $\alpha=0,378$ ,  $\beta=0,295$ ,  $\gamma=0,325$ . Характеристики полученной виртуальной скважины приведены на рис. 3.

### 4. Выводы

Неравномерность геологических замеров затрудняет мониторинг геологических процессов в зоне влияния АЭС. Возникает необходимость проведения интерполяции данных в точках, где отсутствуют измерения.

Предложена методика проведения интерполяции, т.е. построения так называемой виртуальной скважины, которая на основе триангуляции Делоне и вычисления барицентрических координат искомой точки позволяет определить все

параметры виртуальной скважины. При этом время вычисления параметров практически не зависит от количества слоев грунта в скважине.

Реализация предложенной методики дает инструментальные средства, которые вместе с базой данных скважин и классификатором грунтов создают цифровую модель инженерно-геологических условий местности.

Методика реализована в автоматизированной системе мониторинга геологической среды в зоне сооружений энергетического объекта

### Литература

1. *Автоматизація моніторингу стану докiлля у зонi впливу атомних електростанцiй* [Текст] : монографія / за загальною ред. С.О.Лук'яненка, С.І.Шаповалової.- К. : «Текст», 2013.- 206 с.
2. *Гареева Н.Б.* Разработка методов проектирования оснований фундаментов по цифровым моделям грунтовых массивов на базе данных зондирования: Дис. д-ра техн. наук: 05.23.02.-М.: РГБ, 2003. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://diss.rsl.ru/diss/03/0870/030870047.hdf>
3. *Инкрементальный алгоритм построения триангуляции Делоне* - [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://algolist.manual.ru/maths/geom/deluanae.php>.
4. *Коптев А.И., Ершов А.В., Маловичко Е.А.* Интерполяция и экстраполяция данных «Мировой Карты Напряжений» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.koptev.lgb.ru/Data/Interpolation\\_WSM.pdf](http://www.koptev.lgb.ru/Data/Interpolation_WSM.pdf)
5. *Коптев А.И.* Компьютерная модель напряженного состояния в литосфере Земли [Текст] / А.И.Коптев // Материалы XLIII Тектонического совещания «Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя». Москва, МГУ. 2-5 февраля 2010г. Т.1. с. 356-359.
6. *Интерполяция на плоскости и в пространстве* [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.edu.dvgups.ru/METDOK/GDTRAN/YAT/ITIS/...k.../Reshet\\_2.htm](http://www.edu.dvgups.ru/METDOK/GDTRAN/YAT/ITIS/...k.../Reshet_2.htm).
7. *Интерполяция методом кригинг* [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.dvseisgeo.ru/Methodics/GeoModel-93-94.htm](http://www.dvseisgeo.ru/Methodics/GeoModel-93-94.htm).
8. *Использование гридинга в системе GeoStat* [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.statsoft.ru/solutions/ExamplesBase/branches/detail.php?ELEMENT\\_ID=718](http://www.statsoft.ru/solutions/ExamplesBase/branches/detail.php?ELEMENT_ID=718)
9. *Пауков Д.П.* Триангуляция Делоне: итеративные алгоритмы построения триангуляции - [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/publ2003/fvti/paukov.pdf>.
10. *Скворцов А.В.* Обзор алгоритмов построения триангуляции Делоне [Текст] / Скворцов А.В. // Вычислительные методы и программирование. 2002.Т.3.128 с.