

3 ИНЖЕНЕРНАЯ ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ МЕСТНОСТИ

3.1 Понятие инженерной цифровой модели местности

3.2 Классификация цифровых моделей рельефа по характеру расположения точек

3.3 Моделирование поверхности

3.3.1 Триангуляционная модель рельефа

3.3.2. Статистическая цифровая модель рельефа

3.4. Цифровые модели рельефа, построенные на поперечниках к ломаному ходу

3.1 Понятие цифровой модели местности

Конечным результатом геодезических исследований на уровне САПР является получение модели местности в памяти ЭВМ на ширине полосы варьирования. Информация о местности хранится в виде набора точек с заданными координатами, т.е. в цифровом виде.

Представление топографической информации в цифровом виде называется *инженерной цифровой моделью местности* или ИЦММ [1].

Исходными данными для построения ИЦММ могут быть:

- результаты наземной площадной съемки, выполненной электронными геодезическими приборами;
- результаты стереофотограмметрической съемки (аэросъемки);
- сканирование картографических материалов;
- ввод массива координат точек вручную.

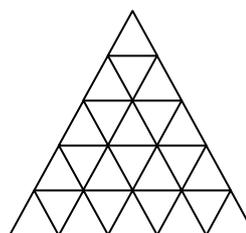
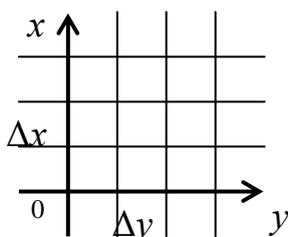
Последний способ хотя и характеризуется большими затратами времени и ручного труда, обладает теми достоинствами, что может быть успешно задействован при отсутствии необходимых приборов и программных средств, способных преобразовать топографическую или иную информацию в цифровой вид.

ИЦММ может представлять собой многослойную конструкцию. Составными частями цифровой модели местности являются: цифровые модели рельефа (ЦМР), цифровые модели ситуации (ЦМС), цифровые модели геологического и гидрогеологического строения местности (ЦМГ) и др.

3.2 Классификация инженерных цифровых моделей местности по характеру расположения точек

По характеру расположения точек различают регулярные и нерегулярные модели [2].

Регулярная ИЦММ. В регулярных моделях точки, моделирующие рельеф земли, располагаются в узлах равномерной сетки, накладываемой на план местности. Ячейками сетки могут быть квадраты, прямоугольники, равносторонние треугольники.



Регулярная ИЦММ наиболее простая. Она легко строится, особенно если в данном районе проводились геодезические работы. Информация о ИЦММ хранится в памяти компьютера в удобном виде. Например, прямоугольная ИЦММ может быть задана следующим массивом:

$$m, n, \Delta x, \Delta y, x_0, y_0, h_{00}, \dots, h_{ij}, \dots, h_{mn},$$

где m, n – количество точек по направлению x и y ;

$\Delta x, \Delta y$ – шаги сетки по осям x и y соответственно;

x_0, y_0 – координаты нулевой точки;

h_{ij} – отметки.

Регулярная ИЦММ наиболее эффективна в случае достаточно однородной местности или в условиях городской застройки.

К недостаткам регулярной ИЦММ можно отнести следующее:

- ключевые точки рельефа (вершины, впадины, границы оврагов и т.п.) не всегда совпадают с узлами сетки;

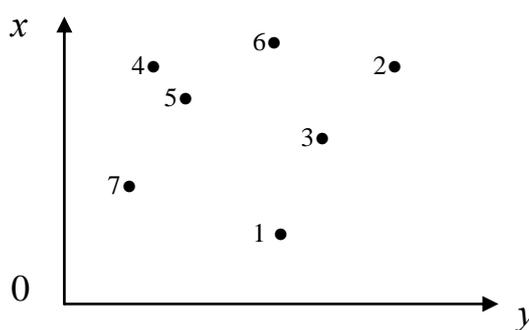
- требуют больших трудозатрат при разбивке узловых точек на местности и определении высотных положений в каждой из них;

- в случае резко меняющегося рельефа, если размеры ячеек очень большие, то значительная часть информации может не отразиться в ИЦММ (овраги). При уменьшении размеров ячеек на довольно однородной части рельефа будет переизбыток точек, т.е. будет занят значительный объем памяти и потребуются лишние затраты времени и труда на ввод высотных отметок в узлах сетки.

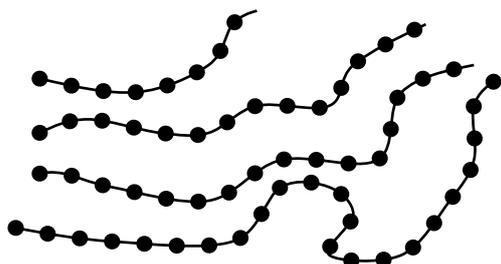
В настоящее время регулярные модели нашли широкое применение при вертикальной планировке и проектировании аэродромов, городских улиц и территорий, т.е. когда требуется повышенная детальность исходной информации.

Нерегулярная ИЦММ. В нерегулярной модели точки размещаются в произвольном порядке, но с заданной частотой и плотностью. Чем сложнее рельеф, тем гуще должна быть сетка.

Такая ИЦММ позволяет ввести все ключевые точки рельефа. Недостаток заключается в том, что для каждой точки необходимо ввести ее номер, координаты x, y и высотную отметку h .



Разновидностью нерегулярной сетки является сетка, образующаяся при сканировании картографических материалов.



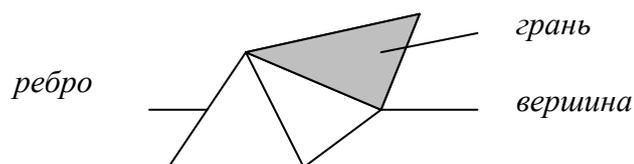
Узловые точки располагаются на горизонталях. Расстояние между точками произвольное в пределах 8...30 м в зависимости от рельефа.

На введенных точках далее строится модель поверхности.

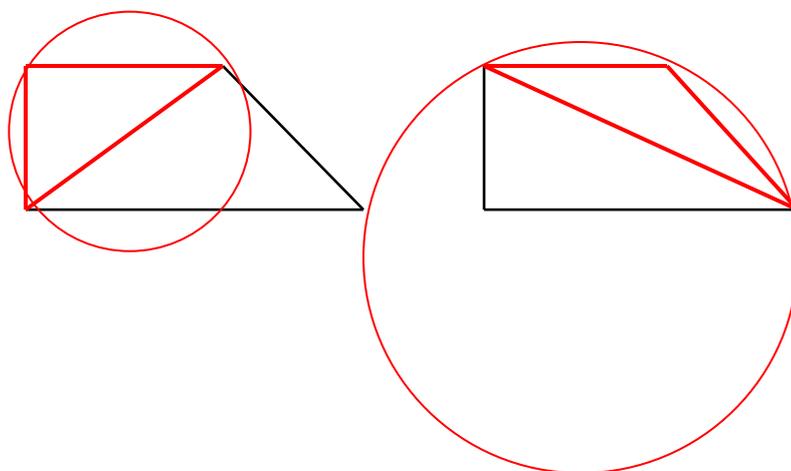
3.3 Моделирование поверхности

3.3.1 Триангуляционная модель рельефа

Наиболее часто в системах автоматизированного проектирования рельеф моделируется *триангуляцией* – множеством треугольных граней, построенных на введенных точках, называемых *рельефными*. Другими словами, создается сеть, которая состоит из треугольных граней, построенных на точках (вершинах граней) с заданными координатами X , Y , Z . Поверхность внутри каждого треугольника представляет собой плоскость. Элементами триангуляции являются: *вершины* (точки), *ребра*, *грани*.



Существует несколько методов построения триангуляций. В настоящее время чаще всего используется триангуляция Делоне [3]. Она строится однозначно и соединяет точки ИЦММ в наиболее правильные треугольники, т.е. наиболее приближенные к равностороннему треугольнику. Это описывается круговым свойством Делоне. На нижнем рисунке слева триангуляция построена по правилу Делоне, справа – не по правилу Делонне.



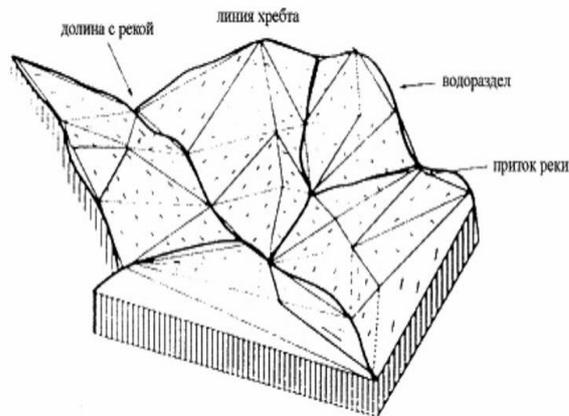
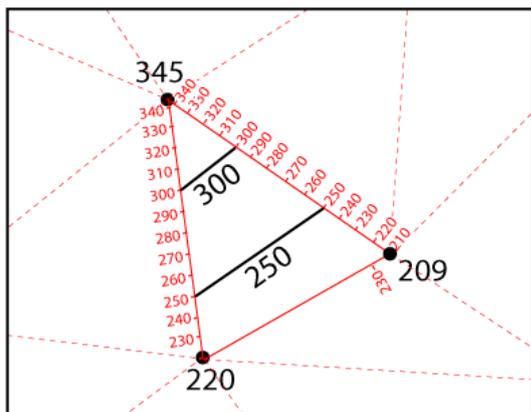
Круговое свойство: чтобы триангуляция была триангуляцией Делоне необходимо и достаточно, чтобы внутри окружности, описанной вокруг любого из треугольников, не лежало ни одной другой вершины триангуляции.

Рельеф на экране монитора изображается и в твердых копиях (треугольниках), и также как на топографических картах: в горизонталях и условными знаками обрывов и оврагов.

Высотное положение любой точки определяется линейной интерполяцией внутри каждого треугольника. Отметка поверхности вычисляется по линейной зависимости

$$H(x,y)=ax+by+c,$$

где a , b , c – интерполяционные коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов.

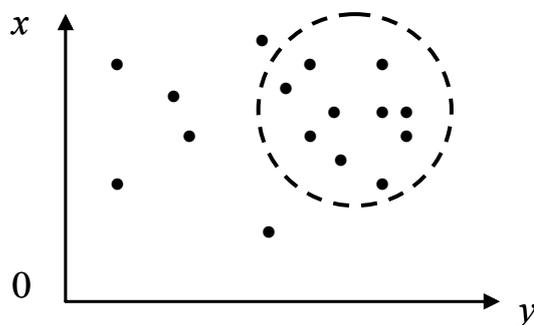


Достоверность вычислений зависит от плотности исходной информации.

Достоинством триангуляции является простота алгоритма. Недостаток заключается в том, что при малом количестве точек модель искажает плавные формы рельефа.

3.3.2 Статистическая цифровая модель рельефа

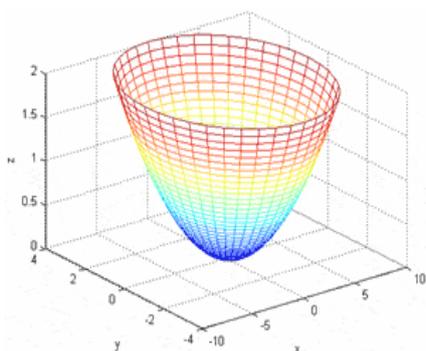
Статистическая ИЦММ строится на нерегулярной сетке. Точки задаются произвольным (можно сказать случайным) образом с известными координатами и отметками. Предполагается, что распределение точек на плоскости XOY подчиняется равномерному закону распределения. Поле точек разбивается на области - однородные участки местности, представляющие собой квадрат или круг. Эта область должна включать не менее 10 исходных точек модели [2]



Внутри области высотная отметка любой точки с координатами x, y вычисляется по уравнению поверхности 2-го порядка (параболоида)

$$h(x,y)=a \cdot x^2+2b \cdot x \cdot y+c \cdot y^2+2d \cdot x+2e \cdot y+f,$$

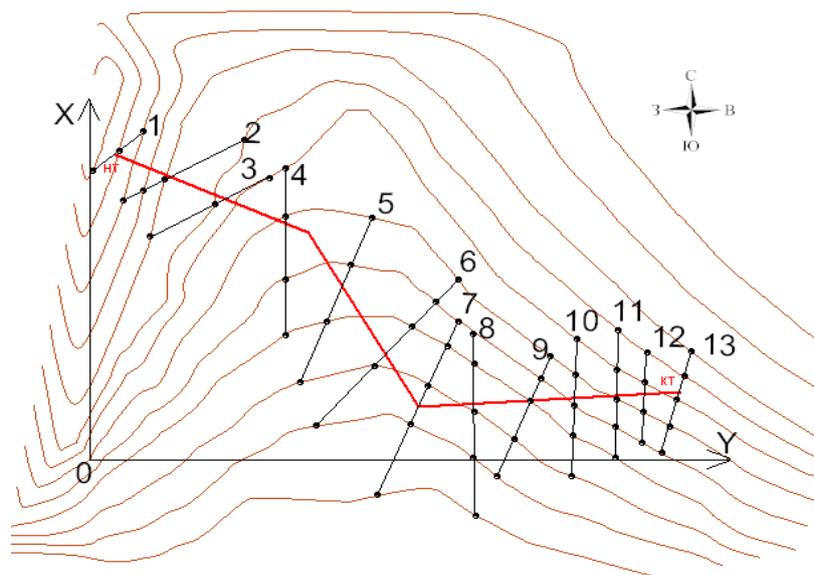
где коэффициенты a, b, c, d, e, f определяются методом наименьших квадратов.



Главным достоинством ИЦММ, построенной таким образом, является ее высокая точность, которая практически (из-за случайности) не зависит от субъективных решений. Её подготовку можно доверить малоквалифицированному персоналу.

Использование статистических моделей целесообразно в основном в пересечённой и сильнопересечённой местности. В равнинных условиях рельеф лучше моделировать более простыми линейными зависимостями (триангуляцией).

3.4 Цифровые модели рельефа, построенные на поперечниках к ломаному ходу



Цифровые модели рельефа, построенные на поперечниках к магистральному ходу, целесообразно применять в начальный период перехода на системное автоматизированное проектирование, когда изыскательская информация собирается еще во многом в соответствии со старой технологией.

Строится ломаный ход и через заданные интервалы строятся отрезки, перпендикулярные отрезкам ломаного хода.

На пересечениях этих отрезков с горизонталями снимаются координаты точек X и Y . Отметки

снимаются с горизонталей. Все данные помещаются в таблицу.

$x, м$	$y, м$	$H, м$	№
1046	267	150,0	1-1
1006	219	152,5	1-2
963	168	155,0	1-3
1030	469	142,5	2-1
944	311	145,0	2-2
921	269	147,5	2-3
900	229	150,0	2-4

Источники информации

- СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. – М., 2012. – 110 с.
- Федотов Г.А., Поспелов П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: Учебник. – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.
- Скворцов, А.В. Триангуляция Делоне и её применение /А.В. Скворцов. – Томск: Изд-во Томского ун-та. – 2002. – 128 с.