

УДК 528.9:681.3

Куксин А.Н.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Кандыбо С.Н.

## ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММ SURFER И CREDO ТОПОПЛАН

Для цифрового моделирования рельефа и его анализа используются различные программные продукты, различающиеся по функциональным возможностям, области применения и цене. Модули мощных полнофункциональных ГИС (Spatial Analyst, 3D Analyst, ГИС-пакета ArcGIS (ESRI Inc.), Autodesk Map 3D системы AutoCAD (Autodesk Inc.) и др.) обладают самыми широкими возможностями по моделированию и анализу поверхностей. Узкоспециализированные программные продукты (например, Surfer (Golden Software Inc.) широко распространены благодаря низкой стоимости и включают функции создания ЦМР различными методами и построения на их основе тематических карт [1]. Отдельно нужно выделить программные продукты, ориентированные на создание цифровой модели местности (ситуации и рельефа) и выпуск топографических планов, входящих в программные комплексы автоматизированной обработки результатов инженерно-геодезических изысканий (например, CREDO ТОПОПЛАН, программного комплекса CREDO III).

Цель настоящей работы – построить ЦМР по результатам топографических съемок местности с использованием программы Surfer и CREDO ТОПОПЛАН; сравнить функциональные возможности данных программ; дать рекомендации о возможном применении программы Surfer в учебном процессе для построения топографических планов при изучении дисциплины «Инженерная геодезия». Исходные данные для выполнения работы: результаты нивелирования поверхности по квадратам (обработанный журнал нивелирования поверхности по квадратам); материалы тахеометрической съемки в масштабе 1:2000 (журналы тахеометрической съемки и абрис).

Геоинформационная система Surfer 8 позволяет строить и визуализировать двумерные карты, которые математически описываются функцией вида  $z = f(x, y)$ . Для цифрового моделирования рельефа программа использует регулярную модель высот Grid, т.е. представление цифровой модели значениями параметра в узлах регулярной сетки. Таким образом, построение сеточной функции (Gridding) заключается в создании регулярного массива значений  $Z$  – координат узловых точек по регулярному массиву  $(X, Y, Z)$  – координат исходных точек.

Методы построения сеточных функций, реализованные в пакете Surfer, можно разделить на два класса: интерполирующие (метод обратных расстояний (Inverse Distance to a Power) метод Криге (Kriging), метод Шепарда (Shepard's method), триангуляция с линейной интерполяцией (Triangulation with linear Interpolation) и др.) и сглаживающие (метод минимальной кривизны (Minimum Curvature); метод полиномиальной регрессии (Polynomial Regression) и др.) используются в тех случаях, когда экспериментальные данные известны в узлах сетки не точно.

Для построения ЦМР по результатам нивелирования по данным: координаты  $(X, Y, Z)$  (рис. 1) в формате .xls (в программе Surfer или с использованием Microsoft Excel). Программа по умолчанию воспринимает первый столбец (A) как координату X, второй (B) – как Y, а третий столбец (C) – как Z (высота точки). Для построения сеточной функции

№	A	B	C
1	0	0	71,224
2	40	0	71,656
3	80	0	72,276
4	120	0	72,932
5	0	40	71,156
6	40	40	71,801
7	80	40	72,242
8	120	40	72,866
9	0	80	70,87
10	40	80	71,476
11	80	80	72,408
12	120	80	72,214
13	0	120	70,81
14	40	120	71,266
15	80	120	71,726
16	120	120	71,782
17	0	160	70,479

Рисунок 1 – Исходные данные: координаты  $(X, Y, Z)$

выбираем метод Криге, представляющий собой метод локальной интерполяции, согласно которому значение  $Z(p)$  вычисляется как средневзвешенное известных значений  $Z_i$  в ближайших точках. Изолинии (горизонтали), созданные в результате моделирования, совпадают с горизонталями на плане, полученными традиционным способом – линейной интерполяцией по сторонам сетки квадратов. Оформление топографического плана (подписи горизонталей, вершин квадратов, масштаба) выполняют с помощью встроенных функций программы Surfer (рис. 2). Аналогично можно смоделировать рельеф по проектным отметкам (построить горизонтальную или наклонную площадку), а затем, используя функцию вычисления объема между двумя поверхностями (Calculating of Volume Between Two Surfaces), определить объем земляных работ. Моделируемую поверхность можно представить в виде 3D-модели, построить разрез (профиль) по заданному направлению, определить площади объектов [2].

При построении ЦМР были использованы и другие интерполирующие методы построения сеточных функций: методы Шепарда, триангуляция с линейной интерполяцией (рис.3). Совмещение планов выявило расхождение горизонталей, полученных разными методами создания сеточных функций (рис.3). Таким образом, при построении топографических планов по результатам нивелирования поверхности по квадратам рекомендуется использовать метод Криге (с линейной моделью вариограммы (Linear)). Такие же результаты дает метод радиальных базисных функций (Radial Basis Functions) с мультиквадратичной (Multiquadratic) базисной функцией.

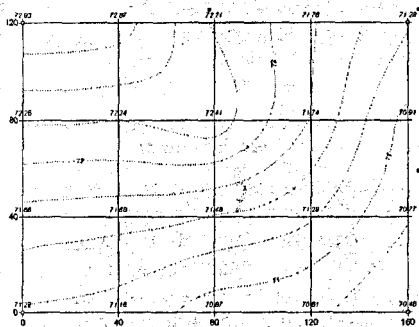


Рисунок 2 – Топографический план (фрагмент)

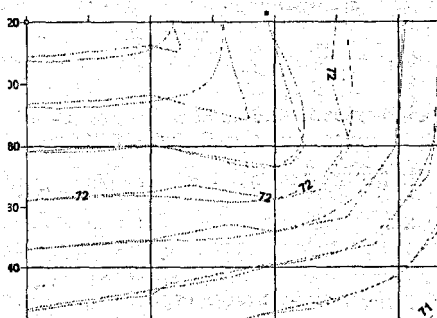


Рисунок 3 – Расхождение в горизонталях, полученных: с использованием метода Криге и триангуляция с линейной интерполяцией

Обработка результатов тахеометрической съемки (с трех станций) выполнена в программе Credo\_Dat. Как известно, при выполнении тахеометрической съемки высотные пикеты выбирают во всех характерных точках рельефа, а контурные пикеты располагают с учетом отображения объектов и элементов ситуации местности в заданном масштабе. В этом случае, модель на нерегулярной сетке Triangulated Irregular Network), представляющая сеть треугольников с высотными отметками в узлах, позволяет наиболее точно смоделировать поверхность. Модель TIN (используется для цифрового моделирования рельефа в программе CREDO ТОПОПЛАН (рис. 4)). В программе реализованы широкие возможности интерактивного редактирования поверхности: перебросить ребро треугольника, пересоздать поверхность вдоль структурной линии, добавить (удалить треугольники) и др.

Для построения ЦМР по результатам тахеометрической съемки в программе Surfer был создан исходный файл формата .xls с координат точек (станций и всех пикетов) по-

тем копирования данных из каталогов Credo\_Dat в Microsoft Excel. Для построения сеточной функции использовали методы Криге, метод радиальных базисных функций и триангуляцию с линейной интерполяцией. В результате анализа результатов моделирования рельефа можно сделать следующие выводы: недостаток методов Криге и метода радиальных базисных функций – появление «краевого эффекта» (прямоугольной области моделирования), когда значения сеточных функций выходят за пределы интервала исходных данных (рис. 5).

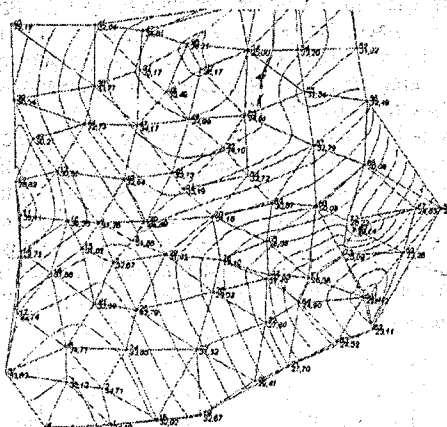


Рисунок 4 – Модель TIN и горизонтали в графическом окне CREDO ТОПОПЛАН

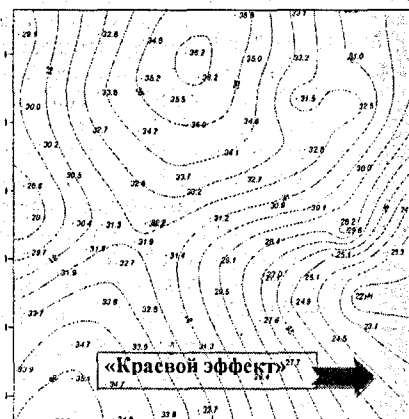


Рисунок 5 – Горизонтали в Surfer (метод Криге)

Недостаток метода триангуляции с линейной интерполяцией – некорректное построение горизонталей на «граничных» треугольниках (рис. 6) и трудоемкость «ручного» редактирования модели и горизонталей. Нельзя удалить (объединить) треугольники и автоматически перестроить горизонтали, необходимо выполнять редактирование локальной области модели высот Grid (бланкирование сеточного файла).

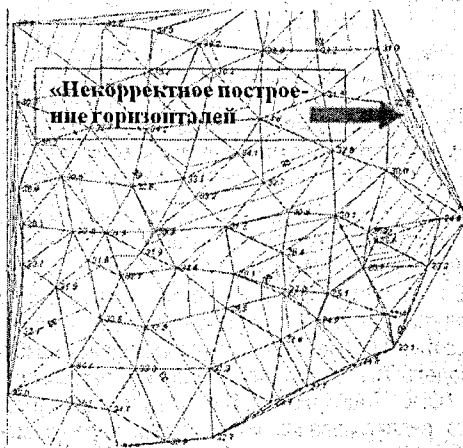


Рисунок 6 – Горизонтали в Surfer (метод триангуляции с линейной интерполяцией)

Таким образом, можно рекомендовать использование программы Surfer в учебном процессе при проведении лабораторных занятий и учебной геодезической практики по дисциплине «Инженерная геодезия» для создания топографических планов по результатам нивелирования поверхности по квадратам, проектирования наклонных площадок и вычисления объемов земляных работ.

#### Список цитированных источников

1. Хромых, В.В. Цифровые модели рельефа: учеб. пособие / В.В. Хромых, О.В. Хромых. – Томск: ТМП-Пресс, 2007. – 178 с.
2. Силкин, К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8: учеб.-мет. пособие. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. – 66 с.

УДК 624.131.439

Курилович А.О.

Научный руководитель: доцент Дедок В.Н.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НАМИВНЫХ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

В последние годы исследованиями, проводимыми в Беларуси и за рубежом, установлено, что структурно-текстурные особенности грунтов вызывают анизотропию их физико-механических свойств. В основном эта закономерность выявлена для большинства связных грунтов естественного сложения и обуславливается как особенностями взаимного расположения частиц, так и анизотропией напряжений в массиве. Сведения об анизотропии песчаных (несвязных) грунтов в литературе значительно меньше. Особого внимания в настоящее время, в связи с ростом объемов работ по намыву территорий и сооружений, заслуживает изучение анизотропии механических свойств намывных песчаных отложений как грунтов с микро- и макрослоистой структурой.

Раскладка частиц песчаного грунта по крупности в толще намытых оснований определяет его фильтрационные свойства. Проведенные исследования показали, что коэффициент анизотропии фильтрационных свойств, численно равный отношению величины коэффициента фильтрации в горизонтальном (продольном) направлении по пляжу намыва, к величине коэффициента фильтрации в вертикальном направлении больше единицы.

Исследования по установлению прочностной анизотропии намывных песчаных отложений проводились В.А.Филимоновым [1] и С.С.Садовским [2]. Эксперименты проводились в приборах одноплоскостного прямого среза при различных значениях угла наклона плоскости среза к слоистости отложений. Указанными исследованиями установлено, что прочностные характеристики намытых песчаных грунтов в нормальном, относительно слоистости, направлении выше, чем в направлении, параллельном слоистости.

Изучению изотропии деформативных свойств намытых песчаных грунтов посвящено ряд работ И.М. Набокова [3]. В этих работах И.М. Набоков приводит результаты определения модуля деформации намытых грунтов в полевых условиях, испытания проводились статистическими нагрузками в горизонтальных и вертикальных скважинах с площадью штампа  $F = 600 \text{ см}^2$ . Исследованиями установлено, что в большинстве экспериментов модуль деформации в направлении параллельно слоистости отложений выше, чем в перпендикулярном направлении. Полученная экспериментально степень анизотропии намывных грунтов  $n = E_2/E_1$  в пределах  $0.6 < n < 4$ .

Комплексных исследований по изучению механических свойств намывных песчаных грунтов (в зависимости от вида испытаний, конструкции прибора, условий нагружения грунта) до настоящего времени не проводилось. Автором, в лаборатории испытания грунтов Брестского государственного технического университета, на приборах одноосного и трёхосного сжатия, одноплоскостного сдвига, а также в полевых условиях, способом нагружения грунтов штампами, выполнены серии экспериментов.

Целью проведённых исследований явилось изучение изменения механических свойств намывных грунтов во времени, установление прочностной и деформационной