

УДК 622.142.5

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ СКРЫТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПОРЯДКА

Пименов З.Г., студент ГМс-171, V курс

Научный руководитель: Т.Б. Рогова, д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Введение. Неотъемлемой частью производства работ на карьерах и угольных разрезах является отвалообразование вскрышной породы (как внешнее, так и внутреннее). При проектировании будущих отвалов встает задача обеспечения их устойчивости, нарушение которой может иметь следствием производственный травматизм, вывод из строя оборудования, сооружений и т.д.

Одним из факторов, влияющих на устойчивость отвалов, является угол наклона основания, на котором проектируется отвал. Увеличение углов наклона основания формирование отвала может сопровождаться развитием оползней подошвенного и подподошвенного типов. С целью оценки и учета влияния углов наклона основания при проектировании создается план рельефа основания будущего отвала. Этот план используется для построения вертикальных сечений при расчете устойчивости, а также определения мест водосбора и зон основания с наибольшими значениями его углов наклона.

Целью работы является сравнение методов построения плана рельефа коренных пород ручным (методами ступенчатых отметок и многогранника) и автоматизированным способами (с помощью программного продукта AutoCAD Civil 3D).

Метод ступенчатых отметок. На имеющихся геологических разрезах, проводятся линии выбранных горизонтов и находятся точки их пересечения с линией, описывающей положение контакта коренных пород с наносами (рис. 1). Также определяются характерные точки, такие как места выходов дизъюнктивных и пликативных нарушений, вершины и впадины рельефа.

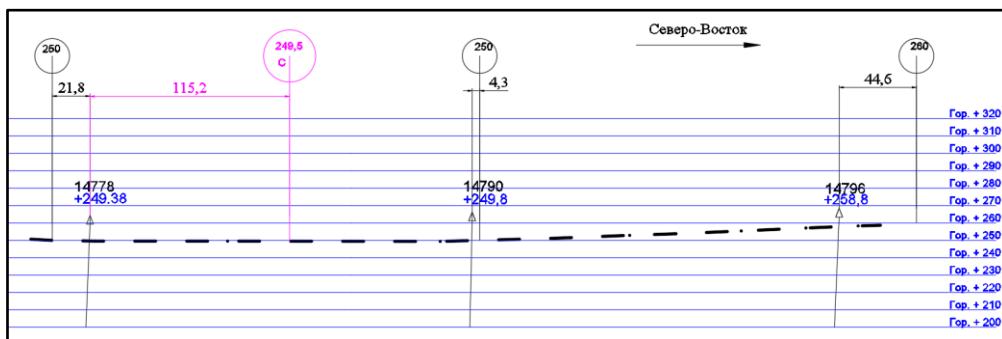


Рис. 1. Схема нахождения точек пересечения к методу ступенчатых отметок
(пунктирная линия – положение контакта коренных пород с наносами)

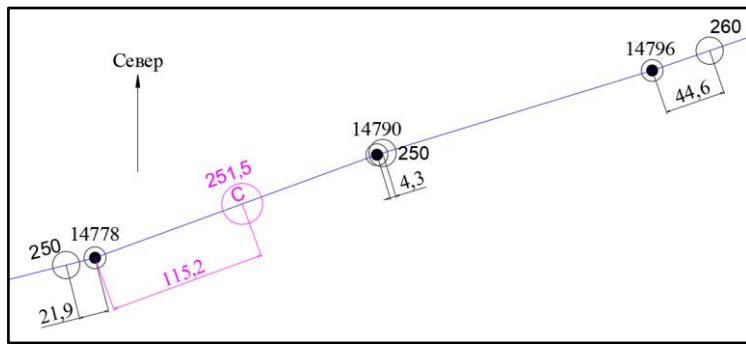


Рис. 2. Схема вынесения точек пересечения на план
(синяя линия – разведочная линия)

После переноса на план характерных точек по всем разведочным линиям производится соединение одноименных точек, в результате чего получается план изолиний (рис. 3). За пределами разведочных линий выполняется экстраполяция, ввиду отсутствия данных для построения изолиний [1, 2].

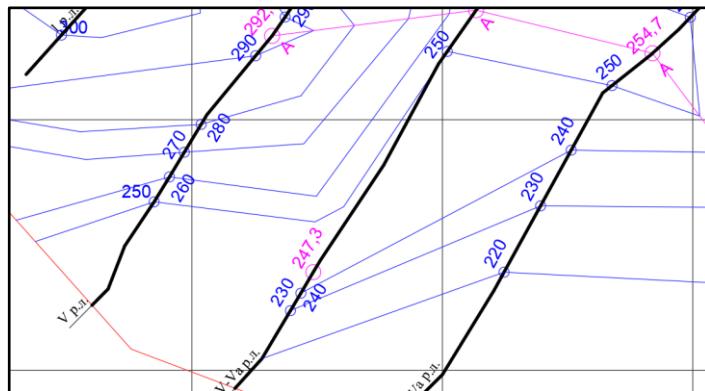


Рис. 3. Схема построения изолиний между разведочными линиями

Положение изолиний между соседними разведочными линиями уточняется по данным характерных точек и интерполяции по вспомогательным линиям (фиолетовые, рис. 4). Значения вдоль линии определяются через отношение длины этой линии на плане к разности отметок точек, между которыми проведена линия.

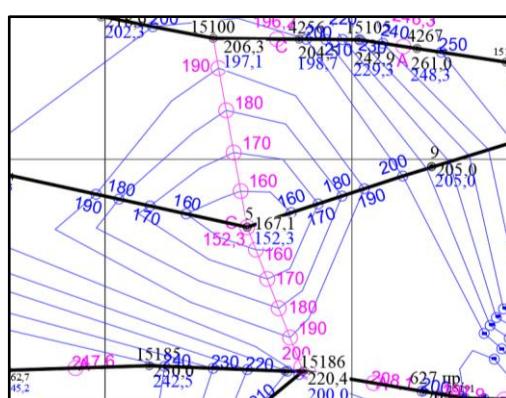


Рис. 4. Пример уточнения положения изолиний,
путем интерполяции между характерными точками

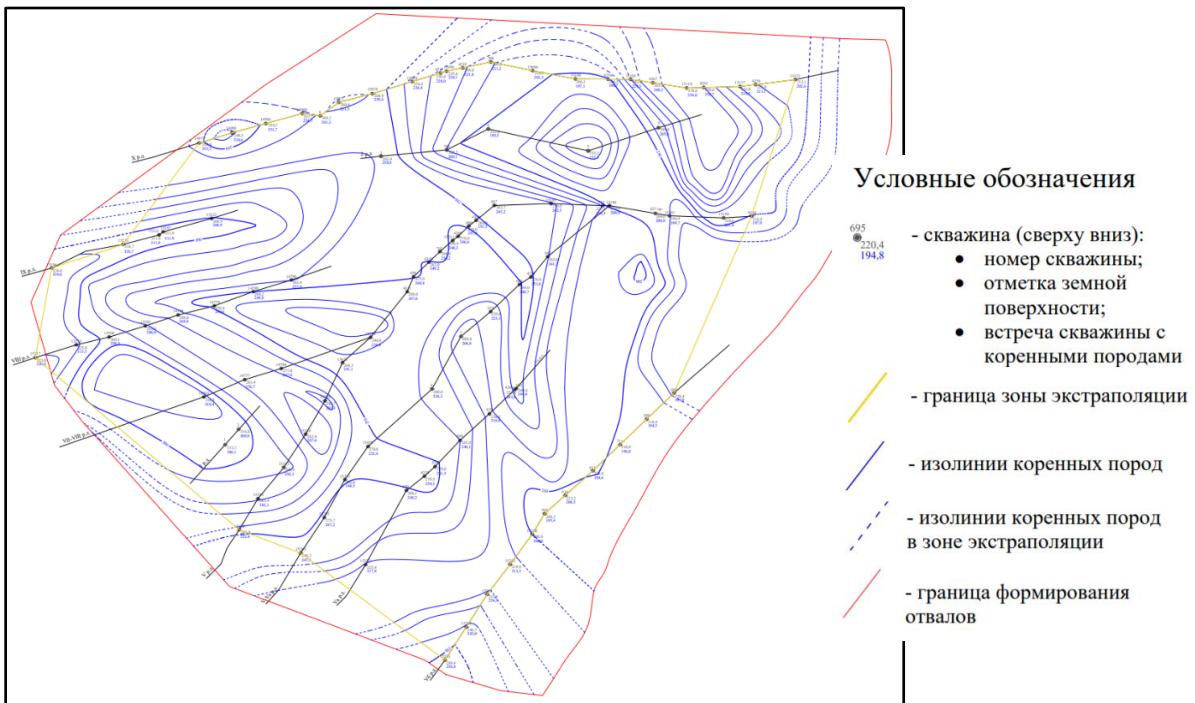


Рис. 5. Результат построения плана рельефа коренных пород методом ступенчатых отметок

Метод многогранника. Многогранник (при построении плана изолиний) – совокупность конечного числа треугольников в трехмерном евклидовом пространстве, образующих поверхность, при этом не обязательно замкнутую.

Построение изолиний основывается на соединении соседних скважин линиями (ребрами многогранника) и последующего выделения на них точек, через которые будут проведены изолинии соответствующего горизонта (рис. 6). При этом обязательно, несмотря на расстояния, соединяются соседние скважины вдоль одной разведочной линии. Положение точек определяется интерполяцией по ребрам многогранника [2].

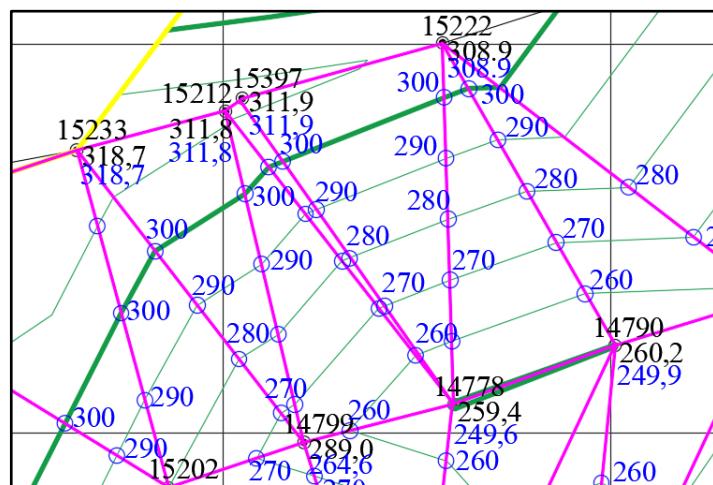


Рис. 6. Фрагмент плана рельефа коренных пород с ребрами многогранника и засечками при построении методом многогранника

Во время соединения скважин возможно появление неопределенностей (рис. 7), каждая из которых создает два возможных варианта положения ребра многогранника. В таком случае, ребро многогранника проводится таким образом, чтобы либо основание приобрело более крутой угол, либо образовался водосбор. Таким образом, построение будет совершено по принципу наихудшего варианта, что, как следствие, приведет к запасу устойчивости (или как минимум, не приведет к неприятным последствиям).

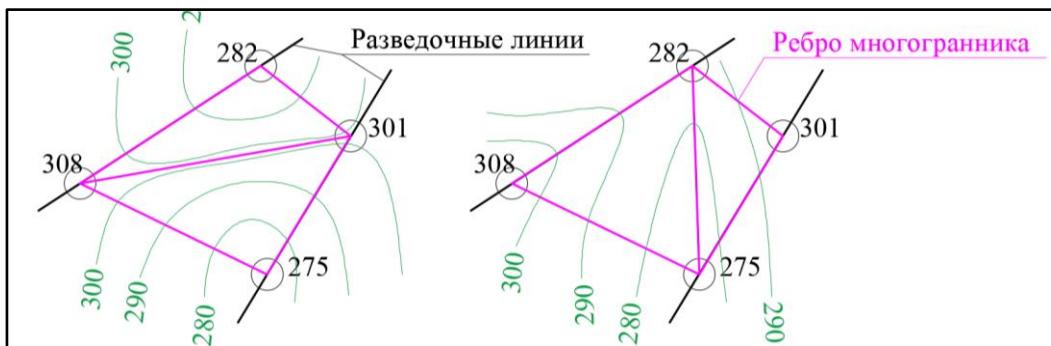


Рис. 7. Пример неопределенности при построении грани многогранника

Построение с помощью программного продукта Civil 3D.
Построение плана рельефа коренных пород может быть автоматизировано при помощи программного продукта AutoCAD Civil 3D. Данный процесс основывается на предварительном построении цифровой модели рельефа (далее ЦМР) рабочей поверхности, которую в дальнейшем можно анализировать [3, 4].

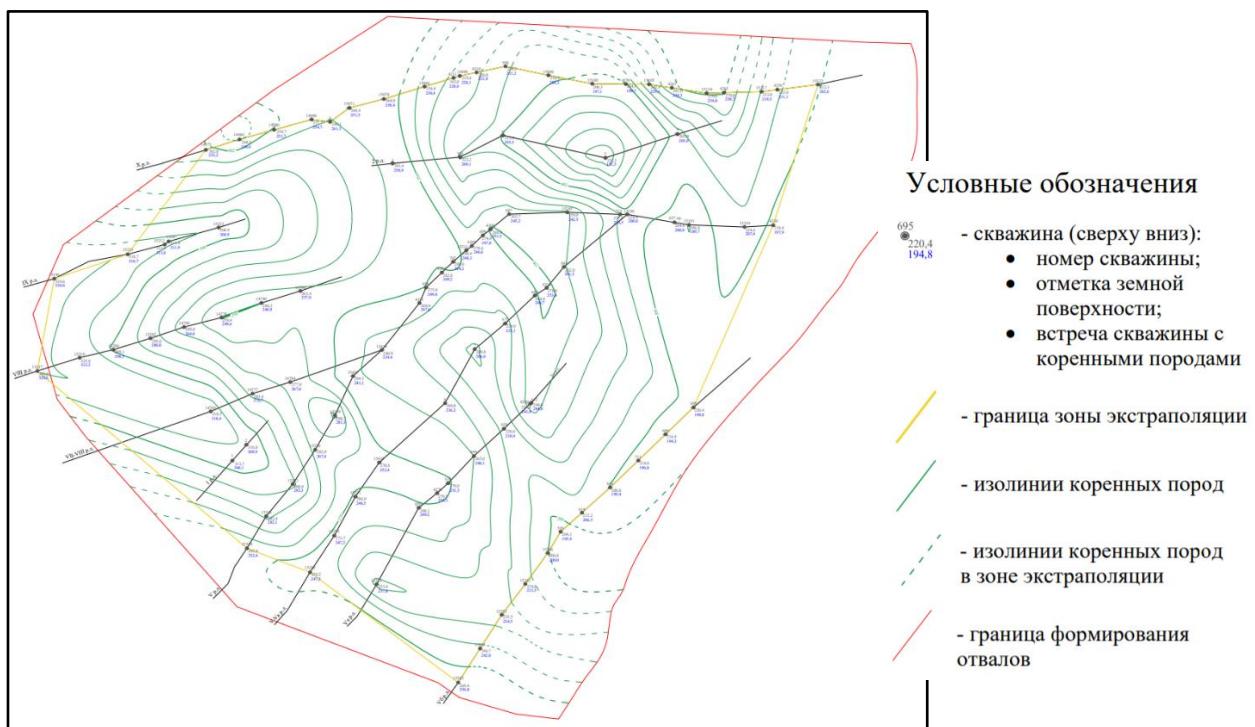


Рис. 8. Результат построения плана рельефа коренных пород методом многогранника

AutoCAD Civil 3D (или просто Civil 3D) — программный продукт компании Autodesk для специалистов в области землеустройства, геодезии, проектирования генплана и объектов инфраструктуры.

В его основе лежит использование BIM-технологий (Building Information Model — информационная модель здания/сооружения) и трехмерной математической модели объектов (например — поверхность).

Цифровая модель рельефа (ЦМР / DEM – Digital Elevation Model) — это трехмерное отображение земной поверхности, представленное в виде массива точек с определяемой высотой. Модель рельефа содержит информацию о высоте без учета растительности, зданий и других объектов.

Такая цифровая модель представляет собой совокупность треугольников, образующих нерегулярную триангуляционную сеть (Triangulated Irregular Network – TIN, рис. 9). Треугольники являются гранями многогранника, который и представляет поверхность.

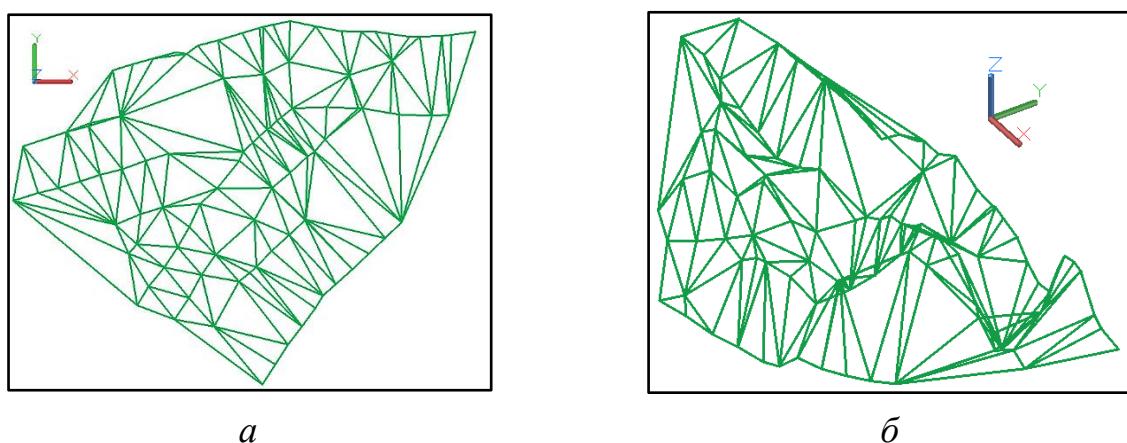


Рис. 9. Пример поверхности TIN: *а* – проекция на горизонтальную плоскость; *б* – изометрическая проекция

Для создания поверхности в программе Civil 3D на вкладке «Область инструментов» выбираем раздел «Поверхности», правой кнопкой мыши вызываем контекстное меню, где выбираем пункт «Создать поверхность» (рис. 10).

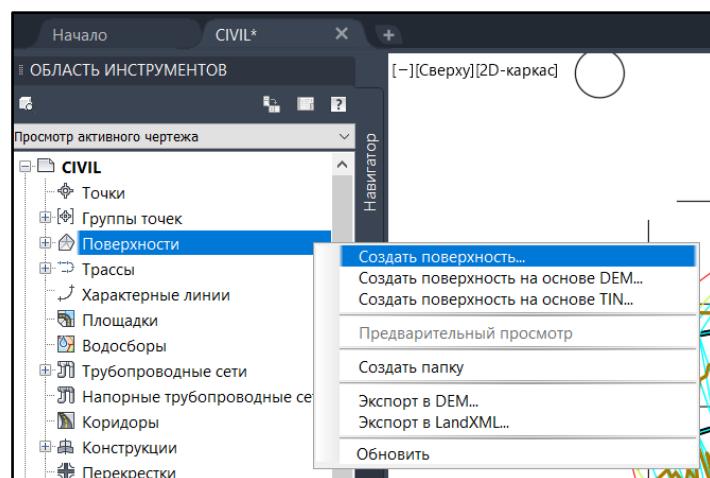


Рис. 10. Создание поверхности в Civil 3D

При создании в Civil 3D поверхности TIN по данным точек выполняется вычисление триангуляции советского математика Делоне Бориса Николаевича. При триангуляции Делоне ни одна из точек не лежит внутри окружности, определяемой вершинами какого-либо треугольника (рис. 11).

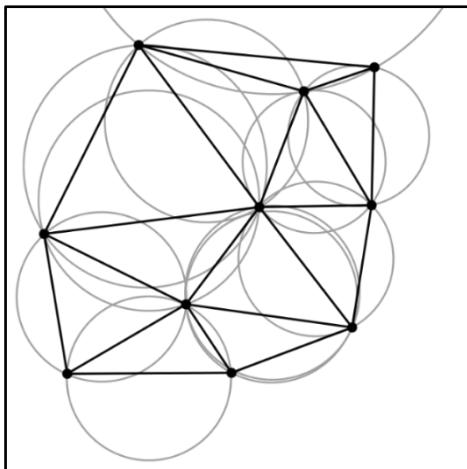


Рис. 11. Схема к созданию триангуляции Делоне

Триангуляция Делоне обладает важными для геодезии и маркшейдерии свойствами:

- максимизирует минимальный угол среди всех углов всех построенных треугольников, тем самым избегаются «тонкие» треугольники;
- на плоскости обладает минимальной суммой радиусов окружностей, описанных около треугольников, среди всех возможных триангуляций.

Однако такое построение не является однозначно достоверным, поскольку программа «не видит» итоговую картину, а руководствуется лишь заложенным алгоритмом. Например, треугольник может опираться на одну горизонталь, вместо того чтобы лежать между соседними (рис. 12), или, соединяя ближайшие точки, программа не отразит реальную картину, которую видел человек «в поле» или на графических материалах.

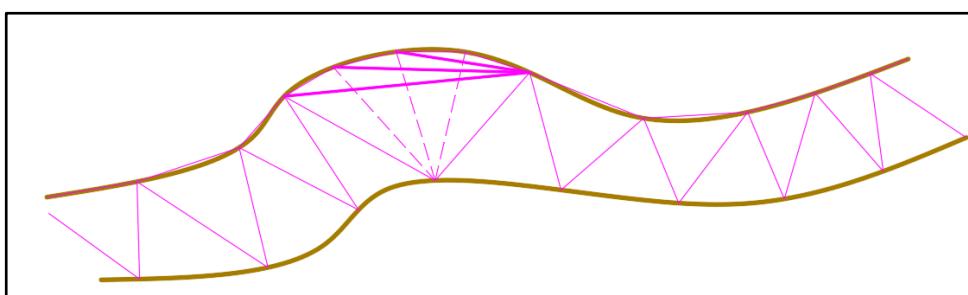


Рис. 12. Пример неправильного построения треугольников
(утолщенные линии – автоматически отстроенное положение ребер;
пунктирные – необходимое)

Данные недочеты негативно влияют на результаты построения. Поэтому после автоматического построения поверхности программой Civil 3D ее [поверхность] необходимо отредактировать вручную.

Поскольку поверхность TIN представляет собой совокупность треугольников, являющихся гранями многогранника, к построению поверхности в виде ЦМР можно применять те же требования, что и при построении методом многогранника.

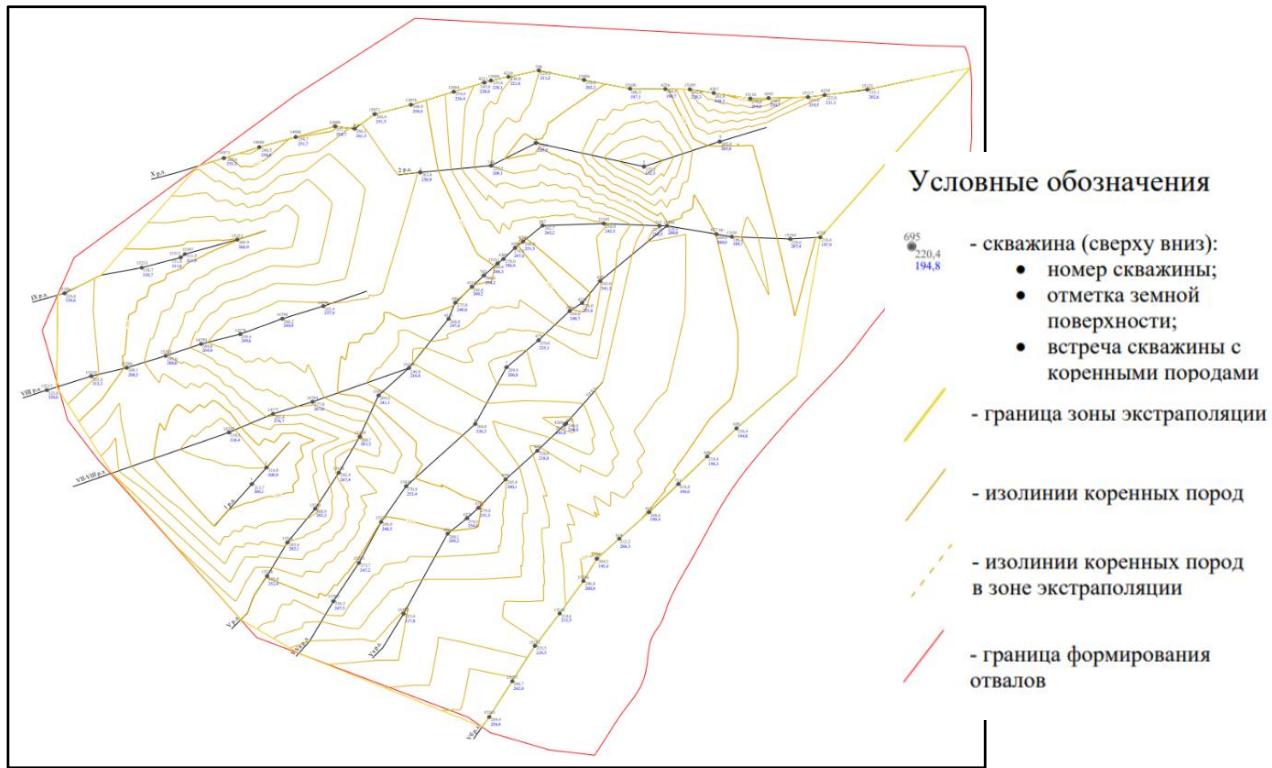


Рис. 13. Результат построения плана рельефа коренных пород в программном продукте Civil 3D

Выводы. В ходе выполнения работы был построен план рельефа коренных пород основания проектируемого отвала тремя различными методами.

Метод ступенчатых отметок реализован при помощи геологических разрезов, на которых отражено положение коренных пород. Без них применение данного метода некорректно, поскольку при построении профилей коренных пород вручную, по данным скважин, и последующем сечении профиля горизонтами, в конечном итоге получим результат графической интерполяции, что является элементом метода многогранника. Однако, если разрезы, сечения или профили все же имеются, то данный метод даст наиболее достоверную информацию о геометрии коренных пород.

Метод многогранника не требует дополнительных построений в виде разрезов и пр., однако для получения достоверного плана необходимо располагать большими данными о положении коренных пород (например, проведение дополнительных разведочных линий), на случай возникновения неопределенностей при построении. В случае отсутствия дополнительных сведений, необходимо выполнять построение по принципу наихудшего варианта.

Автоматизированное построение при помощи программного продукта Autodesk Civil 3D выполняется с использованием триангуляции Делоне, что способствует увеличению углов в треугольниках и соединении скважин по кратчайшему расстоянию. Однако использование этого продукта может приводить к ошибкам и необходимости корректировки модели вручную. Общие требования при работе с Civil 3D такие же, как и при построении модели методом многогранника. Следовательно, уровень их достоверности должен быть близким. При этом скорость выполнения построения значительно превышает полностью ручное построение методом ступенчатых отметок.

Помимо скорости обработки данных к достоинствам построений ЦМР можно отнести и повторное использование уже готовых данных. При выполнении районирования по углу наклона и построении векторного поля используется та же поверхность, что была использована при построении изолиний рельефа коренных пород, а поскольку процессы полностью автоматизированы, для их выполнения требуется минимум человеческих ресурсов.

Следует иметь в виду, что применение любого из рассмотренных методов предполагает наличие такой плотности сети скважин, которая обеспечивает правомерность интерполяции высотных отметок рельефа коренных пород между ними.

Список литературы

1. Букринский, В. А. Геометрия недр / В. А. Букринский. – М. : Изд-во МГГУ, 2002. – 549 с.
2. Геометрия недр. Особенности геометризации угольных месторождений: учеб. пособие / Т. Б. Рогова, С. В. Шакlein. – Кузбасс. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2018. – 182 с.
3. Цифровые модели рельефа: учеб. пособие / В. В. Хромых, О. В. Хромых. – Томск : Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2007. – 178 с.
4. Civil 3D. Поддержка и обучение [Электронный ресурс] : помощь при работе с программными продуктами Autodesk // Autodesk, Inc., 2021. URL: <https://knowledge.autodesk.com/ru/support/civil-3d?sort=score>