

УДК 004.932

В.Г. Адамов, канд. техн. наук, доц.,
О.В. Бураков, студент
Донецкий национальный технический университет, г. Красноармейск

Компьютерная система оценки параметров породных отвалов

В данной работе рассматривается способ обработки снимков породных отвалов с целью получения их основных параметров. Описаны возможности разработанной программы, обеспечивающей необходимые манипуляции над снимками для получения параметров породного отвала и построения его 3D-модели. Представлены результаты работы спроектированного алгоритма, а также выполнено сравнение полученных параметров породных отвалов с данными шахтоуправлений.

Ключевые слова: породный отвал, снимки, определение параметров, 3D-модель.

Введение

В угольных районах Украины одним из основных источников загрязнения земельных угодий и атмосферы являются породные отвалы, которые не только уменьшают площадь полезно используемых земель, но и являются опасными очагами эрозии, источником загрязнения воды и почв окружающей местности. Более 50 % выбросов вредных веществ в атмосферу выделяется горящими породными отвалами. Породные отвалы, которых на Украине свыше 1100, занимают около 6300 гектаров земли, пригодной для промышленного и жилого строительства) [1].

Существуют различные методы, обеспечивающие снижение вредоносного воздействия породных отвалов на окружающую среду, среди них: покрытие поверхности породных отвалов плодородным слоем и высадка зеленых насаждений, перепрофилирование, формирование ландшафта, рекультивация.

Для использования любого из перечисленных методов необходимо иметь информацию об основных параметрах породного отвала (площадь основания, форма, угол откоса, высота и другие). Такими данными, как правило, обладает шахта, к которой относится породный отвал, но, как показывает практика, эти данные не точны, либо вообще отсутствуют (как, например, у многих породных отвалов начала XX века).

Таким образом, возникает необходимость в разработке системы способной визуализировать породный отвал и получить информацию о его реальных параметрах.

Существующие решения

В одном из существующих решений [2] авторы предлагают выполнять маркшейдерскую съемку поверхности породного отвала. Во время эксплуатации породного отвала для каждого периода времени определяется объем и состав

пород, которые отсыпались в отвал. Затем необходимые периоды группируются, и строится динамическая модель породного отвала с учетом фактора времени.

Автор утверждает, что данная модель позволит решить следующие задачи:

1. Выявить так называемые «очаги риска» породного отвала, используя гранулометрический состав тех пород, которые формировали отвал за определенный период времени.

2. Используя размещение и состав пород на определенном этапе насыпки на породный отвал, можно дать рекомендации по рациональному использованию данных пород.

Недостатком описанного подхода к моделированию породных отвалов является то, что получение исходных данных требует значительных материальных затрат. Кроме того, данный подход применим на этапе формирования породных отвалов. Между тем, в соответствии с действующим законодательством [3], породный отвал подлежит регулярному (ежеквартальному) исследованию, в ходе которого значения изменяющихся параметров заносятся в паспорт, именуемый на каждый отвал. Следовательно, и модель подлежит коррекции.

В работе [4] автором предложен метод оценки площадей породных отвалов по данным спутниковых снимков, предоставляемых картографическими веб сервисами. Суть метода состоит в проецировании геодезических координат узловых точек периметра верхнего и нижнего оснований породного отвала на декартову систему координат. Таким образом, основание представляется многоугольником и соответственно вычисляется его площадь. Оценка площади поверхности породных отвалов производится, моделируя его в виде усеченного конуса (см. рисунок 1).

Разработанная геоинформационная система для учета и анализа спутниковых снимков породных отвалов угольных шахт позволяет локализовать границы породных отвалов,

выполнять оценку площадей их поверхности, а также в интерактивном режиме определять и прогнозировать ряд других характеристик.

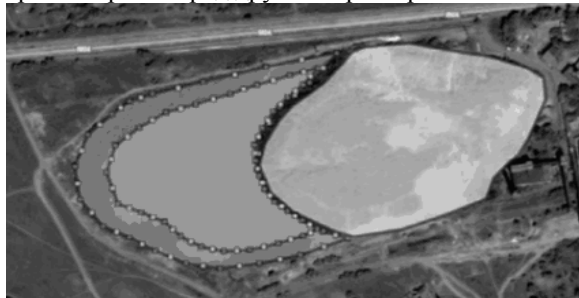


Рисунок 1 – Общий вид снимка в обработке с помощью ПО Terrikon Explorer

Недостатками данной системы является приближенность вычислений. Так для вычисления параметров и высоты в качестве угла откоса выбран усредненный угол откоса, принятый для отвала, что вносит большую погрешность в вычисления.

В работе [5] автор предлагает использовать существующие программные средства, позволяющие построить объемные модели породных отвалов. В частности OziExplorer3D.

OziExplorer3D – программное обеспечение, которое позволяет просматривать трехмерные изображения карт с возможностью вращения во всех направлениях и изменением масштаба. Трехмерная карта составляется из изображения карты и сетки высот в интервале, определенном пользователем. Программа вычерчивает трехмерную сетку высот и затем накладывает изображение карты на сетку для получения трехмерной карты. В качестве высотных данных используются файлы SRTM [6].

Далее, открыв в OziExplorer3D изображение породного отвала и загрузив файл высот, можно построить трехмерную модель (см. рисунок 2). Кроме 3D-модели на рисунке также будут представлены данные о высоте самой высокой и самой низкой точек, а разность их значений характеризует высоту породного отвала.

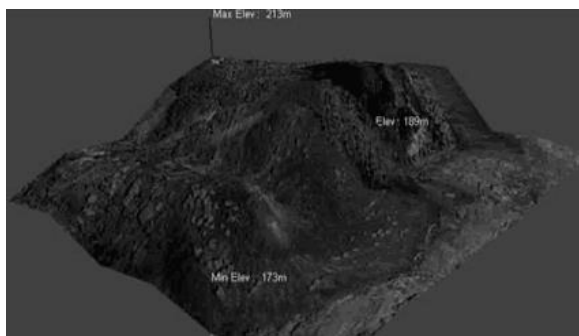


Рисунок 2 – 3D модель отвала № 2 ш. Моспинская (Моспино)

Из результатов работы видно, что хоть данный продукт и не ориентирован специально на работу с породными отвалами, он достаточно неплохо справляется с поставленной задачей. Автор утверждает, что погрешность построения моделей не превышает 15 %.

Достоинства такого подхода очевидны: минимальные затраты как человеческих, так и материальных ресурсов. Материальные затраты заключаются только в использовании стороннего программного обеспечения.

Недостатками использования данного подхода является невозможность расчета ряда основных параметров породных отвалов. Данный программный продукт дает возможность получить только данные о высоте породных отвалов.

Постановка задачи

Исходя из результатов анализа существующих систем получения параметров породных отвалов, целесообразно разработать такую компьютерную систему, в которой отсутствуют указанные недостатки. Проектируемая система должна вычислять основные параметры породного отвала (площадь основания, высота, объем пород и углы откоса) используя для этого фотоснимки. Система должна обеспечивать возможность регулярного получения параметров породного отвала с минимально возможными материальными затратами.

Входные данные

Входными данными для проектируемой системы являются два снимка породного отвала. Первый – вид сверху, второй – вид сбоку.

Снимок сверху (см. рисунок 3) можно получить из картографических сервисов. Примерами таких картографических сервисов являются Google Maps [7], Яндекс карты [8] и приложение Google Earth [9]. В последнем, можно изменять угол наклона камеры, что уменьшает погрешность при нахождении результатов.



Рисунок 3 – Снимок породного отвала сверху

Снимок сбоку (см. рисунок 4) можно сделать самостоятельно, используя любую цифровую фотокамеру.



Рисунок 4 – Снимок породного отвала сбоку

Алгоритм расчета параметров породного отвала

Для получения координат точек основания породного отвала необходимо выполнить выделение контуров. В результате проведенного анализа существующих методов выделения контуров было установлено, что не один из рассмотренных методов (Робертс, Собель, Кэнни, Превитт) не выполняет задачу оконтуривания основания породного отвала на снимке с необходимой точностью [10]. Это связано с тем, что фотоснимки картографических сервисов, как правило, сделаны в летнее время, когда поверхность породных отвалов покрыта растительностью, наличие которой на снимках негативно сказывается на точности выделения контура основания. Исходя из этого, в работе предлагается использовать ручное выделение контуров породного отвала с помощью графических примитивов.

На снимке сверху необходимо определить координаты X и Y (в пространстве X и Z) точек нижнего основания и координаты вершины (координаты точек верхнего основания, если породный отвал имеет усеченную форму).

Затем требуется определить приблизительные координаты положения камеры, откуда был сделан снимок породного отвала сбоку. Исходя из этого, найти крайние точки на нижнем основании породного отвала, которые видно на снимке сбоку. Далее необходимо вычислить расстояние между этими точками (см. рисунок 5).

На рисунке 5 точками P_{11} и P_{12} обозначены крайние точки нижнего основания, видимые на снимке сбоку. Отрезок D_1 соответствует расстоянию между ними.

На снимке сбоку необходимо определить высоту породного отвала. Высотой в данном случае будем называть отрезок, опущенный с точки вершины на нижнее основание.

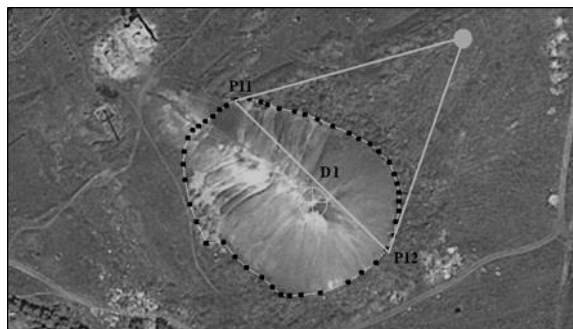


Рисунок 5 – Определение координат точек на нижнем основании и расчет расстояния между крайними точками

Кроме этого необходимо определить расстояние между крайними точками на нижнем основании. Перечисленные замеры изображены на рисунке 6.

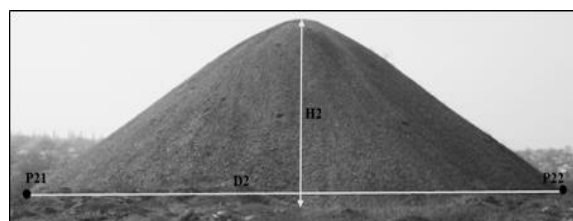


Рисунок 6 – Определение расстояния между крайними точками и высоты

На рисунке 6 представлен снимок породного отвала сбоку. Отрезок H_2 характеризует высоту породного отвала. Точками P_{21} и P_{22} обозначены крайние точки на нижнем основании, а отрезком D_2 расстояние между ними.

Очевидно, что точки P_{12} , P_{21} и P_{11} , P_{22} соответственно в действительности обозначают одни и те же точки на основании породного отвала. Для согласования масштаба двух снимков необходимо чтобы расстояние между этими точками на разных снимках было одинаково (т.е. $D_1 = D_2$). Для этого введем коэффициент масштабирования k . Тогда коэффициент масштабирования будет равен:

$$k = \frac{D_1}{D_2} \quad (1)$$

Используя коэффициент k можно вычислить высоту породного отвала H_1 на снимке сверху, преобразовав высоту H_2 со снимка сбоку. Данная операция называется масштабированием и выполняется по следующей формуле:

$$H_1 = k \cdot H_2 \quad (2)$$

Таким образом, H_1 – характеризует высоту породного отвала, в масштабе вида сверху.

Исходя из проведенных операций, теперь мы имеем координаты X и Z точек нижнего основания (координату Y у них условно принимаем равной нулю), а также координаты вершины породного отвала (координаты X и Z взяты со снимка сверху, координату Y принимаем равной H_1).

В случае если породный отвал имеет усеченную форму, то кроме координат точек нижнего основания необходимо получить координаты точек верхнего основания (у них, так же как и у вершины, координаты X и Z взяты со снимка сверху, а координату Y принимаем равной H_1).

Полученные данные являются минимальным набором для построения модели конического породного отвала и вычисления основных параметров.

Расчет параметров породного отвала

Высота породного отвала может быть получена, используя значение H_1 и масштаб снимка сверху. Т. к. источником снимков сверху выступают картографические сервисы, то с получением масштаба на снимке проблем не возникает.

Основание породного отвала в общем случае представляет невыпуклый многоугольник. Для вычисления площади основания необходимо разбить основание на треугольники, т.е. выполнить триангуляцию, затем вычислить сумму площадей образованных треугольников (см. формулу 4). Алгоритм триангуляции будет иметь следующий вид:

1. Берем три вершины A_1, A_2, A_3 (см. рис.7).
2. Проверяем, образуют ли вектора A_1A_3, A_1A_2 левую тройку векторов.
3. Проверяем, нет ли внутри треугольника $A_1A_2A_3$ какой-либо из оставшихся вершин многоугольника.
4. Если оба условия выполняются, то строим треугольник $A_1A_2A_3$, а вершину A_2 исключаем из многоугольника, не трогая вершину A_1 , сдвигаем вершину A_2 (A_2 на A_3), A_3 (A_3 на A_4).
5. Если хотя бы одно условие не выполняется – переходим к следующим трем вершинам.
6. Повторяем с 1 шага, пока не останется три вершины.

Для того что бы проверить, образуют ли векторы левую тройку векторов, необходимо, чтобы их векторное произведение было больше нуля. Векторное произведение можно вычислить по следующей формуле:

$$P = \frac{[(X]_2 - X_1)[(Y]_3 - Y_1) - [(Y]_2 - Y_1][(X]_3 - X_1]}{(3)} \quad (3)$$

Площадь треугольника можно найти, используя формулу Герона:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}, \text{ где} \\ p = \frac{a+b+c}{2}, \quad (4)$$

a, b, c – длины сторон треугольника

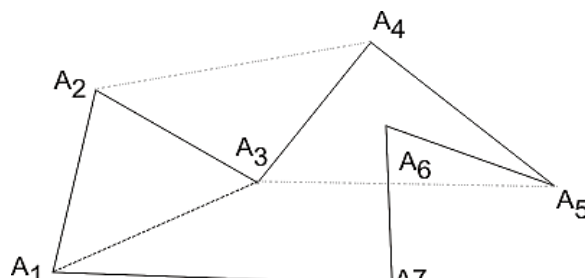


Рисунок 7 – Триангуляция невыпуклого многоугольника

Площадь боковой поверхности для конического породного отвала также может быть вычислена как сумма площадей треугольников (см. формулу 4) образованных одной точкой вершины породного отвала и двумя точками нижнего основания. Для усеченного конического породного отвала как сумма площадей трапеций, где верхнее основание трапеции образовано двумя точками верхнего основания породного отвала, а нижнее – двумя точками нижнего. Для простоты трапеции также могут быть разбиты на треугольники.

Объем конического породного отвала можно определить, зная площади оснований и боковой поверхности.

Угол откоса можно вычислить, зная высоту породного отвала и отрезок соединяющий точку на вершине породного отвала с точкой на основании. Таким образом, угол откоса можно вычислить для каждой точки основания, а затем среди них определить минимум, максимум и среднее значение.

Однако все полученные значения параметров будут в пикселах, для перевода этих значений в метры нужно воспользоваться масштабом, который указан в используемом картографическом сервисе.

На основе описанного алгоритма было разработано приложение. Программное обеспечение для вычисления параметров породного отвала разрабатывалось на языке C# и платформе .NET Framework 4.5. Основная часть приложения является Windows Forms проектом. Вторая часть приложения, отвечающая за построение 3D-модели – Windows Presentation Foundation проектом.

Интерфейс разработанного приложения

Окно приложения делится на три области (см. рисунок 8). Первая (компонент GroupBox

слева) – предназначена для работы со снимком породного отвала сверху. Вторая (компонент GroupBox справа) – для обработки фотоснимка породного отвала сбоку. Третья – отображает результаты работы программы. Также дополнительно открывается второе окно, которое позволяет просматривать 3D модель.

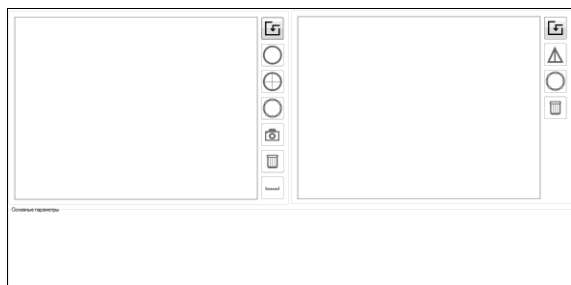


Рисунок 8 – Главное окно приложения

Для работы с фотоснимками на форме расположены инструменты. Для работы со снимком породного отвала сверху используются следующие инструменты (см. рисунок 9):

- загрузка снимка на форму;
- примитив «эллипс» для выделения контуров верхнего и нижнего оснований;
- примитив для позиционирования вершины породного отвала;
- кнопка для поузлового редактирования примитивов для более точного выделения контуров;
- примитив для позиционирования камеры, откуда был сделан фотоснимок сбоку, а также указания крайних точек на нижнем основании породного отвала;
- кнопка для удаления выбранного слоя;
- примитив «линейка» необходим для указания масштаба снимка.



Рисунок 9 – Инструменты для работы со снимком сверху

Для работы со снимком породного отвала сбоку используются следующие инструменты (см. рисунок 10):

- загрузка снимка на форму;
- примитив, для указания точки на вершине породного отвала и проведения из нее перпендикуляра на нижнее основание;
- кнопка для поузлового редактирования примитивов и для более точного их позиционирования;
- кнопка для удаления выбранного слоя.



Рисунок 10 – Инструменты для работы со снимком сбоку

Кроме описанных инструментов приложение позволяет перемещать слои и изменять их размеры. Для перемещения слоя его необходимо выделить, навести мышь на появившейся квадрат в верхнем левом углу ограничивающего прямоугольника и выполнить операцию Drag&Drop. Для изменения размера и пропорций слоя его также необходимо выделить, навести мышь на ограничивающий слой прямоугольник и выполнить операцию Drag&Drop.

Использование приложения

В результате проведения описанных ранее манипуляций и использования функционала разработанного приложения, обработанные снимки породного отвала будут иметь следующий вид (см. рисунки 11 и 12):



Рисунок 11 – Снимок сверху породного отвала №29 шахты «Петровская» с добавленными графическими примитивами

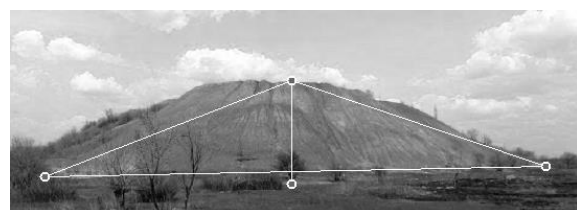


Рисунок 12 – Снимок сверху породного отвала №29 шахты «Петровская» с добавленными графическими примитивами

Результаты работы приложения

В результате работы приложения вычисляются основные параметры породных отвалов, а именно следующие: высота, площадь оснований (в случае конических породных отвалов это нижнее основание, в случае усеченных конических и плоских – верхнее и нижнее), площадь боковой поверхности, объем, углы откоса (минимальный, максимальный и

средний). Так же приложение строит 3D модель породного отвала (см. рисунок 13).

Разработанное ПО было протестировано на 8 породных отвалах г. Донецка. В качестве эталонных данных использовались данные, полученные в шахтоуправлениях.



Рисунок 13 – 3D-модель породного отвала №29 шахты «Петровская»

К сожалению, шахтоуправления не имеют данных обо всех параметрах породных отвалов, которые позволяет вычислить разработанное ПО, поэтому была выполнена оценка только точности нахождения следующих параметров: высота, площадь нижнего основания, объем. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Оценка точности вычисления параметров породных отвалов

Название параметра	Относительная погрешность, %
Высота	4.2
Площадь нижнего основания	9.8
Объем	13.4

Выводы

В работе описан алгоритм нахождения основных параметров породных отвалов, а также представлено программное обеспечение, в котором данный алгоритм был реализован.

Разработанный алгоритм можно применять к одновершинным коническим, усеченным коническим, а также плоским породным отвалам.

Наибольшую погрешность в вычисления параметров вносит позиционирование крайних видимых точек на основании т.к. достоверно точно сложно определить одни и те же точки на виде сбоку и на виде сверху. Неудобное для получения снимков положение породного отвала (окружающие породный отвал здания и растительность) также оказывает отрицательное воздействие на результат.

Среди рассчитанных параметров наибольшую погрешность имеет объем породного отвала. Это связано с тем, что в разработанном алгоритме при вычислении объема используются формулы, которые не учитывают неровности на поверхности породного отвала. Также следует учитывать, что нельзя полностью полагаться на достоверность данных полученных в шахтоуправлениях, т. к. некоторые данные могут быть устаревшие, а со временем под действием факторов окружающей среды параметры породных отвалов могут меняться. Например, водная эрозия бортов терриконов приводит к расширению их площади [11].

Список использованной литературы

1. Кузик І.Н. Формування критеріїв екологічної небезпеки породних відвалів шахт / І.Н. Кузик // Екологія і природокористування. – 2009. – Вип. 12. – С. 156-160. – Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/14571/24-Kuzyk.pdf>
2. Прокопенко Е.В., Борщевский С.В. Разработка динамической модели породных отвалов угольных шахт / Е.В. Прокопенко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2010. – №6. – С. 14-19. – Режим доступу: <http://uran.donetsk.ua/~masters/2012/feht/filippova/library/prokopenko.pdf>.
3. ДНАОП 1.1.30 – 5.37.: инструкция по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов. Сборник инструкций к правилам безопасности в угольных шахтах. – К., 1996. – Т.2. – С. 358–367.
4. Харламов А.В. Оценка площадей терриконов по данным спутниковых снимков / А.В. Харламов // Сборник трудов международной научной конференции. – Луганск, 2011. – №11. – С. 24-29. – Режим доступа: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/vsunu/2011_14/Harlamov.pdf.
5. Паршутина А.А., Адамов В.Г. Специализированная компьютерная система расчета параметров и моделирования породных отвалов / А.А. Паршутина, В.Г. Адамов. – Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2012/fknt/parshutina/diss/index.htm#p3>.
6. Описание и получение данных SRTM. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/srtm.html>.
7. Бесплатный картографический сервис, предоставляемый компанией «Google». – Режим доступа: <https://www.google.com.ua/maps/>.
8. Поисково-информационный картографический сервис Яндекс Карты. – Режим доступа: <https://maps.yandex.ua/>.

9. Официальный сайт приложения Google Earth. – Режим доступа: <http://www.google.com.ua>.
10. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
11. Силин А.А. Факторы и процессы негативного влияния породных отвалов г. Донецка на окружающую среду при их формировании, захоронении и последующей разработке. – Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2009/ggeo/silin/diss/index.htm>.

Надійшла до редакції 10.03.2015

В.Г. АДАМОВ, О.В. БУРАКОВ

Донецький національний технічний університет, м. Красноармійськ

СПЕЦІАЛІЗОВАНА КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ

У даній роботі розглядається спосіб обробки знімків породних відвалів з метою отримання їх основних параметрів. Описано можливості розробленої програми, що забезпечує необхідні маніпуляції над знімками для отримання параметрів породного відвалу та побудови його 3D-моделі. Представлені результати роботи спроектованого алгоритму, а також виконано порівняння отриманих параметрів породних відвалів з даними шахтоуправління.

Ключові слова: породний відвал, знімки, визначення параметрів, 3D-модель.

V.G. ADAMOV, O.V. BURAKOV

Donetsk National Technical University, Krasnoarmiysk

SPECIALIZED COMPUTER SYSTEM OF ESTIMATING THE PARAMETERS OF WASTE DUMPS

In the coal regions of Ukraine one of the main sources of land and atmosphere pollution are waste dumps. They reduce the area of useful land and are dangerous hotbed of erosion, the source of water pollution and soil surrounding countryside. There are many methods that reduce the harmful effects of waste dumps on the environment, including: surface coating of dumps with fertile soil and planting of green spaces, re-forming the landscape reclamation. To use any of these methods, you must have information about the basic parameters of the waste dump (base area, shape, slope angle, height, etc.). Such data typically have a shaft to which the waste dump belongs, but in practice, it is not accurate or absent.

Based on the results of the analysis of existing systems of obtaining the waste dumps parameters, it is advisable to develop a computer system to obtain the parameters of waste dumps. The article discusses the algorithm for calculating the parameters of waste dumps, using photos from the top and from the side. Photo from the top can be obtained from mapping services. Photo from the side can be done by using any digital camera. In the further processing of images you can get coordinates of the lower base and the vertex (top base for truncated and flat waste dumps). Using these coordinates of points, you can calculate the main parameters of waste dumps.

To calculate the area of the base we used the formula for finding the area of a convex polygon. Lateral surface area of the conical waste dump can be calculated as the sum of the areas of the triangles formed by one point, the top of the waste dump and two points lower base. For the truncated conical waste dump lateral surface area can be calculated as the sum of the areas of trapezoids, where the upper base of the trapezoid is formed by the two points of the upper base waste dump, and the bottom – by the two points of the lower base. However, all values are in pixels, to convert these values into meters you need to use the scale that is specified in the used map service.

The article describes the developed software that implements the algorithm designed. The paper also describes the application interface and basic controls.

As a result, the application calculates the basic parameters of waste dumps: height, base area (in the case of conical waste dumps - lower base, in the case of truncated conical and flat - top and bottom bases), the lateral surface area, volume, angles of slope (minimum, maximum and average). Also, the application builds a 3D model of the waste dump.

The developed algorithm can be applied to the one-vertex conical, truncated conical and flat waste dumps. An uncomfortable position for taking pictures of a waste dump (waste dump surrounding buildings and vegetation) has a negative impact on the result.

Among the highest errors of the calculated parameters is a volume of a waste dump. This is due to the fact that the developed algorithm for calculating the volume uses the formula, which does not take into account irregularities on the surface of the waste dump. Also it's worth mentioning that you cannot fully rely on the accuracy of the information obtained in the mine office. Some data may be outdated, and over the time under the influence of environmental factors dumps parameters may vary.

Keywords: waste dump, the pictures, the definition of the parameters, 3D-model.