

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОДСЧЕТА ОБЪЕМОВ ШТАБЕЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Валерий Геннадьевич Сальников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: salnikov@ssga.ru

Андрей Александрович Басаргин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных систем, тел. (383)343-18-53, e-mail: abaspirant@mail.ru

Андрей Михайлович Астапов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, обучающийся, тел. (383)343-29-55, e-mail: andrey_astapov@inbox.ru

В настоящее время на промышленных объектах и строительных площадках приходится решать задачи по определению объемов сыпучих и несыпучих материалов (песок, уголь, щебень и т. д.). Данный вид работ необходим для ведения учета завезенных и использованных материалов, а также складирования их в штабеля. В данной статье приводится сравнительный анализ трех способов (горизонтальных сечений, геометрической фигуры (конусом), вертикальных параллельных сечений) подсчета объемов земляных работ в AutoCAD Civil 3D.

В качестве объекта исследований был выбран завозимый и складированный песок в речном порту г. Новосибирска. Песок является сложным объектом при подсчете его объема, так как подвержен усадке при намокании и выветриванию в сухом состоянии.

В результате проведенных исследований самым точным способом подсчета объемов песка является способ вертикальных параллельных сечений в AutoCAD Civil 3D.

Ключевые слова: объемы земляных работ, штабель песка, картограмма, построение поверхностей, расчет объемов, AutoCAD, Civil 3D.

ANALYSIS OF CALCULATION METHODS FOR DETERMINATION OF SURGE PILE MATERIALS VOLUME

Valerij G. Sal'nikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D, Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: salnikov@ssga.ru

Andrej A. Basargin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D, Associate Professor, Department of Applied Informatics and Information Systems, phone: (383)343-18-53, e-mail: abaspirant@mail.ru

Andrej M. Astapov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (383)343-29-55, e-mail: andrey_astapov@inbox.ru

Nowadays we have to handle the tasks for volume determination of surge pile materials (sand, coal, crushed stone) on industrial objects and building grounds. The type of work is necessary for keeping record of supplied and consumed materials, and also for their piling. This article gives comparative analysis of 3 calculation methods for land works (horizontal sections, cone, vertical parallel section) in AutoCADCivil 3D.

The object of research was the sand, delivered and piled in the Novosibirsk river port. The sand is a rather difficult substance to be calculated as it gets settled down in wet condition and blown away in dry one.

The results of the research showed that the most accurate method for sand volume calculation is vertical parallel section one in AutoCADCivil 3D.

Key words: land work volume, sand pile, cartogram, composition of surfaces, volume calculation, AutoCAD, Civil 3D.

Введение

В процессе инженерно-геодезических работ, специалистам приходится решать задачи по определению объемов перевозимых сыпучих и несыпучих материалов. Особенно это касается тех производств, где используется сырье или готовая продукция, сложно поддающейся точному учету:

- сельскохозяйственная продукция (зерно, клубни, подсолнечник);
- стройматериалы (песок, гравий, щебень, цемент);
- полезные ископаемые (уголь, руда).

Следовательно, задача точного определения объемов сыпучих материалов требуется в следующих областях:

- в строительстве (определение объемов выемки грунта и насыпей);
- в горнорудной промышленности (измерение объемов выработки);
- при инвентаризации складов сырья и готовой продукции (уголь, песок, щебень, руда, рудные концентраты и прочее).

В геодезии подсчет объемов используется при выполнении многих видов работ, в частности, ими являются:

- подсчет земляных работ при строительстве подземной части площадных сооружений (котлованы фундаментов, выемки грунта подвальных помещений);
- подсчет земляных работ при строительстве линейных сооружений (каналы, дорожные трассы);
- определение объемов сыпучих и несыпучих материалов. К сыпучим материалам можно отнести песок, уголь, щебень и т. д., а к несыпучим – различные жидкие или вязкие вещества;
- определение объемов всевозможных материалов при инженерно-геодезических изысканиях (объем водохранилищ, отвалов).

Методы и методики

Для определения площадей и объемов горной массы и других сыпучих и несыпучих материалов, используют несколько способов:

- определение объемов способом горизонтальных сечений;
- определение объемов способом вертикальных сечений;
- определение объемов способом геометрической фигуры.

На площадках хранения складированное полезное ископаемое часто занимает правильный геометрический объем – конус, клин, обелиск или призматойд (рис. 1).



Рис. 1. Примеры хранения руды, занимаемой правильными геометрическими объемами

У этих фигур объем можно определить геометрическими расчетами. Так, объем конуса равен:

$$V = \frac{1}{3} \cdot H \cdot \pi \cdot R^2, \quad (1)$$

где H – высота конуса, м;
 R – радиус его основания, м;
 π – число 3,14.

Если отвал имеет неправильную вытянутую форму (рис. 2), расчеты значительно усложняются. В этом случае объем определяют по способу вертикальных параллельных сечений. Суть способа заключается в мысленном разделении отвала параллельными вертикальными плоскостями, перпендикулярными оси отвала, в характерных местах или через равные расстояния. Далее необходимо определить объем каждой части, заключенной между соседними сечениями S_i и S_{i+1} (рис. 2). Он рассчитывается по формуле

$$V_1 = l_i \frac{(S_i + S_{i+1})}{2}, \quad (2)$$

где l_i – расстояние между соседними сечениями, м.

Объемы крайних частей отвала V' и V'' , заключенных между его началом и концом и ближайшими сечениями, определяется по формулам

$$V' = \frac{l'S_1}{2} \text{ и } V'' = \frac{l''S_n}{2}, \quad (3)$$

где l' и l'' – расстояние от начальной и конечной границ отвала до ближайших сечений (S_1 и S_n).

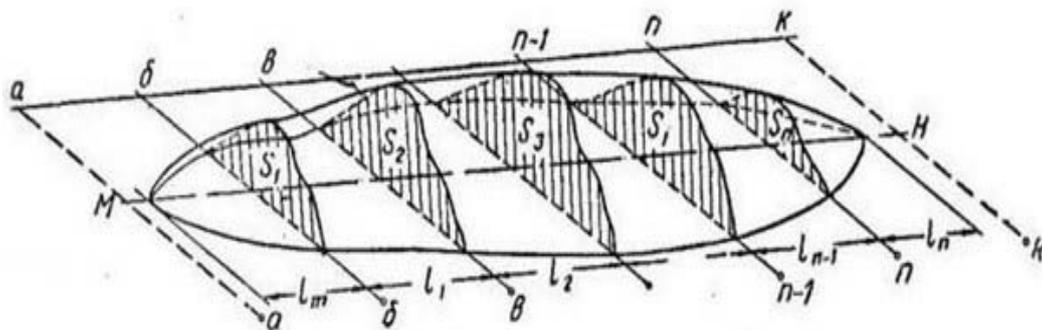


Рис. 2. Определение объема насыпи методом вертикальных сечений

Для того чтобы определить полный объем отвала, необходимо сложить объемы отдельных частей между сечениями.

Достоинством способа горизонтальных сечений можно считать простоту и малую трудоемкость определения объемов при самой сложной конфигурации граничных контуров блоков.

Крупные скреперные отвалы часто образуют неправильные геометрические фигуры и занимают очень большие площади (рис. 3). Объем таких складов чаще всего находят способом параллельных горизонтальных сечений. Для начала производится тахеометрическая съемка отвала, после чего форма его изображается на плане в горизонталях. Объем отвала определяется при этом как сумма объемов слоев, заключенных между соседними горизонтальными сечениями. Расстояния между сечениями обычно берут от 0,5 до 1 м. Объем слоя, заключенного между двумя соседними горизонтальными сечениями, рассчитывается по формуле

$$V_i = \frac{h}{2} \cdot \left[(S_i + S_{i+1}) - \frac{1}{3} S'_i \right], \quad (4)$$

где h – высота слоя, м;

S_i и S_{i+1} – площади в контуре горизонталей, ограничивающих соседние слои;

S' – поправочная площадь, m^2 .

Поправочная площадь для каждого слоя определяется по схеме, приведенной на рис. 3, где в качестве примера показано определение поправочной площади III слоя.

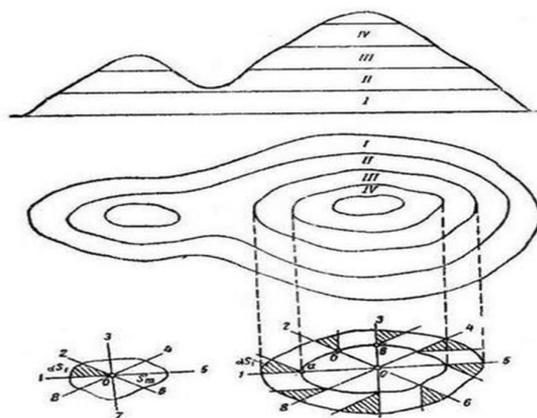


Рис. 3. Определение объема насыпи методом горизонтальных сечений

Результаты

Для сравнительного анализа способов определения объема штабеля песка, необходимо выполнить натурную съемку. Данная съемка выполнена в речном порту г. Новосибирска рис. 4.



Рис. 4. Объект исследований

Выполнение измерений штабеля песка производится тахеометром Leica 405.

Для проведения полноты исследований создается условная система координат, таким образом, чтобы обеспечить единую координатную основу по всему периметру расположения штабеля песка (рис. 5). Далее выполняется тахеометрическая съемка и после произведен подсчет результатов.

Камеральная обработка выполняется в AutoCAD Civil 3D 2019.

Далее выполняется анализ результатов и производится сравнение между тремя способами:

- горизонтальных сечений;
 - геометрической фигуры (конусом);
 - способом вертикальных параллельных сечений.
- В результате были получены следующие результаты.

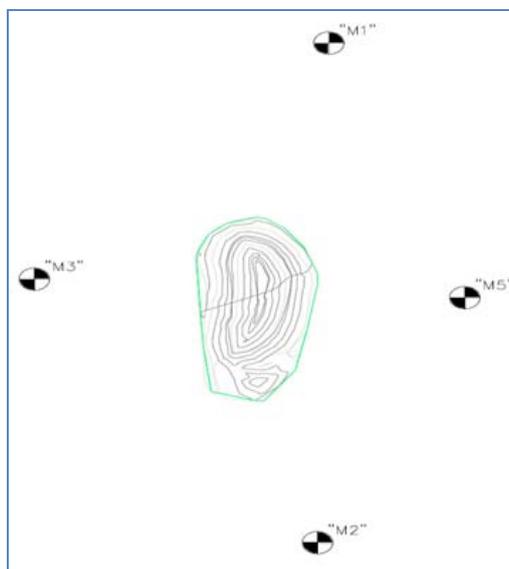


Рис. 5. Схема ПВО

Для метода *геометрической фигуры*, объем составил 1 582,98 кубических метра, время на выполнение полевых работ составило 30 минут, также стоит отметить возможности мгновенного расчета объема по данному методу, для этого необходимо в тахеометре воспользоваться функцией площадь, определив площадь основания и максимальную высоту штабеля.

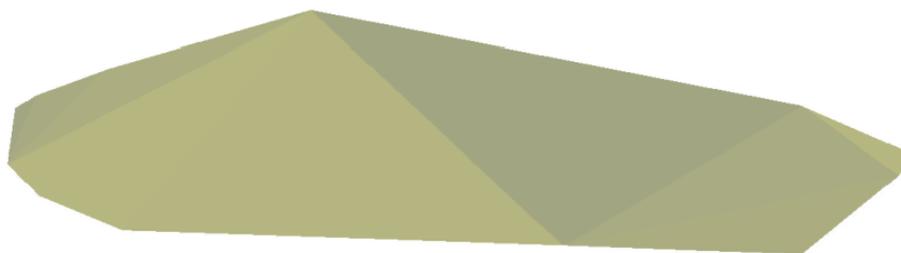


Рис. 6. Поверхность полученная методом геометрической фигуры

Для метода *вертикальных сечений*, табель песка делится на участки длиной 2,5 метра. В данном случае участков было 13 штук. Затем выполняется подсчет объема каждого участка, и путем их сложения подводится итоговый объем песка. В данном методе объем составляет 1 794,04 кубических метра, время на выполнение работ составляет 1 час.

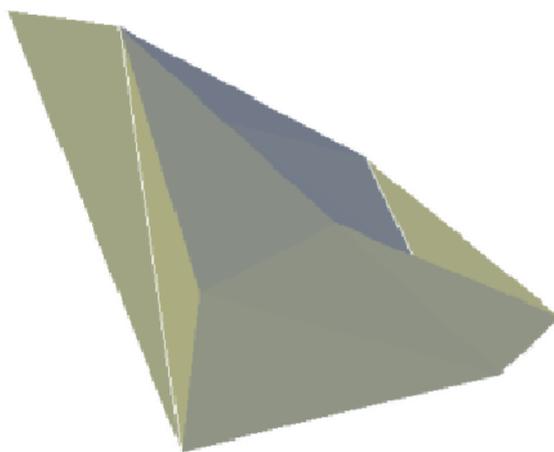


Рис. 7. Участок поверхностей, полученный методом вертикальных сечений

Для метода *параллельных горизонтальных сечений* выполняется тахеометрическая съемка всего объема песка, с сечением горизонталей в 1 метр, далее в AutoCAD Civil 3D создаются две поверхности. Первая поверхность – это основание, вторая поверхность – остальная штабель песка. Далее вычисляется итоговый объем земляных работ, который составил 2 110,64 кубических метра. Время на выполнение работ составляет 1 час 30 минут, съемка с 4 сторон, 30 минут на станцию.

В соответствии с полученными данными полевой съемки, самым точным способом является способ *параллельных горизонтальных сечений*.

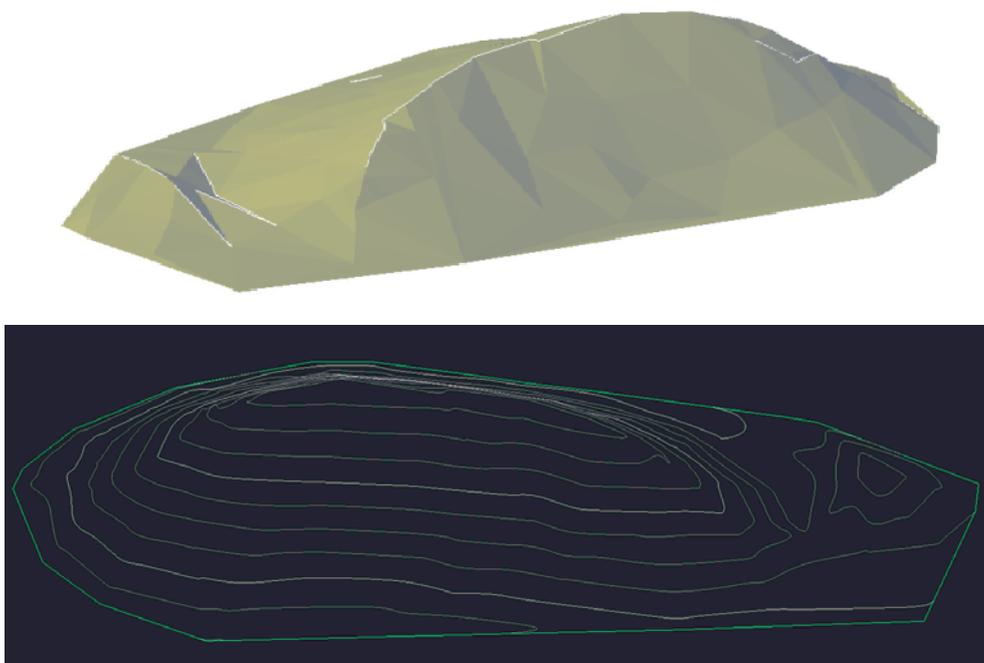


Рис. 8. Трехмерная поверхность песка
(метод параллельных горизонтальных сечений)

Выводы

В результате полученных данных, проводится сравнительный анализ, представленный в таблице.

Метод	Время, минуты	Объем, м ³
Геометрической фигуры	30 минут	1 582,98
Вертикальных сечений	60 минут	1 794,04
Горизонтальных сечений	90 минут	2 110,64

1. Подсчет объема земляных работ методом геометрической фигуры следует использовать при съемке геометрических фигур правильной формы (треугольник, пирамида, клин, обелиск, призматок см. рис. 1). Главным достоинством этого метода является скорость выполнения и возможность получить результат в поле в меню тахеометра;

2. Подсчет объема земляных работ методом вертикальных сечений является более точным, чем метод геометрической фигуры, но требует еще больше времени, следовательно, данный метод работ подходит для малых объемов неопределенной формы.

3. Подсчет объема земляных работ методом горизонтальных сечений является самым точным и обладает самым долгим временем выполнения полевых измерений, так же в отличие от предыдущих методов требует наличия геодезической основы, следовательно, данный метод работ подходит для больших объемов работ или для точного подсчета объема сыпучих материалов. Время работ зависит от скорости перемещения вехи с отражателем. Также стоит использовать данный метод, если объем достаточно мал, и всю съемку, возможно, выполнить с одной станции тахеометра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свод правил СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. – М., 2012.
2. Макаренко С. А. Создание поверхности в среде AutoCAD (Civil 3D) по результатам тахеометрической съемки // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, 2016. – С. 50–57.
3. Яковлева Н. Д., Кондрат М. Д. Создание критериев объема работ для формирования отчетов в графическом пакете AutoCAD Civil 3D // Неделя науки-2017. Сборник лучших докладов студентов и аспирантов факультета «Транспортное строительство». – СПб. : Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2017. – С. 67–70.
4. Кутин Д. А., Никонова О. Г. Расчет земляных работ по результатам моделирования дренажного канала в AutoCAD Civil 3D // Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. – СПб., 2018. – С. 51–53.
5. Конюхова Ю. А., Синев А. В., Хромченко А. В. Особенности определения объема сыпучих материалов с использованием геодезической съемки // Архитектура, строительство,

землеустройство и кадастры на Дальнем Востоке в XXI веке. Материалы Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 210–215.

6. Ustavich G., Salnikov V., Demin V., Ryabova N. The scheme of geodetic control of cooling towers geometry while constructing // *Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying.* – 2015, Vol. 59 – 5/S. pp. 51–56.

7. Hiller B., Jambaev N. Development and natural tests of automated systems of deformation monitoring // *Vestnik SSUGT* – 2016. Issue 1 (33). pp. 48–61.

8. Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84 : СП 126.13330.2012. – М. : Минрегион России, 2012. – 84 с.

9. Нурмухаметова А. Т. 3-мерное моделирование при подсчете объемов полезного ископаемого // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина. – Томск, 2017. – С. 582–583.

10. Оценка рисков возможных обрушений уступов стационарного борта разреза «Бога-тырь» при проектировании усреднительного угольного склада / О. В. Старостина, В. Н. Долгонос, Е. В. Ситникова, А. В. Михнев // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.).* – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 78–86.

11. Исследование возможности 3D-моделирования для маркшейдерского обеспечения ведения горных работ / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, А. С. Бедарев, А. О. Даулетова // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.).* – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 178–183.

12. Хлебникова Т. А. Анализ методов создания трехмерных моделей объектов в ЦФС и ГИС // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.).* – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 2. – С. 157–162.

© В. Г. Сальников, А. А. Басаргин, А. М. Астапов, 2019