

*А. А. Гребенников¹**

Сравнение различных программных комплексов при подсчете объемов рудного штабеля

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: aleshenka.grebennikov@mail.ru

Аннотация. В настоящий момент маркшейдерская съемка рудных штабелей и дальнейший подсчет их объема является достаточно сложным процессом, выполнением которого необходимо заниматься несколько раз в месяц. Этот вид работ нужен для фиксации количества вывезенной руды из горных выработок, а также предоставления отчета по выполненным работам. В статье представлен сравнительный анализ программных комплексов AutoDesk Civil 3D, Datamine и Micromine для подсчета объема рудного штабеля. Исходными данными для подсчета объема являются точки и характерные 3D линии рудного штабеля, а также точки и характерная 3D линия границы основания рудного склада. В результате проведенного исследования самым быстрым и простым в использовании при подсчете объема рудного штабеля является программный комплекс AutoDesk Civil 3D, а самым точным является программный комплекс Datamine, хотя его применение требует больше времени на выполнение подсчетов.

Ключевые слова: рудный штабель, AutoDesk Civil 3D, Micromine, Datamine, подсчет объема, построение поверхности

*A. A. Grebennikov¹**

Comparison of different software packages in calculating of ore pile volumes

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: aleshenka.grebennikov@mail.ru

Abstract. At the moment, surveying of ore piles and further calculation of ore piles volume is a complex process that needs to be performed several times a month. This type of works is required to record the amount of ore removed from the mine workings and to report on the work performed.

This article presents a comparative analysis of AutoDesk Civil 3D, Datamine and Micromine software packages for calculating ore pile's volume. The input data for volume calculation are the points and characteristic 3D lines of the ore pile and the points and characteristic 3D line of the ore stockpile foundation boundary. The result of the research, the fastest and easiest to use in calculating the volume of the ore pile is the AutoDesk Civil 3D software package, the most accurate is the Datamine software package, though its application requires more time to perform the calculation.

Keywords: ore pile, AutoDesk Civil 3D, Micromine, Datamine, volume calculation, surface construction

Введение

Выполнение подсчета объемов различных материалов является важной производственной задачей, которая решается в следующих отраслях промышленности и сельского хозяйства:

- сельскохозяйственное производство (подсчет объемов зерновых, зернобобовых, масличных, кормовых и др. культур);
- горнодобывающая промышленность (подсчет объемов горных выработок и готовой продукции, например, уголь, коксующийся уголь, руда, рудный концентрат);
- добыча строительных материалов (подсчет объемов крупнозернистого песка, щебня, песка, керамзита, гравия);
- строительство (подсчет объемов насыпи и выемки грунта, замер кузовов автосамосвалов);
- геологоразведочное производство (подсчет объема выемки геологоразведочных канав).

В список работ, выполняемых на горнодобывающем предприятии маркшейдерской службой, входит ежедекадный замер рудных штабелей для подсчета объема вывезенной руды из горных выработок. Практикой выполнения данных работ было установлено, что точность подсчета объема тела в значительной степени зависит от его фактической формы, а также от применяемого программного обеспечения.

Целью данного исследования является анализ точности вычисления объема рудного штабеля в зависимости от степени подготовки его тела к подсчету, а также от применения различных программных комплексов и сравнение полученных результатов.

Методы и материалы

Существующие методы определения количества добытого полезного ископаемого представлены на рис. 1.



Рис. 1. Методы определения количества добытого полезного ископаемого

При реализации прямого метода используются геодезические приборы и инструменты для выполнения фактической съемки объема полезного ископаемого [5].

Косвенный метод используется лишь в случае, когда, по каким-нибудь причинам, невозможно выполнить подсчет прямым методом [5].

Добытые полезные ископаемые хранятся в рудных штабелях, которые имеют различные геометрические формы. Самой распространенной формой штабеля являются формы в виде правильных геометрических фигур (рис. 2).

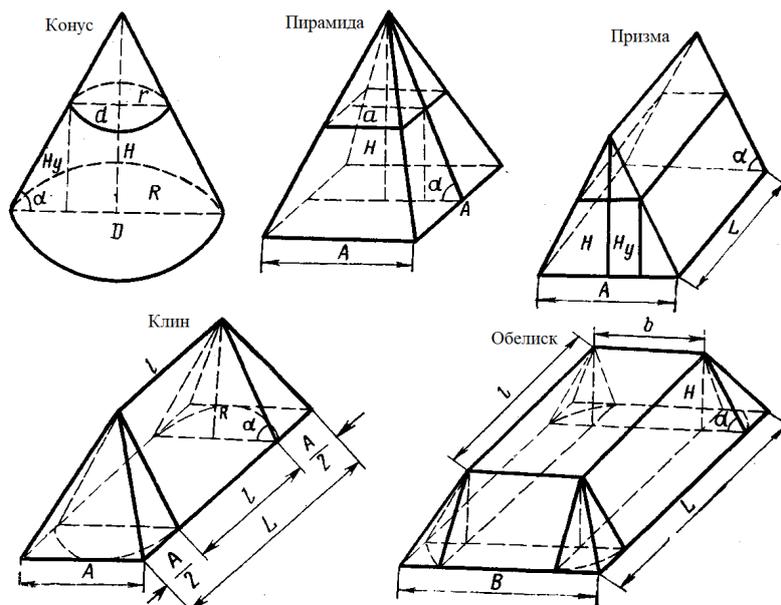


Рис 2. Виды штабелей

Конус, пирамида и призма являются элементарными геометрическими фигурами, а клин и обелиск – составными [6, 9].

При подсчете объема штабеля в виде конуса вычисление производится по формуле:

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

где π – число π ;

R – радиус основания, м;

H – высота, м.

При подсчете объема штабеля в виде пирамиды вычисление производится по формуле:

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

где A – сторона основания, м;
 H – высота, м.

При подсчете объема штабеля в виде призмы вычисление производится по формуле:

$$V = \frac{1}{4} \cdot A^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot L, \quad (3)$$

где A – ширина основания, м;
 α – угол естественного откоса;
 L – длина основания, м.

При подсчете объема штабеля в виде клина вычисление производится по формуле:

$$V = \frac{1}{4} \cdot A^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot L - \frac{1}{6} \cdot A^3 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (4)$$

где A – ширина основания, м;
 α – угол естественного откоса;
 L – длина основания, м.

При подсчете объема штабеля в виде обеликса вычисление производится по формуле:

$$V = L \cdot B \cdot H - \frac{1}{4} \cdot A^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot (L + B) + \frac{1}{6} \cdot A^3 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

где L – длина основания, м;
 B – ширина основания, м;
 H – высота, м;
 A – ширина призмы, м;
 α – угол естественного откоса.

Формирование рудных штабелей осуществляется машинистом бульдозера участка открытых горных работ для декадного замера после того, как вывезли всю руду с горных выработок. При подсчете, в основном, используется форма планирования в виде обеликса.

Согласно требованиям нормативных документов [8] методы учета добычи и вскрыши по числу отгруженных транспортных средств и средней массе (объему) полезного ископаемого (пород, вскрыши) в одном сосуде или по результатам взвешивания всех транспортируемых горных пород могут применяться при определении объема горных работ с ошибкой не более 5 %. Если указанная точ-

ность не обеспечивается, то результаты оперативного учета используют только для приведения к объемам, определенным по маркшейдерским данным на начало и на конец отчетного периода [8].

Результаты

Для сравнения определения объема рудного штабеля в разных программных комплексах была выполнена исполнительная съемка рудного штабеля. Съемка выполнялась спутниковым приемником EFT M4 GNSS, после чего точки импортировались в программный комплекс AutoDesk Civil 3D.

Исходными данными для подсчета объема рудного штабеля являются точки и характерные 3D линии рудного штабеля (рис. 3), обработка выполненных съемок производилась в программном комплексе AutoDesk Civil 3D.

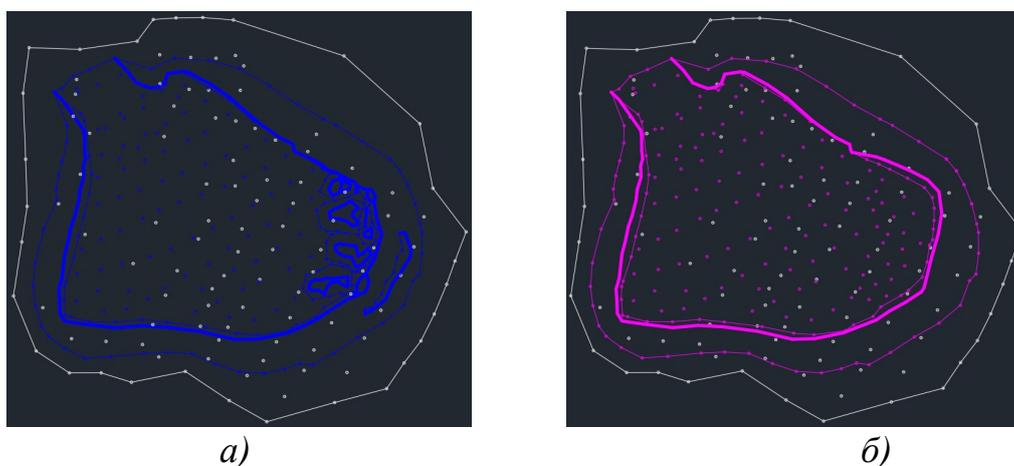


Рис. 3. Исходные данные для подсчета объема рудного штабеля:
а) не спланированный штабель; б) спланированный штабель

Не спланированный штабель – это штабель, на котором не производилось никаких бульдозерных работ, то есть не было формирования штабеля в удобную для съемки геометрическую фигуру.

Спланированный штабель – это штабель, на котором производились бульдозерные работы по выравниванию штабеля, после чего он принял удобную для съемки форму.

Белым цветом на рис.3 показано основание рудного склада. Количество точек не спланированного штабеля равно 398, а спланированного штабеля 272.

В программном комплексе AutoDesk Civil 3D объем можно посчитать следующими методами:

- созданием поверхностей сравнения для вычисления объемов;
- созданием картограммы земляных масс;
- использованием инструментов профилирования по объемам;
- подсчетом количества с помощью статей расхода;
- расчетом материалов и попикетных объемов земляных работ [7].

Для подсчета объема рудного штабеля был использован метод создания поверхностей сравнения.

Сущность метода заключается в создании базовой поверхности и поверхности сравнения. После этого на основе данных поверхностей создается поверхность для подсчета объемов, и выполняется вычисление объема путем сравнения этих поверхностей.

Созданная поверхность основания рудного склада (показана белым цветом) и поверхность не спланированного рудного штабеля (показана оранжевым цветом) в программном комплексе AutoDesk Civil 3D представлены на рис. 4.

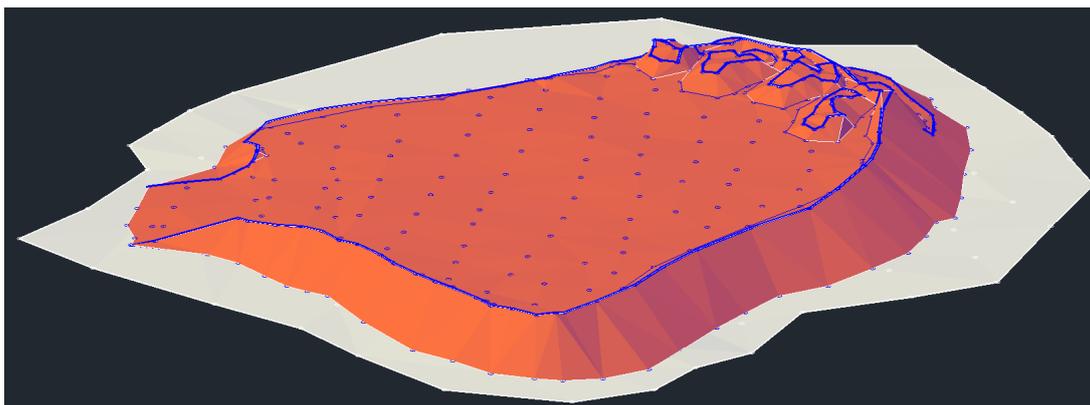


Рис. 4. Созданные поверхности основания рудного склада и не спланированного рудного штабеля в программном комплексе AutoDesk Civil 3D

Созданная поверхность основания рудного склада (показана белым цветом) и поверхность спланированного рудного штабеля (показана желтым цветом) в программном комплексе AutoDesk Civil 3D представлены на рис. 5.

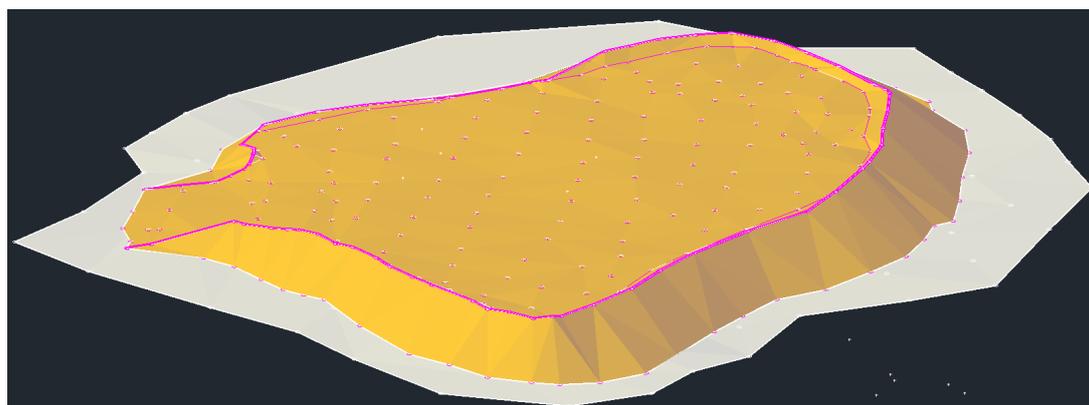


Рис. 5. Созданные поверхности основания рудного склада и спланированного рудного штабеля в программном комплексе AutoDesk Civil 3D

Далее выбирается инструмент «Пульт управления объемами», где во всплывающем диалоговом окне в качестве базовой поверхности выбирается поверхность основания рудного склада, а в качестве поверхности сравнения выбирается поверхность рудного штабеля.

Вычисленный объем не спланированного рудного штабеля в программном комплексе AutoDesk Civil 3D равен 13 774,0 м³, а вычисленный объем спланированного рудного штабеля равен 13 797,0 м³.

Далее был выполнен подсчет объема рудного штабеля в программном комплексе Datamine. При этом использовался метод такой же, как и при подсчете объема в программном комплексе AutoDesk Civil 3D, то есть сравнение двух поверхностей.

Для вычисления объема рудного штабеля в программном комплексе Datamine необходимо заранее экспортировать отрисованный файл съемки с расширением «.dxf» [3, 4, 10]. При этом все объекты должны быть в соответствующих им слоях. Далее выполняется импорт внешних данных в файл проекта Datamine. Все используемые данные добавляются в систему отдельно, то есть сначала добавляются точки основания рудного склада и рудного штабеля, а затем добавляются характерные линии основания рудного склада и рудного штабеля. После импорта выполняется загрузка этих данных в рабочее пространство, а затем уже можно приступить к формированию каркасов поверхностей.

При построении поверхностей выбираются точки и линии нужного объекта. Также необходимо выбрать линию, в границах которой будет сформирована поверхность (это линия, ограничивающая конуטר рудного штабеля или основания рудного склада). Аналогичным образом выполняется создание поверхности рудного штабеля. Созданные поверхности основания рудного склада и спланированного рудного штабеля в программном комплексе Datamine представлены на рис. 6.

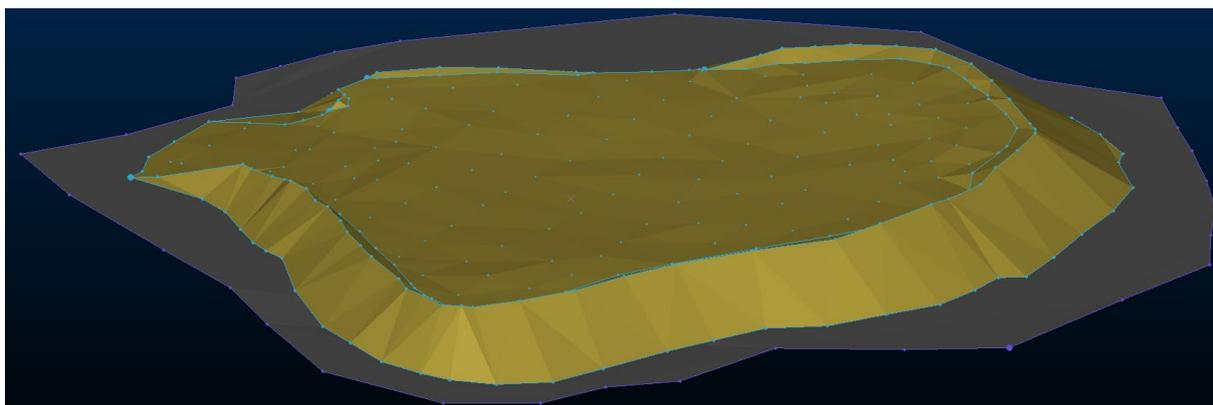


Рис. 6. Созданные поверхности основания рудного склада и спланированного рудного штабеля в программном комплексе Datamine

После этого выбирается инструмент «Cut and Fill Volumes» («Объемы выемки и насыпи»), где во всплывающем диалоговом окне в поле «First surface» выбирается поверхность основания рудного склада, а в поле «Second surface» выбирается поверхность рудного штабеля, затем задается граница поверхности рудного штабеля и нажимается кнопка вычисления объема.

Вычисленный объем не спланированного рудного штабеля в программном комплексе Datamine равен 13 792,0 м³, а вычисленный объем спланированного рудного штабеля равен 13 802,0 м³.

Для вычисления объема рудного штабеля в программном комплексе Micromine были заранее подготовлены отрисованные CAD-файлы съемки: первый файл – это основание рудного склада, а второй файл – это рудный штабель [1, 2]. Далее выполняется импорт внешних данных в файл проекта Micromine. После импорта приступают к формированию цифровых моделей поверхности, отдельно по основанию рудного склада и отдельно по рудному штабелю.

Созданные поверхности основания рудного склада и спланированного рудного штабеля в программном комплексе Micromine представлены на рис. 7.

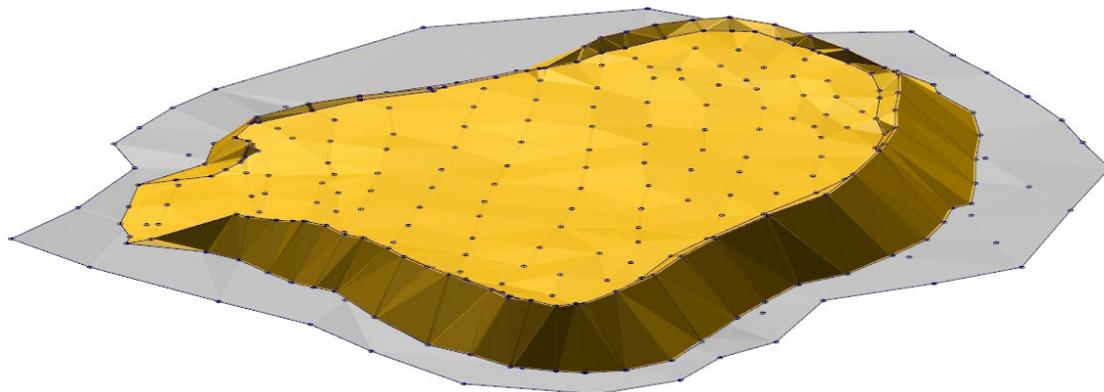


Рис. 7. Созданные поверхности основания рудного склада и спланированного рудного штабеля в программном комплексе Micromine

Для расчета объема рудного штабеля используется функция «Объемы выемки и насыпи по каркасам поверхности», в которой указывается опорная поверхность (основание рудного склада) и целевая поверхность (рудный штабель).

Вычисленный объем не спланированного рудного штабеля в программном комплексе Micromine равен 13 785,0 м³, а вычисленный объем спланированного рудного штабеля равен 13 793,0 м³.

Заключение

Объем рудного штабеля по данным оперативного учета равен 13 801,0 м³.

В результате полученных данных в табл. 1 приведен сравнительный анализ программных комплексов.

Сравнение программных комплексов

Показатель	Программный комплекс		
	AutoDesk Civil 3D	Datamine	Micromine
Страна производитель	США	Великобритания	Австралия
Язык интерфейса	Русский	Английский	Русский
Объем не спланированного штабеля, м ³	13 775,0	13 792,0	13 785,0
Объем спланированного штабеля, м ³	13 798,0	13 802,0	13 793,0
Разница не спланированного штабеля от объема по оперативному учету, м ³	-26,0	-9,0	-16,0
Разница спланированного штабеля от объема по оперативному учету, м ³	-3,0	+1,0	-8,0

При подсчете объемов расхождение между двумя независимыми подсчетами не должно превышать 1 % определяемого объема, то есть 138,0 м³. Из табл. 1 следует, что полученные значения по трем программным комплексам не превышают допустимого значения. Пользователь может выбирать программный комплекс, в котором ему будет комфортнее работать.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Подсчет объема в программном комплексе AutoDesk Civil 3D является самым быстрым по времени, так как имеется возможность сразу после обработки съемки выполнить подсчет объема рудного штабеля. Процесс выполнения подсчета объема прост и интуитивен.

2. Подсчет объема в программном комплексе Datamine является более длительным по времени, так как заранее необходимо выполнить подготовку исходных данных для подсчета объема в другом программном комплексе, в нашем случае это был AutoDesk Civil 3D. При этом сам процесс по времени занимает больше времени, потому что необходимо отдельно загружать линии и точки основания рудного склада и рудного штабеля. У пользователей, которые используют программу впервые и не владеют английским языком, могут возникнуть проблемы при производстве каких-либо работ, так как интерфейс программы только на английском языке.

3. Подсчет объема в программном комплексе Micromine по времени сравнителен с программным комплексом Datamine, так как также необходимо заранее выполнить подготовку исходных данных для подсчета объема в другом программном комплексе, в нашем случае это был AutoDesk Civil 3D. При этом необходимо еще разделить исходный файл на 2 файла, где первый это – основание рудного склада, а второй – рудный штабель. Дальнейшее выполнение подсчета объема простое и интуитивное в исполнении, разберется даже неуверенный пользователь, который никогда не работал в данном программном комплексе.

4. Необходимо всегда выполнять планирование рудного штабеля, так как это ускоряет и упрощает процесс маркшейдерской съемки, кроме того, уменьшается время на выполнение камеральной обработки результатов полевых измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Басаргин А.А., Писарев В.С. Особенности моделирования объектов геологической среды при разработке месторождений твердых полезных ископаемых с применением ГГИС Micromine. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2021. XVII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 8 т. Т. 1. (Новосибирск. 2021 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2021. – С. 100–110.
2. Доржиев Р. С. Б., Коновалов П.В. Графический редактор Micromine в горном деле // Землеустройство, кадастр недвижимости и мониторинг земельных ресурсов: Материалы международной научно-практической конференции, Улан-Удэ, 25–27 апреля 2022 года / Под общей редакцией Л.О. Григорьевой. – Улан-Удэ: Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, 2022. – С. 110–115.
3. Исследование возможности 3D-моделирования для маркшейдерского обеспечения ведения горных работ / Бесимбаева О.Г., Хмырова Е.Н., Бедарев А.С., Даулетова А.О. // 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.
4. Маниковский П.М., Васютин Л.А., Сидорова Г.П. Методика моделирования рудных месторождений в ГГИС // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 6–14.
5. Методы определения количества добытого полезного ископаемого. – Текст: электронный // StudFiles: [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/preview/9347358/page:3/> (дата обращения: 22.02.2024).
6. Определение количества навалочного груза в штабелях правильной геометрической формы. – Текст: электронный // StudFiles: [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/preview/7011908/page:71/> (дата обращения: 22.02.2024).
7. Подсчет объемов в Autodesk AutoCAD Civil 3D. – Текст: электронный // ИНФАРС: [Электронный ресурс]. – URL: <https://infars.ru/blog/podschet-obemov-v-civil-3d/> (дата обращения: 22.02.2024).
8. РД 07-604-03. Инструкции по маркшейдерскому учету объемов горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом. – М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. – 32 с.
9. Сальников В.Г., Басаргин А.А., Астапов А.М. Анализ способов подсчета объемов штабеля сыпучих материалов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019. XV Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 9 т. Т. 1. (Новосибирск. 2019 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. – С. 203–211.
10. Черемисин А.Е. Построение траекторий скважин в горно-геологических информационных системах / А. Е. Черемисин // Инновации в науке. – 2017. – № 9(70). – С. 14–16.

© А. А. Гребенников, 2024