

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЪЕМКИ СКЛАДОВ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО ПРИ ПОМОЩИ БПЛА

*Н. В. Литвиненко, Е. А. Романько, С. Е. Гавришев,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;
Ю. Д. Маврин
ООО «Магнитогорская маркшейдерско-геодезическая компания», г. Магнитогорск, Россия*

Аннотация: Определение остатков полезного ископаемого на складах по результатам маркшейдерской съемки является важной задачей маркшейдерской службы на любом горнодобывающем предприятии. В настоящее время широкое распространение для выполнения маркшейдерских съемок получил аэрофотограмметрический способ при помощи БПЛА из-за его относительной доступности, эффективности и безопасности выполнения работ. Результатом съемки является цифровая модель местности, содержащая миллионы закоординированных точек. При этом объем склада должен быть установлен с учетом требуемой величины погрешности его определения. Выявлены основные факторы, оказывающие влияние на величину погрешности определения объема, предложена классификация способов аэрофотосъемки. Представлены результаты исследований по влиянию выявленных факторов на величину погрешности подсчета объемов. Даны рекомендации по выполнению съемок и подсчету объемов складов, обеспечивающие требуемый уровень погрешности определения объема.

Ключевые слова: склад полезного ископаемого, допустимая погрешность определения объемов, высота аэрофотосъемки, продольное перекрытие, плановая съемка, перспективная съемка, комбинированная съемка, оптимизация высот, плотность облака точек.

Для цитирования: Литвиненко Н. В., Романько Е. А., Гавришев С. Е., Маврин Ю. Д. Обоснование параметров маркшейдерской съемки складов полезного ископаемого при помощи БПЛА // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №3. С. 89-96. DOI: 10.56195/20793332_2024_3_89_96.

JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF MINE SURVEYING OF MINERAL WAREHOUSES USING UAV

*N. V. Litvinenko, E. A. Romanko, S. E. Gavrishchev,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia;
Y. D. Mavrin
Magnitogorsk Surveying and Geodetic Company LLC, Magnitogorsk, Russia*

Abstract: Determination of mineral residuals in stockpiles based on the results of surveying is an important task of the surveying service at any mining enterprise. Currently, the aerial photogrammetric method of surveying using UAVs is widely used for surveying because of its relative availability, efficiency and safety of work. The result of the survey is a digital terrain model containing millions of coordinated points. At the same time, the volume of the warehouse should be established taking into account the required value of the error of its determination. The main factors influencing the value of the volume determination error are identified, the classification of aerial survey methods is proposed. The results of researches on the influence of the revealed factors on the error value of volume calculation are presented. Recommendations are given for surveying and calculating the volumes of warehouses, providing the required level of volume determination error.

Keywords: mineral warehouse, permissible error in determining volumes, aerial survey height, longitudinal overlap, planned survey, prospective survey, combined survey, height optimization, point cloud density.

For citation: Litvinenko N. V., Romanko E. A., Gavrishchev S. E., Mavrin Y. D. Justification of parameters of mine surveying of mineral warehouses using UAV. Surveying and subsoil use. 2024;(3):89-96. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332_2024_3_89_96.

Одной из задач маркшейдерской службы горнодобывающего предприятия является определение фактического положения горных работ, в том числе объемов остатков складов полезного ископаемого. С одной стороны, допущенная погрешность по результатам съемки и подсчета объема приводит к значительным экономическим

последствиям, с другой — нормативной документацией устанавливается ее предельная величина. Определение остатков на складах выполняется в два этапа — производство съемок и подсчет объемов любым из способов, который предусмотрен проектом производства маркшейдерских работ на предприятии, имеющимся оборудованием и программным обеспечением.

печением. На сегодняшний день наиболее современными, простыми, быстрыми способами съемок, которые снижают трудоемкость, увеличивают производительность труда и детальность съемок, улучшают условия безопасности труда являются методы наземного и воздушного лазерного сканирования и фотограмметрии с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [1-12]. При этом обработка результатов съемки должна обеспечить необходимый и достаточный уровень определения погрешности подсчета объема при исключении обработки чрезмерных измерений, которые требуют значительных временных затрат и вычислительных мощностей.

Целью исследования является установление необходимого и достаточного уровня определения величины объема склада полезного ископаемого, обеспечивающего необходимую детальность съемок и отсутствие обработки чрезмерных измерений.

Материал и методы исследования

На горнодобывающих предприятиях при установлении допустимой величины погрешности определения объема горнотехнических объектов с положительными формами техногенного рельефа (складов полезного ископаемого, отвалов, карт намыва) руководствуются существующей нормативной документацией [п. 105, 13], при этом погрешность не должна превышать 2 %. Либо известными требованиями [14], представленными в таблице 1 и, как правило, указанными в проекте производства маркшейдерских работ горнодобывающего предприятия.

Таблица 1 / Table 1

Допустимые погрешности определения объемов полезного ископаемого в отвалах при добыче полезных ископаемых, %
Permissible errors in determining the volume of minerals in dumps at mining, %

Показатель / Indicator	Объем отвала, тыс. м ³ / The volume of the dump, thousands of cubic meters			
	<20	20-50	50-200	>200
Относительная погрешность определения объемов	8	5	3	2
Допустимая разность двух независимых определений объемов	12	8	4	8

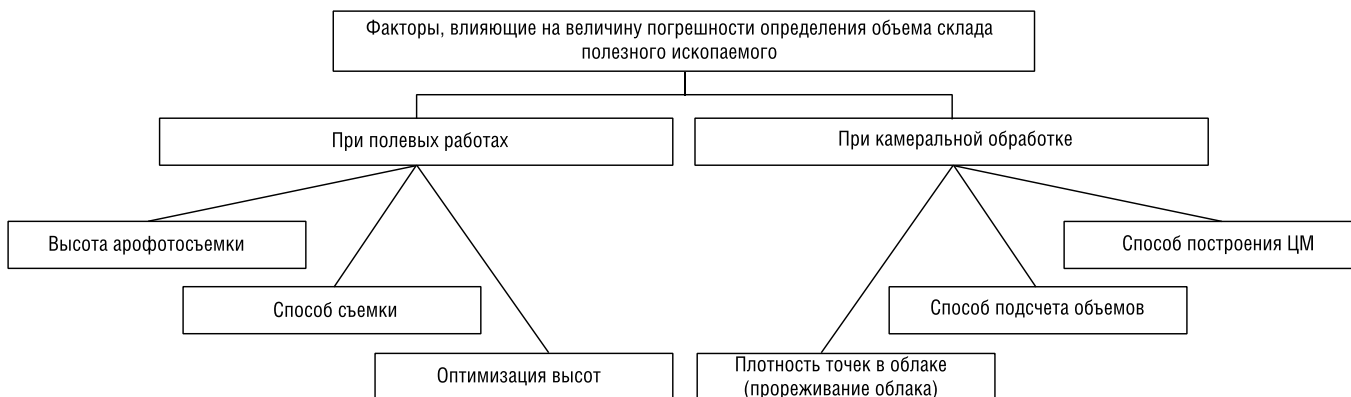


Рис. 1. Факторы, оказывающие влияние на погрешность определения объемов складов полезных ископаемых

Fig. 1. Factors influencing the error in determining the volume of mineral deposits

Очевидно, что погрешность определения величины объема склада будет зависеть от точности выполнения съемок объекта и определения объема по результатам выполненных съемок. При выполнении маркшейдерских съемок горнотехнических объектов при помощи аэрофотосъемки БПЛА и подсчете их объема необходимо выделить следующие факторы, оказывающие непосредственно влияние на точность полученных результатов, они представлены на рисунке 1.

По каждому представленному фактору выполнена аэрофотосъемка складов при помощи БПЛА DJI Phantom 4 pro v.2 с изменением параметров исследуемого фактора от полета к полету. Обработка результатов аэрофотосъемки выполнялась в программном комплексе Agisoft Metashape по одному и тому же алгоритму и с неизменными настройками. По полученному облаку точек выполнялся подсчет объема полезного ископаемого на снимаемом складе в программном комплексе «Кредо Генплан».

Факторы, оказывающие влияние на погрешность определения объемов складов полезных ископаемых

Рассмотрим подробно данные факторы.

Высота аэрофотосъемки (высота фотографирования)

Один из основных параметров аэрофотосъемки, от которого совместно с параметрами аэрофотокамеры зависит пространственное разрешение аэрофотоснимков – соотношение единицы растрового изображения с его линейным размером на земной поверхности GSD (Ground Sample Distance) и среднеквадратическая погрешность съемки рельефа m_H . [15, 16].

$$GSD = (S_w \times H \times 100) / (f \times N_x), \quad (1)$$

где GSD – размер пикселя на земле, см/пиксел; S_w – ширина сенсора камеры, мм; H – высота съемки, м; f – фокусное расстояние, мм; N_x – ширина кадра снимка, пиксел.

$$m_H = \sqrt{\frac{3 \times H^2 \times q^2}{N_x^2 (1 - \frac{P_x}{100})}} + 0,5 \times m_{Hs}, \quad (2)$$

где m_H – СКП съемки рельефа, м; H – высота съемки, м; q – СКП измерения координат на цифровом фотоснимке, пиксел (0,33); N_x – ширина кадра снимка, пиксел; P_x – продольное перекрытие, %; m_{Hs} – СКП определения высоты центра проекции аэрофотоснимка, м.

Для БПЛА DJI Phantom 4 pro v.2 выполнен расчет пространственного разрешения фотоснимков GSD и погрешности съемки рельефа m_H , результаты представлены на рисунке 2.

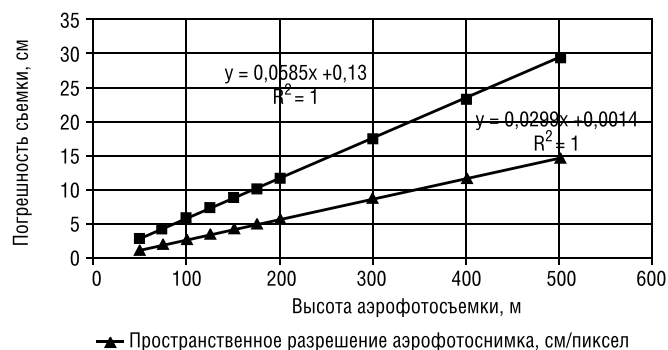


Рис. 2. Зависимость пространственного разрешения фотоснимка и погрешности съемки рельефа от высоты аэрофотосъемки

Fig. 2. The correlation of the spatial resolution of the photograph and the accuracy of the relief survey on the height of the aerial photography

Анализируя формулу 2, можно отметить, что из регулируемых в процессе полета факторов на СКП съемки рельефа оказывает влияние не только высота съемки H , но и продольное перекрытие снимков P_x .

Влияние высоты аэрофотосъемки при разных значениях продольного перекрытия на погрешность съемки рельефа m_H представлена на рисунке 3.

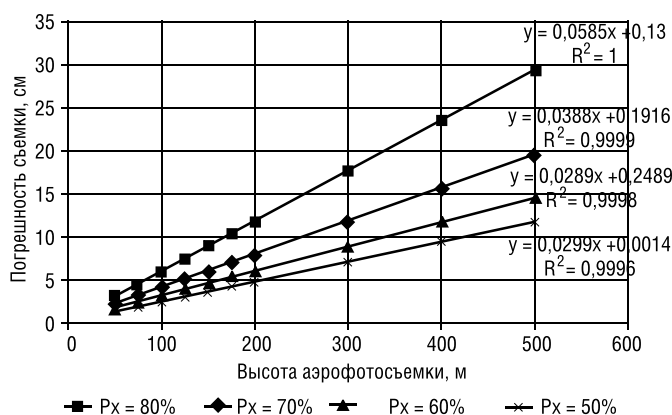


Рис. 3. Зависимость погрешности съемки рельефа от высоты аэрофотосъемки при разных значениях продольного перекрытия

Fig. 3. The correlation of the error of the relief survey with the height of aerial photography at different values of the longitudinal overlap

Способ съемки

Существуют различные способы аэрофотосъемки, очевидно, что каждый из них оказывает некоторое влияние на точность определения объема. Выделены факторы, оказывающие существенное влияние на результаты съемки, и предложена классификация способов съемки, которая представлена на рисунке 4.

Влияние способа аэрофотосъемки в зависимости от положения оптической оси камеры рассмотрено на примере эстакадного усреднительного склада с параметрами: $L = 98$ м, $B = 50$ м, $H = 16$ м, $V = 33\,638$ м³. Аэрофотосъемка склада вы-



Рис. 4. Способы аэрофотосъемки

Fig. 4. Aerial photography methods

полнена тремя способами: плановой, перспективной и комбинированной. Результаты подсчета объема склада по указанным способам представлены в таблице 2. На рисунке 5 представлены вертикальные сечения цифровой модели склада, построенные по результатам аэрофотосъемки, выполненной разными способами, отображающими полноту и достоверность построения цифровых моделей склада по результатам съемок. Сечение цифровой модели склада (ЦМС), представленное на рисунке 5в, отражает фактическое положение поверхности склада.

Таблица 2 / Table 2

Результаты определения объема эстакадного усреднительного склада

The results of determining the volume of the flyover warehouse

Способ аэрофотосъемки / Aerial photography method	Количество фотоснимков, шт. / Number of images, pcs	Объем склада, м ³ / The volume of the mineral storage, m ³	Погрешность определения объема, % / The error in determining the volume
Плановая (а)	92	33 230	1,6
Перспективная (б)	282	33 776	
Комбинированная (в)	314	33 638	1,2

Оптимизация высот

Зачастую поверхность склада имеет сложную форму техногенного рельефа со значительными перепадами высот на небольших участках. В таком случае необходимо применять оптимизацию измерения высот одним из следующих способов.

Способы оптимизации измерения высот:

1. Выполнение двух аэрофотосъемок склада при разных высотах полета БПЛА с совместной обработкой полученных данных.
2. Заложение дополнительных опознавательных знаков в местах резкого перепада высот [15].
3. Выполнение контрольных перспективных снимков объекта в процессе плановой аэрофотосъемки с дальнейшей

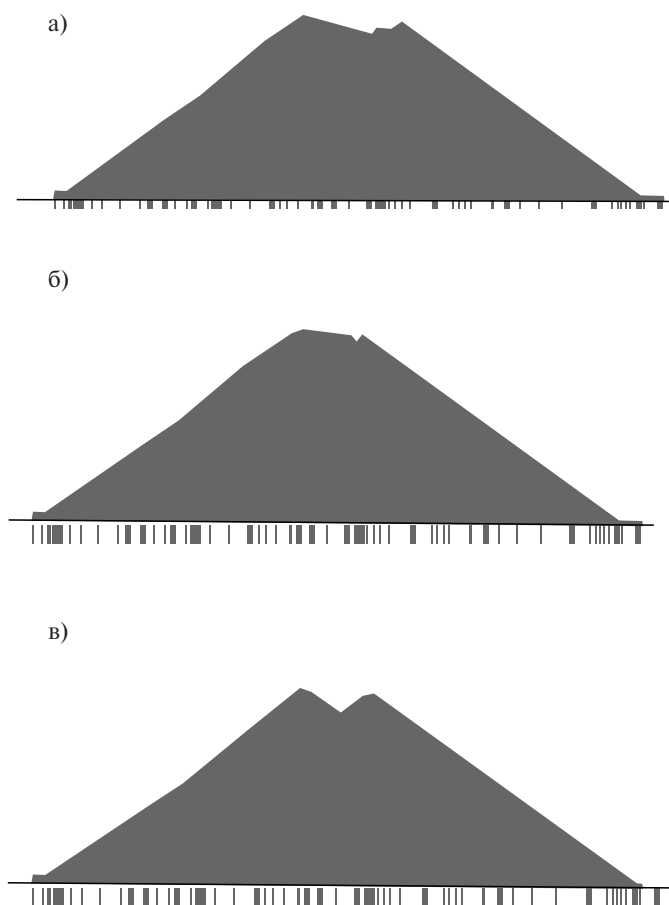


Рис. 5. Вертикальные сечения моделей склада, построенные по результатам аэрофотосъемки

Fig. 5. Vertical sections of warehouse models based on the results of aerial photography

совместной обработкой плановых и перспективных фотоснимков.

Первый способ оптимизации измерения высот заключается в выполнении двух независимых плановых аэрофотосъемок склада на разных высотах полета БПЛА. При этом количество снимков увеличивается практически вдвое, что приводит к увеличению количества избыточных данных для фототриангуляции при построении цифровой модели склада и, соответственно, повышению точности построения модели по высоте. Данный способ выполняется непосредственно на этапах планирования полета (создание полетных заданий) и выполнения аэрофотосъемочных работ. На этапе

планирования выполняется создание двух полетных заданий с идентичными характеристиками полета за исключением высоты выполнения съемки, высота устанавливается различной.

Второй способ оптимизации заключается в заложении и координировании дополнительных опознавательных знаков в местах резкого перепада высот. Так, при съемке складов опознавательный знак необходимо закладывать на верхней площадке склада. При выполнении фототриангуляции и построении ЦМС они являются дополнительными точками для внешнего ориентирования модели и корректировки модели по высоте. Данный способ выполняется на этапе полевых работ перед аэрофотосъемочными работами.

Третий способ заключается в выполнении серии перспективных фотоснимков при полете БПЛА к центру участка аэрофотосъемки после завершения маршрута плановой съемки. Данный способ реализуется в автоматическом режиме и предусмотрен приложениями для выполнения аэрофотосъемок DJI GS RTK, DJI Pilot. Также данная функция реализована в приложении для планирования и выполнения аэрофотосъемок DroneDeploy с небольшим отличием от вышеперечисленных приложений: перспективная съемка участка аэрофотосъемки выполняется не при полете БПЛА к центру участка, а при облете участка по периметру с ориентированием объектива камеры в направлении к центру участка.

Влияние оптимизации измерения высоты на погрешность определения объема склада полезного ископаемого рассмотрено на примере накопительного склада отвального типа

Таблица 3 / Table 3

Результаты определения объема накопительного склада отвального типа

The results of determining the volume of a dump-type accumulative warehouse

Способ аэрофотосъемки / Aerial photography method	Объем склада, м ³ / The volume of the mineral storage, m ³	Погрешность определения объема, % / The error in determining the volume
Без оптимизации измерения высот	14 805	15,3
С оптимизацией при помощи опознавательного знака	17 485	

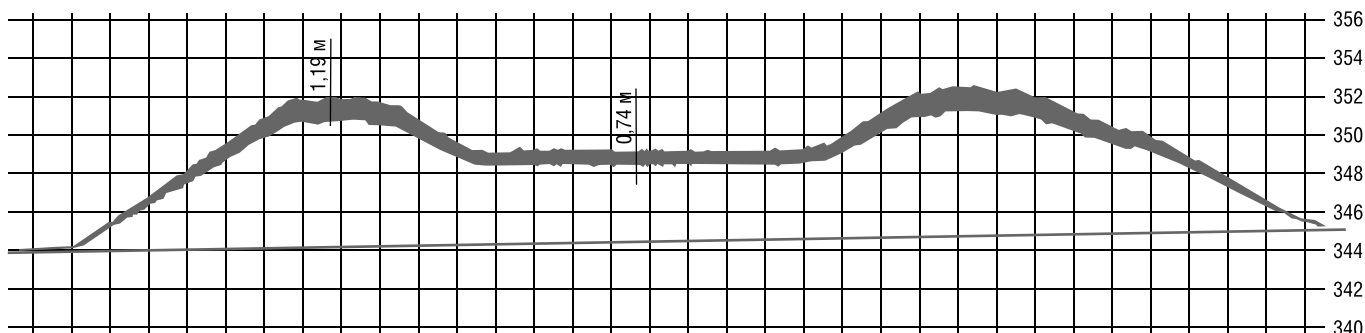


Рис. 6. Вертикальные сечения моделей склада, построенные по результатам аэрофотосъемки с оптимизацией измерения высот и без оптимизации

Fig. 6. Vertical sections of warehouse models based on the results of aerial photography with and without optimization of height measurement

с параметрами: $L = 77$ м, $B = 65$ м, $H = 6$ м, $V = 17\,485$ м³. Результаты определения объема склада с оптимизацией измерения высот при помощи опознавательного знака и без оптимизации представлены в таблице 3. На рисунке 6 представлено положение поверхности склада, полученное по результатам аэрофотосъемки с оптимизацией измерения высот и без нее.

Плотность точек в облаке (прореживание облака)

При использовании аэрофотограмметрического метода съемки с помощью БПЛА значительно увеличиваются объемы получаемой информации и детальность цифровых моделей снимаемых объектов. Обработка результатов маркшейдерских съемок и построение цифровых моделей объектов требуют значительных временных затрат и вычислительных мощностей.

Для установления величины необходимой и достаточной детальности маркшейдерских съемок на погрешность определения объемов складов выполнены подсчеты объема накопительного склада отвального типа с параметрами: $L = 77$ м, $B = 65$ м, $H = 6$ м, $V = 18\,287$ м³ в зависимости от степени прореживания исходного облака точек. Цифровая модель склада представлена на рисунке 7, результаты определения объема склада в зависимости от плотности точек в облаке представлены в таблице 4 и на рисунке 8.

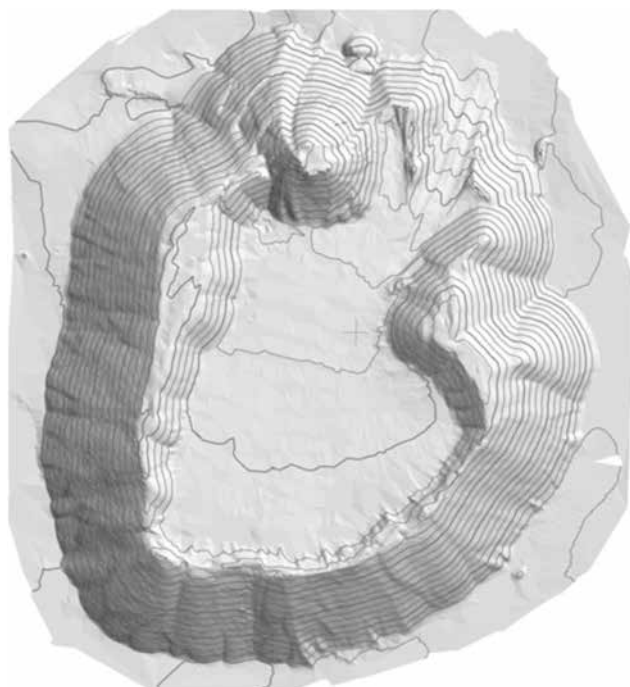


Рис. 7. Цифровая модель накопительного склада отвального типа
Fig. 7. Digital model of a dump-type accumulative warehouse

С целью удобства представления результатов определения объема введены следующие обозначения параметров: V – объем склада, м³; m_V – погрешность определения объема, %; N – количество точек, шт.; h – высота сечения рельефа, м.

Анализируя зависимость на рисунке 8, можно отметить, что прореживание ЦММ с шагом до 5 м не оказывает существенного влияния на величину погрешности определения объема. Дальнейшее увеличение шага прореживания приводит к резкому увеличению погрешности. Учитывая, что в [13]

рекомендована допустимая погрешность определения объема склада в 2 %, рекомендуем ограничить прореживание ЦММ при подсчете объемов шагом в 5 м.

Таблица 4 / Table 4

Результаты определения объема склада в зависимости от плотности точек в облаке

The results of determining the warehouse volume depending on the density of points in the cloud

Шаг прореживания точек в облаке, м / Step of thinning of points in the cloud, m	Результат подсчета объемов склада, м ³ / Results of calculating warehouse volumes, m ³	$V_{м^3}/m_V\%$ N
Исходное облако точек	18 287 м ³ / 0,00 % 12 964 019	
0,2 м	18 220 м ³ / 0,37 % 101 329	
0,5 м	18 219 м ³ / 0,37 % 17 023	
1,0 м	18 210 м ³ / 0,42 % 4 229	
2,0 м	18 157 м ³ / 0,71 % 1 189	
5,0 м	17 918 м ³ / 2,10 % 216	
10,0 м	16 257 м ³ / 11,10 % 57	
15,0 м	15 959 м ³ / 12,47 % 29	



Рис. 8. Зависимость погрешности определения объема склада от плотности точек в облаке

Fig. 8. The relationship of the error in determining the warehouse volume on the density of points in the cloud

Способ построения цифровой модели склада

Построение достоверных цифровых моделей возможно не только по облаку точек, но и по структурным линиям (верхним и нижним бровкам отвалов), изолиниям высот и другими способами. Для выявления зависимости погрешности определения объема одного и того же склада от способа построения его цифровой модели были рассмотрены способы создания цифровых моделей накопительного склада отвального типа, представленного на рисунке 7, с параметра-

**Результаты подсчета объема склада в зависимости от способа
построения его цифровой модели**
The results of calculating the warehouse volume depending on the method of constructing its digital model

Шаг прореживания точек в облаке, м / Step of thinning of points in the cloud, m	Результат подсчета объема склада при различных способах построения цифровой модели склада / Results of calculating the warehouse volume with different methods of building a digital warehouse model			
	по облаку точек / on a point cloud, $\frac{V / m_v}{N}$	по структурным линиям / on structural lines, V / mv	по структурным линиям и облаку точек / on structural lines and point cloud, $\frac{V / m_v}{N}$	по изолиниям высот / on elevation isolines, $\frac{V / m_v}{h}$
Исходное облако точек / Original point cloud	$\frac{18\,287\text{ м}^3}{12\,964\,019}$ / 0,00 %	17 836 м ³ / 2,5%		$\frac{18\,231\text{ м}^3}{0,1\text{ м}}$ / 0,30 %
0,2 м	$\frac{18\,220\text{ м}^3}{101\,329}$ / 0,37 %			$\frac{18\,240\text{ м}^3}{0,2\text{ м}}$ / 0,25 %
0,5 м	$\frac{18\,219\text{ м}^3}{17\,023}$ / 0,37 %			$\frac{18\,280\text{ м}^3}{0,5\text{ м}}$ / 0,03 %
1,0 м	$\frac{18\,210\text{ м}^3}{4\,229}$ / 0,42 %			$\frac{18\,638\text{ м}^3}{1,0\text{ м}}$ / 1,92 %
2,0 м	$\frac{18\,157\text{ м}^3}{1\,189}$ / 0,71 %		$\frac{18\,179\text{ м}^3}{1\,189}$ / 0,59 %	$\frac{18\,618\text{ м}^3}{2,0\text{ м}}$ / 1,80 %
5,0 м	$\frac{17\,918\text{ м}^3}{216}$ / 2,10 %		$\frac{18\,021\text{ м}^3}{216}$ / 1,45 %	
10,0 м	$\frac{16\,257\text{ м}^3}{57}$ / 11,10%		$\frac{17\,840\text{ м}^3}{57}$ / 2,44 %	
15,0 м	$\frac{15\,959\text{ м}^3}{29}$ / 12,47%		$\frac{17\,775\text{ м}^3}{29}$ / 2,96 %	

ми: $L = 77$ м, $B = 65$ м, $H = 6$ м, $V = 18\,287$ м³ по облаку точек, структурным линиям, структурным линиям и облаку точек, изолиниям высот и вычислены их объемы. Результаты представлены в таблице 5.

Выводы

В статье выявлены основные факторы, оказывающие влияние на погрешность определения объемов складов, предложена классификация способов аэрофотосъемки.

Необходимая и достаточная величина погрешности определения объема склада согласно [13, 14] обеспечивается при выполнении следующих условий:

1. С увеличением высоты полета уменьшается точность определения пространственных координат, ее устанавливать необходимо по величине GSD и величине погрешности

съемки рельефа совместно с величиной продольного перекрытия снимков.

2. В зависимости от сложности формы склада и однородности его поверхности рекомендуем выполнять плановую съемку для складов простой формы, но с обязательной оптимизацией высот, для складов сложной формы – перспективную или комбинированную.

3. Обеспечение требуемой точности возможно при следующих способах построения ЦМС:

- ✦ по облаку точек, прореженному с шагом через 5 м;
- ✦ по структурным линиям;
- ✦ по структурным линиям совместно с прореженным облаком точек до 7,5 м;
- ✦ по изолиниям высот. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Съемка складов полезных ископаемых аэрофотограмметрическим способом при помощи БПЛА / Ю. Д. Маврин, Н. В. Литвиненко, Е. А. Романько, С. О. Картунова // Маркшейдерия и недропользование. - 2020. - № 4 (108). - С. 51-53.
2. Поспехов, Г. Б. Обоснование методологии мониторинга состояния объектов складирования отходов углеобогажительных предприятий / Г. Б. Поспехов, В. Н. Кондакова, Н. А. Кутепова // Маркшейдерия и недропользование. - 2022. - № 5 (121). - С. 59-63.
3. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. - М.: ЦНИИГАиК, 2004. - 48 с.
4. Добрянский, И. А. Проблемы маркшейдерского обеспечения открытых горных работ при использовании беспилотного летательного аппарата / И. А. Добрянский // Маркшейдерский вестник. - 2022. - № 3 (148). - С. 28-32.
5. Волинский, С. Е. Внедрение беспилотных технологий на Стойленском ГОКе / С. Е. Волинский, Э. Г. Абатуров // Горный журнал. - 2021. - № 6. - С. 15-17.

6. Курбатова, В. В. Маркшейдерский учет объемов рудных складов с применением методов ДЗЗ / В. В. Курбатова // Маркшейдерия и недропользование. - 2020. - № 5 (109). - С. 43-46.
7. Соколов, А. К. Развитие маркшейдерского обеспечения в условиях современности / А. К. Соколов, Ю. В. Жибоедов, П. А. Шамраев // Горный журнал. - 2022. - № 6. - С. 45-47.
8. Внедрение беспилотных летательных аппаратов для оперативного решения научно-производственных задач в условиях Михайловского ГОКа им. А. В. Варичева / Р. И. Исмагилов, А. Г. Захаров, Б. П. Бадтиев [и др.] // Горная промышленность. - 2020. - № 3. - С. 26-30.
9. Параметрическая сходимость результатов съемки беспилотных воздушных аппаратов Геоскан 40 и GNSS при выполнении маркшейдерских работ на месторождении "Наталка" Магаданской области / В. В. Курбатова, Н. Е. Ломакина, И. Ю. Гарифулина [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. - 2023. - № 2 (124). - С. 76-80.
10. Волошина, Е. А. Обоснование применения беспилотных летательных аппаратов для определения объема складов полезного ископаемого / Е. А. Волошина, С. Ю. Новоженин, С. К. Келексаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2023. - № 11-1. - С. 305-321.
11. Блищенко, А. А. Оценка точности измерения складов на горных объектах с помощью беспилотной технологии / А. А. Блищенко, А. К. Лобынцев, А. К. Сухов // Маркшейдерский вестник. - 2020. - № 4 (137). - С. 23-27.
12. Гусев, В. Н. Исследование комплекса факторов, оказывающих влияние на погрешность реализации маркшейдерской съемки горных объектов с применением геодезического квадрокоптера / В. Н. Гусев, А. А. Блищенко, А. П. Санникова // Записки Горного института. - 2022. - Т. 254. - С. 173-179.
13. Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности: Приказ Ростехнадзора от 19.05.2023 №186 [Электронный ресурс]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1301713025> (режим доступа: 08.05.2024).
14. Инструкция по маркшейдерскому учету объемов горных пород при добыче полезных ископаемых открытым способом (РД 07-604-03): серия 07, выпуск 13. - М.: ФГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. - 24 с.
15. Методические рекомендации по производству аэрофототопографических работ с использованием беспилотных летательных аппаратов при изысканиях в целях строительства и реконструкции автомобильных дорог. ОДМ 218.9.017.-2019 [Электронный ресурс]. - URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293728/4293728465.htm> (режим доступа: 14.05.2024).
16. ГОСТ Р 59328-2021. Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования. - М.: Стандартинформ, 2021. - 49 с.

REFERENCES

1. Mavrin YuD, Litvinenko NV, Romanko EA, et al. Survey of mineral deposits by aerial photogrammetric method using UAV. *Surveying and subsoil use*. 2020;4(108):51-3 (In Russ.).
2. Pospheov GB, Kondakova VN, Kutepova NA. Justification of the methodology for monitoring of the state of coal processing waste storage facilities. *Mine surveying and subsoil use*. 2022;5(121):59-63 (In Russ.).
3. Instruction on photogrammetric works for creation of digital topographic maps and plans. GKINP (GNTA)-02-036-02. Moscow, 2004. (In Russ.)
4. Dobryansky IA. Problems of mine surveying support for open-pit mining using an unmanned aerial vehicle. *Mine Surveying Bulletin*. 2022;3(148):28-32 (In Russ.).
5. Volynsky SE, Abaturon EG. Introduction of unmanned technologies at Stoilensky Mining and Processing Plant. *Mining Journal*. 2021;6:15-7 (In Russ.).
6. Kurbatova V. V. Geological survey records of ore deposits volumes with use of earth remote sensing (ERS) methods. *Mine surveying and subsurface use*. 2020;5(109):43-6 (In Russ.).
7. Sokolov AK, Zhiboedov YuV, Shamraev PA. Development of surveyor support in the conditions of modernity. *Mining Journal*. 2022;6:45-7 (In Russ.).
8. Ismagilov RI, Zakharov AG, Badtiev BP, et al. Introduction of unmanned aerial vehicles for operative solution of scientific and production tasks in conditions of A.V. Varichev Mikhailovsky GOK. *Mining Industry*. 2020;3:26-30 (In Russ.).
9. Kurbatova VV, Lomakina NE, Garifulina IYu. Parametric convergence of the survey results of Geoscan 40 and GNSS unmanned aerial vehicles during surveying operations at the Natalka field in the Magadan region. *Mine surveying and subsurface use*. 2023;2(124):76-80 (In Russ.).
10. Voloshina EA, Novozhenin SYu, Kelekhsaev SK. Substantiation of use of unmanned aerial vehicles in volume evaluation of mineral storages. *MIAB*. 2023;11(1):305-21 (In Russ.).
11. Blishchenko AA, Lobyntsev AK, Sukhov AK. Evaluation of the accuracy of measuring volume of warehouse in mining objects using unmanned technology. *Mine surveying bulletin*. 2020;4(137):23-7 (In Russ.).
12. Gusev VN, Blishchenko AA, Sannikova AP. Investigation of a complex of factors influencing the error in the implementation of surveying of mining objects using a geodetic quadcopter. *Journal of Mining Institute*. 2022;254:173-9 (In Russ.).
13. Rostekhnadzor Order No. 186 dated 19.05.2023 «On Approval of the Rules for Surveying Activities». Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1301713025> (In Russ.).
14. Instruction on surveyor's accounting of rock volumes in open pit mining (RD 07-604-03). Ser. 07. Issue. 13. Moscow, 2004 (In Russ.).
15. Methodological Recommendations on the production of aerial photopographic works using unmanned aerial vehicles during surveys for the construction and reconstruction of highways. ODM 218.9.017.-2019. Moscow, 2019 (In Russ.).
16. GOST R 59328-2021 «Topographic aerial photography. Technical requirements». Moscow, 2021 (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Литвиненко Николай Валерьевич:

старший преподаватель,
кафедра геологии, маркшейдерского дела и обогащения
полезных ископаемых,
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Магнитогорский
государственный технический университет им. Г. И. Носова»,
г. Магнитогорск, Россия,
e-mail: n.litvinenko@magtu.ru,
ORCID ID 0000-0003-0819-4367

Романько Елена Александровна:

кандидат технических наук,
доцент,
кафедра геологии, маркшейдерского дела и обогащения
полезных ископаемых.
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Магнитогорский
государственный технический университет им. Г. И. Носова»,
г. Магнитогорск, Россия,
e-mail: romanko_h@mail.ru,
ORCID ID 0000-0001-6030-1954

Гавришев Сергей Евгеньевич:

профессор,
доктор технических наук,
кафедра разработки месторождений полезных ископаемых.
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Магнитогорский
государственный технический университет им. Г. И. Носова»,
г. Магнитогорск, Россия,
e-mail: ormpi-cg@mail.ru,
ORCID ID 0000-0001-8594-8463

Маврин Юрий Дмитриевич:

ведущий специалист,
маркшейдерско-геодезическая служба,
ООО «Магнитогорская маркшейдерско-геодезическая
компания»,
г. Магнитогорск, Россия,
e-mail: mavrinyurii@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Litvinenko Nikolaj Valerievich:

Senior Lecturer,
Department of Geology, surveying and mineral processing,
Nosov Magnitogorsk State Technical University,
Magnitogorsk, Russia,
e-mail: n.litvinenko@magtu.ru,
ORCID ID 0000-0003-0819-4367

Romanko Helen Aleksandrovna:

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Department of Geology, surveying and mineral processing,
Nosov Magnitogorsk State Technical University,
Magnitogorsk, Russia,
e-mail: romanko_h@mail.ru,
ORCID ID 0000-0001-6030-1954

Gavrishev Sergei Evgenievich:

Doctor of Technical Sciences,
Professor,
Head of Department of Mineral Deposit Development,
Nosov Magnitogorsk State Technical University,
Magnitogorsk, Russia,
e-mail: ormpi-cg@mail.ru,
ORCID ID 0000-0001-8594-8463

Mavrin Yuriy Dmitrievich:

leading specialist,
surveyor-geodesic service,
LLC «Magnitogorsk surveyor-geodesic company»,
Magnitogorsk, Russia,
e-mail: mavrinyurii@mail.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.