

**В.В. Котенко, к.т.н., доц.
М.С. Куницька, ст. викладач**
Державний університет «Житомирська політехніка»

Обґрунтування доцільності визначення обсягів гірничої маси на основі мультикоптерної зйомки

Підрахунок об'єму виконаних гірничих робіт на гірничодобувних підприємствах є однією з важливих сторін маркшейдерсько-геологічної служби.

Стаття присвячена дослідженню доцільності застосування визначення обсягів гірничої маси на основі мультикоптерної зйомки, адже застосування сучасних приладів і програмного забезпечення дозволяє в автоматизованому режимі виконувати поставлені задачі, роботи з проектування і планування гірничого виробництва виконувати з більшою точністю та з меншими затратами часу і ресурсів.

У роботі розглянуто способи геодезичних зйомок та можливість використання квадрокоптерів для спостереження за процесом видобування корисної копалини на відкритих гірничих роботах, і для моніторингу правильності виконання всіх технологічних процесів. Зйомка відвалу виконувалася на підприємстві двома способами: тахеометричною зйомкою та за допомогою квадрокоптера Phantom 2.

У результаті дослідження на основі застосування інформаційно-комп'ютерних технологій були одержані поліноміальні залежності, що характеризують залежність між похибками просторової орієнтації зльоту та часу квадрокоптера та залежності кута його обертання навколо вертикальної осі залежно від часу.

Розроблено методику визначення доцільності використання мультикоптерів у визначених умовах з застосуванням інформаційно-комп'ютерних технологій. На основі досліджень обґрунтовано доцільність використання квадрокоптерів на родовищі, шляхом порівняння традиційного методу для оцінки обсягів запасів способом тахеометричної зйомки.

Ключові слова: аерофотозйомка; моделювання; запаси корисних копалин; тахеометрична зйомка.

Актуальність теми. Використання аерофотозйомки є досить актуальною темою в теперішній, адже таку методику можна використати для контролю та аудиту видобутої та за складованої корисної копалини. Однак такий метод може застосовуватись і в інших сферах для визначення об'єму та ваги будь-якої сипучої сировини та продукції. Особливо в випадку невеликих за розмірів підприємств постає питання про використання БПЛА, з них перспективнішими для Житомирської області є мультикоптери. Отже, актуальність цієї теми є очевидною [1].

Коптери використовуються в гірничодобувній галузі в основному в процесах видобутку корисних копалин відкритим способом, де вони приходять на зміну трудомістким способам інспектування, складання оглядових карт ділянок робіт і геологічної зйомки. Використовувати БПЛА можна для спостереження за процесом видобування корисної копалини на відкритих гірничих роботах, і для моніторингу правильності виконання всіх технологічних процесів. За допомогою коптерів власники гірничих підприємств можуть стежити за раннім виникненням небезпеки і своєчасне реагування на неї. Також користуючись цифровими моделями підприємств, які створені при застосуванні коптерів можна наглядно побачити небезпечні зони і завчасно підвищити безпеку, тим самим уникнути кризових ситуацій [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У теперішній час на гірничих підприємствах для вирішення задач використовуються широко БПЛА [3–6].

У наукових працях запропоновано поділ більшості задач, які розв'язуються за допомогою аерокосмічних методів, на три рівні глобальний, регіональний, локальний. Наголошується, що сьогодні саме безпілотні літальні апарати широко використовуються для аерознімання, оскільки є недорогою альтернативою традиційному зніманню з літаків, гелікоптерів, мотодельтапланів та супутників [7]. Аналіз зарубіжних джерел S. Sigari, A. Gandomi та P. Gaiardelli, G. Pezzotta показує, що передові міжнародні гірничодобувні підприємства отримують максимальну користь від процесів цифровізації технології виробництва, що дозволяє підвищити конкурентоспроможність продукції і довгострокового безперервного виробництва [8, 9].

Метою роботи є оцінка точність визначення об'єгів гірничих робіт на основі мультикоптерної зйомки.

Викладення основного матеріалу. Проаналізувавши підходи щодо зйомки подробиць на гірничому підприємстві можна розробити наступну класифікацію способів геодезичних зйомок подробиць. Основні способи геодезичних зйомок наведені на рисунку 1.



Рис. 1. Способи геодезичних зйомок

Зйомки, які використовуються для визначення об'єму виконаних гірничих робіт, або для обліку втрат і розубожіння, повинні виконуватися найбільш точно. Помилки в цих підрахунках неприпустимі, оскільки можуть призвести до великих матеріальних збитків як підприємству, так і працівникам кар'єру. Враховуючи викладене, маркшейдер кар'єру повинен не лише визначити об'єм виконаних гірничих робіт, але і оцінити похибку підрахованих їм значень. Для підвищення точності, використовувати мультикоптери, які на теперішній час приходять на зміну трудомістким процесам.

Перший досліджуваний режим роботи, що виконався – зліт квадрокоптера на задану оператором висоту. За графіком перехідного процесу можна сказати, що відпрацювання завдання квадрокоптера займає більше 5 секунд. Це обумовлено тягою, що розвивається двигунами.

Було встановлено залежності між похибками просторової орієнтації зльоту та часу

$y = -0,029x^2 + 0,316x - 0,291$ та побудовано графік перехідного процесу, що зображено на рисунку 2.

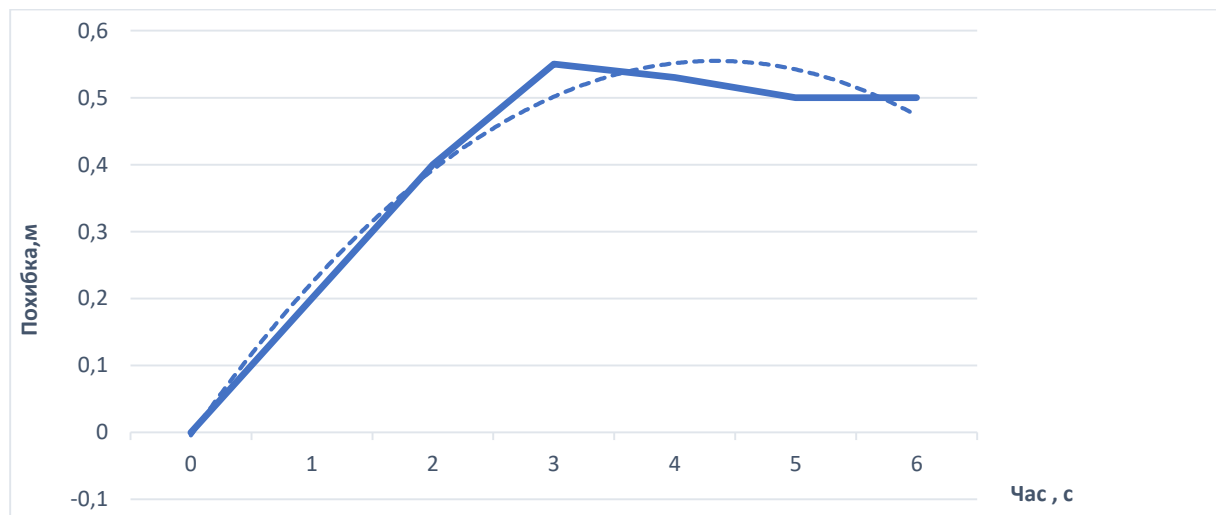


Рис. 2. Графік визначення похибки мультикоптера під час зльоту

Щодо обертання квадрокоптера навколо вертикальної осі $y = -3,904x^2 + 39,66x - 32,85$. Це чітко зображено на рисунку 3.

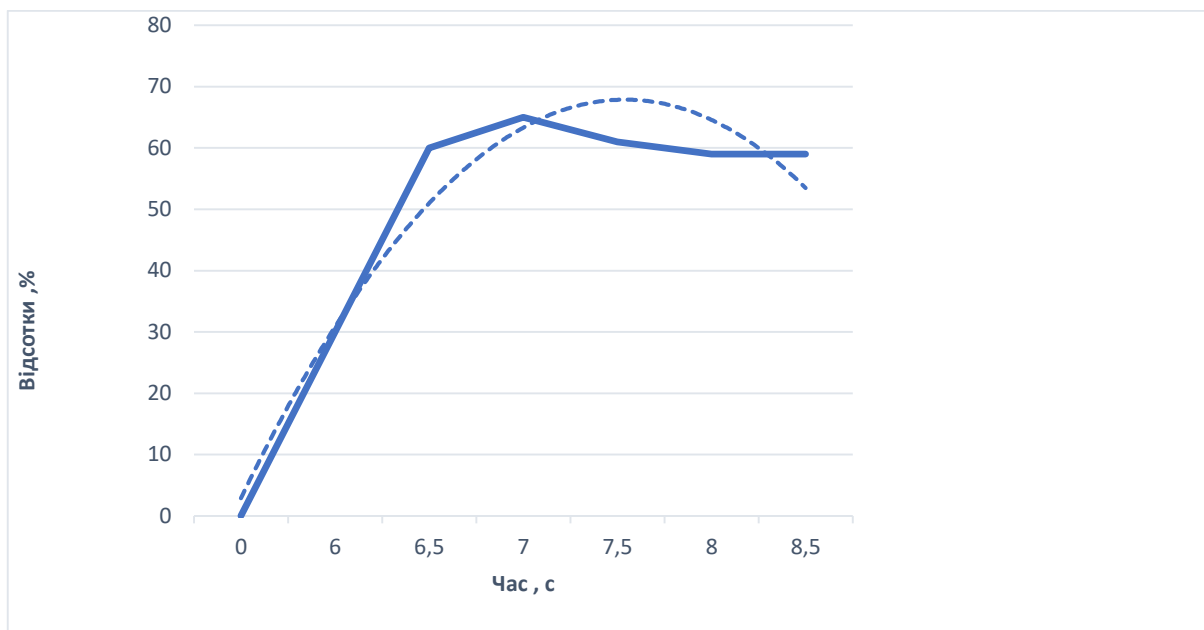


Рис. 3. Графік обертання квадрокоптера навколо вертикальної осі

Для проведення дослідження на Коростенському родовищі гранітів було проведено тахеометричну зйомку.

Перевагою тахеометричної зйомки є можливість виконання польових робіт у найкоротші терміни. Вимірювання виконуються автоматизовано, максимально усуваючи людський фактор. Дані вимірювань записуються та зберігаються в цифровій формі і придатні для автоматичного опрацювання в спеціальних програмних продуктах. Паралель виконання польових і камеральних робіт підвищує продуктивність тахеометричного методу вимірювань. До недоліків можна зарахувати те, що в процесі складання плану в камеральних умовах виключається можливість його порівняння з місцевістю, що може призвести до пропусків окремих об'єктів знімання та перекручень у зображенні рельєфу місцевості. Ще одним недоліком є велика вартість приладу та супутніх матеріалів і програмного забезпечення [10].

У роботі виконано визначення обсягу порід розміщених у відвалі при використанні способів тахеометричної зйомки та БПЛА. Результати обрахунків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця підрахунку обсягів запасів

Спосіб	Фактичні показники, м ³	Оперативний облік, м ³	Різниця, м ³	Відхилення, %
БПЛА	233023902,0	233638,985	213,5	0,9
Тахеометрична зйомка	233024075,3		264	1,5

Висновки: У результаті дослідження було проведено порівняння традиційного методу для оцінки обсягів запасів способом тахеометричної зйомки та зйомки за допомогою безпілотників на Коростенському родовищі гранітів. Результати порівнювали з фактичним обсягом матеріалу, який був отриманий на підприємстві, де здійснювався збір даних. Після порівняння результатів було встановлено, що різниця між обсягом, обчисленим за даними та фактичним обсягом, становить 0,9 %, а різниця між обсягом, обчисленим за даними тахеометричної зйомки та фактичним обсягом 1,5 %, обсяг даних з БПЛА дає точнішу інформацію. Також встановлено залежності, між похибкою просторової орієнтації зльоту та часу квадрокоптера, одержано поліноміальну залежність між кутом обертання квадрокоптера навколо вертикальної осі залежно від часу.

Список використаної літератури:

1. Куницька М.С. Використання аерофотозйомки в гірничій галузі / М.С. Куницька, А.О. Криворучко : Тези VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів», 16–17 квітня 2020 року. – Житомир : Житомирська політехніка, 2020. – С. 23–25.
2. Барановський А.Ю. Використання коптерів на гірничих підприємствах / А.Ю. Барановський; Р.В. Соболевський : Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки 10–12 травня 2017 року. – Житомир : «Житомирська політехніка», 2020. С. 199–200.
3. Долгих О.В. Використання БПЛА для удосконалення методики контролю за станом лінійних споруд / О.В. Долгих, Л.В. Долгих, С.А. Баязіна, Ю.І. Майборода : Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства». – Кривий Ріг : КНУ, 2018. – С. 97.
4. Долгих О.В. Про доцільність використання сучасних літальних апаратів для зйомок кар'єрів / О.В. Долгих, Л.В. Долгих, Л.Г. Іванович, І.В. Овсейчик : Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства». – Кривий Ріг : КНУ, 2019. – С. 65.
5. Carvajal F. Surveying a landslide in a road embankment using unmanned aerial vehicle photogrammetry / F. Carvajal, F. Agüera, M. Pérez // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2011. – № XXXVIII-1/C22. – pp. 201–206.
6. Коломієць С.М. Геодезичні роботи з використанням БПЛА : зб. наук. праці / С.М. Коломієць // Досягнення і перспективи науки, освіти та виробництва: 2020. – 2020. – С. 49.
7. Станкевич С.А. Застосування сучасних технологій аерокосмічного знімання в аграрній сфері / С.А. Станкевич, А.В. Васько : матеріали наук.-практ. конференції // Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій. – 2011. С. 44–50.
8. Sigari S. Analyzing the past, improving the future: a multiscale opinion tracking model for optimizing business performance / S. Sigari, A.H. Gandomi. – Humanit Soc Sci Commun, 2022. – № 9. – 341 с.
9. Gaiardelli P. Product-service systems evolution in the era of Industry / P. Gaiardelli, G. Pezzotta, A. Rondini // Serv Bus. – 2021. – № 15. – 177–207 p.
10. Черняга П.Г. Геодезія: інтеракт. комплекс / П.Г. Черняга, О.П. Дмитрів, Я.А. Стаків. – Рівне : НУВГП, 2009. – С. 296.

References:

1. Kuniytska, M.S. & Kryvoruchko, A.O. (2020), *Vykorystannia aerofotoziomky v hirnychii haluzi*, Tezy VII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh «Perspektyvy rozvytku hirnychoi spravy ta ratsionalnoho vykorystannia pryrodnykh resursiv», Zhytomyr, pp. 23–25.
2. Baranovskyi, A.Yu. & Sobolevsky, R.V. (2020), *Vykorystannia kopteriv na hirnychikh pidpriemstvakh*, Tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi on-line konferentsii aspirantiv, molodykh uchenykh ta studentiv, prysviachenoi Dniu nauky 10–12 travnia 2017 roku, Zhytomyr, pp. 199–200.
3. Dolgikh, O.V., Dolgikh, L.V., Balyazina, S.A. & Maiboroda, Yu.I. (2018), *Vykorystannia BPLA dlia udoskonalennia metodyky kontroliu za stanom liniinykh sporud*, Materialy mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Rozvytok promyslovosti ta suspilstva», Kryvyi Rih: KNU, 97 p.
4. Dolgikh, O.V., Dolgikh, L.V., Ivanovych, L.G. & Ovseichyk, I.V. (2019), *Pro dotsilnist vykorystannia suchasnykh litalnykh aparativ dlia ziomok karieriv*, Materialy mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Rozvytok promyslovosti ta suspilstva», Kryvyi Rih: KNU, 65 p.
5. Carvajal, F. (2011), *Surveying a landslide in a road embankment using unmanned aerial vehicle photogrammetry*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, № XXXVIII-1/C22, pp. 201–206.
6. Kolomiets, S.M. (2020), *Heodezychni roboty z vykorystanniam BPLA*, Dosiahnennia i perspektyvy nauky, osvity ta vyrobnytstva: 2020, 49 p.
7. Stankevich, S.A. & Vasko, A.V. (2011), *Zastosuvannia suchasnykh tekhnolohii aerokosmichnoho znimannia v ahraryi sferi*, «Naukovi aspekty heodezii, zemleustroi ta informatsiinykh tekhnolohii», pp. 44–50.
8. Sigari, S. & Gandomi, A.H. (2022), *Analyzing the past, improving the future: a multiscale opinion tracking model for optimizing business performance*, Humanit Soc Sci Commun, No. 9, 341 p.
9. Gaiardelli, P., Pezzotta, G. & Rondini, A. (2021), *Product-service systems evolution in the era of Industry*, Serv Bus, No. 15, pp. 177–207.
10. Chernyaga, P.G., Dmytriv, O.P. & Stakhiv, Ya.A. (2009), *Heodeziia: interakt. kompleks*, Rivne: NUVHP, 2009, 296 p.

Котенко Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0001-8764-1692>.

Наукові інтереси:

- відкрита розробка родовищ корисних копалин;
- геометризація родовищ корисних копалин.

Куницька Марина Сергіївна – старший викладач кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-2649-0939>.

Наукові інтереси:

- геодезія;
- маркшейдерська справа;
- фотограмметрія.

Kotenko V.V., Knytska M.S.

Justification of the expediency of determining the volume of mining mass based on multicopter shooting

Calculation of the volume of completed mining works at mining enterprises is one of the important aspects of surveying and geological service.

The article is devoted to the study of the feasibility of using the determination of the volume of mining mass based on multicopter surveying, because the use of modern devices and software allows performing tasks in an automated mode, carrying out design and planning of mining production with greater accuracy and with less time and resources.

The paper examines methods of geodetic surveys and the possibility of using quadcopters to monitor the process of mineral extraction in open-pit mining operations, and to monitor the correctness of all technological processes. Dump surveying was performed at the enterprise in two ways: tacheometric surveying and using a Phantom 2 quadcopter.

As a result of research based on the application of information and computer technologies, polynomial dependences were obtained, characterizing the dependence between the errors of the spatial orientation of the take-off and the time of the quadcopter and the dependence of the angle of its rotation around the vertical axis depending on time.

A methodology for determining the expediency of using multicopters in certain conditions with the use of information and computer technologies has been developed. Feasibility is substantiated on the basis of research the use of quadcopters in the field, by comparing the traditional method for estimating the volume of reserves by the method of tacheometric surveying.

Keywords: aerial photography; modeling; mineral reserves; tacheometric surveying.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2023.