

9. Frank R. Some aspects of soil-structure interaction according to Eurocode 7 «Geotechnical design» // Engenharia Civil. – Vol. 25, 2006. – PP. 5–16.
10. Tomlinson, M. J., Boorman R. Foundation design and construction. – Edinburgh: Prentice Hall, 2001. – 583 p.
11. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення – К.: Мінрегіонбуд, 2017. – 35 с.
12. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. – К.: Мінрегіонбуд, 2018. – 40 с.
13. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд, 2019. – 42 с.
14. Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на замедленнопросадочных грунтах I и II типа по просадочности / А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, Л.А. Анисимов, Е.В. Щекочихина, А.Ф. Алексеев // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2015. – № 41 (60). – С. 14–23.
15. Проблемы строительства и эксплуатации зданий на лессовых грунтах Северного Причерноморья / А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, С.В. Кузнецова, И.Ю. Кузьменко, Е.В. Щекочихина, С.А. Чарыкова // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2016. – № 44-2. – С31-39.
16. Соколов Н.А. Проблема лессов// Соросовский образовательный журнал. – 1996. – №9. – С. 86–93.
17. Lavrusevich A.A., Lavrusevich S.A., Gorshkova O.G. Technogenesis and behavior of the loessial rocks // In book: Proceedings of International Scientific Conf. – Vladivostok: Dalnauka, 2009. – P. 130–131.
18. Пантюшина Е.В. Лессовые грунты и инженерные методы устранения их просадочных свойств// Ползуновский вестник. – 2011. – №1. – С. 127–130.

Рукопис подано до редакції 09.05.2023

УДК 622.1:528.02

О. В. ДОЛГІХ, канд. техн. наук, доц., О. А. КРЕМЕР, аспірант
Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ БПЛА ТА GPS В МАРКШЕЙДЕРСЬКІЙ СПРАВІ

Мета. Метою роботи є дослідження питання доцільності використання GPS-обладнання та безпілотних літальних апаратів (БПЛА) при виконанні знімальних робіт на промислових майданчиках та інших об'єктах гірничодобувних підприємств, що дозволяє вирішувати нагальні задачі маркшейдерського забезпечення гірничих робіт.

Методи дослідження. Поставлені завдання та мета для дослідження, зумовили використання нових підходів та методів виконання маркшейдерських вимірів та обчислень з необхідною точністю. Методи дослідження засновані на аналізі матеріалів, отриманих з різних наукових літературних джерел: наукових робіт іноземних та вітчизняних вчених, опублікованих у журналах та збірниках; інформації з Інтернету; офіційної нормативної бази, що регламентує проведення польових та камеральних робіт.

Наукова новизна. За результатами аналізу сучасних методів виконання знімальних робіт за допомогою безпілотних літальних апаратів та GPS та порівняння їх з традиційними методами виконання таких задач, обґрунтовано вибір найбільш доцільних та ефективних методів виконання маркшейдерських знімальних робіт з подальшим опрацюванням отриманих даних, використовуючи для цього спеціальне програмне забезпечення.

Практична значимість виконаних досліджень спрямована для задоволення потреб маркшейдерських відділів гірничодобувних підприємств Криворізького басейну, для удосконалення практики виконання знімальних робіт на різних гірничодобувних об'єктах: хвостосховищах, кар'єрах, відвалах, проммайданчиках підприємств відкритої та підземної розробки родовищ корисних копалин. Досліджені сучасні методи знімання за допомогою БПЛА та GPS, мають суттєву перевагу порівняно з традиційними за рядом характеристик. Вони не поступаються за точністю, виконуються у короткий термін часу та потребують значно меншої кількості задіяних працівників маркшейдерського відділу.

Результати. У роботі розглянуто точність, яку дають традиційні та досліджені сучасні методи виконання маркшейдерських знімальних робіт, також результати опрацювання даних зйомок, отримані шляхом опрацювання їх у різному програмному забезпеченні. Досліджено результати впровадження сучасних методів на гірничодобувних підприємствах України та зарубіжжя.

Ключові слова: маркшейдерія, БПЛА та GPS, програмне забезпечення, 3D моделі.

Проблема та її зв'язок з науковим і практичним завданням. Оскільки маркшейдерські роботи переплітаються з багатьма галузями – мають багатофункціональне призначення, то є необхідність у забезпеченні якісного та одночасно швидкого обслуговування [4,6]. За останні роки впровадження GPS-обладнання та БПЛА для виконання маркшейдерських робіт – створення опорної маркшейдерсько-геодезичної мережі, виконання детальних зйомок гірничих об'єктів (котлованів на хвостосховищах, проммайданчиків шахт, екскаваторних вибоїв тощо) –

набуло широкого спектру використання за рахунок високої точності та короткий проміжок часу виконання. Завдяки системам позиціонування в реальному часі, є можливість створювати автоматизовані системи, які включатимуть в себе систему розмічування сітки свердловин, керування вантажообігу підприємства та планування поверхні, контролювання процесу зсувів та деформацій [11].

Аналіз досліджень та публікацій. Методи знімання за допомогою GPS та БПЛА підвищують ефективність маркшейдерського забезпечення [5]. Про можливість використання даного маркшейдерського приладдя відображено у роботах В. М. Глотова, А. В. Гуніна, С. І. Скубієва та інших [2,3,8]. Всі маркшейдерські роботи повинні бути виконанні згідно правил [10], що дозволяє контролювати проведення будь-якого виду гірничих робіт з певними для цього допусками виконання.

У роботах В. М. Глотова та А. В. Гуніна розглянуто перспективи застосування БПЛА для аерофотознімання та його переваги над традиційними методами знімання. Основними такими перевагами є виконання зйомок з невеликих висот і конкретно поряд з об'єктом, внаслідок чого знімки отримуються з високою роздільною здатністю, зі зменшенням ризику для життя та здоров'я працівника під час знімання у важкодоступних місцях. Під час вибору БПЛА для виконання маркшейдерських знімальних робіт слід проаналізувати параметри та конструкцію самого інструменту, вбудованої камери та ділянки, на якій необхідно виконати зйомку.

У виконаній науково-оглядовій роботі В. М. Глотова, А.В. Гуніної, В.Б. Колесніченка, О.В. Прохорчука, М.І. Юрківа «Розробка та дослідження БПЛА для аерознімання» було проведено дослід з виконання зйомки з декількох різних типів безпілотників, але більшість з них, під час проведення дослідів мала такі недоліки: не повне покриття отриманих знімків; значна різномасштабність знімків; кути нахилу, які не задовольняють умови виконання такого типу робіт; незадовільна швидкість руху носія.

Про використання досвіду застосування GPS-обладнання на відкритих гірничих роботах наведено у науковій праці Г. А. Корецької, П. І. Кузнецова, Д. А. Васил'єва [7]. В даній публікації наведено основні проблеми, які можливо усунути за допомогою використання GPS: створення та перевірка маркшейдерсько-геодезичних мереж; моніторинг за станом транспортних мереж. Але найбільша увага приділяється моніторингу зсуву (так як це може спричинити екологічну небезпеку), зніманню будівель та складів гірничої породи, проектуванню та проведенню буро-вибухових робіт. В роботі наводяться результати застосування GPS на вугільному родовищі. Маркшейдерський відділ даного підприємства забезпечений GPS-приймачами фірми «Leica Geosystems AG» моделі GS15. Даний тип моделі має вбудовані знімні пристрої зв'язку зі змінними SIM-картами для роботи як із бази, так і з проміжною станцією в режимі RTK.

Зарубіжні науковці спрямовують свою діяльність на можливість поєднання GPS та BDS для моніторингу осідання точок різних об'єктів, не тільки для гірничої промисловості [11]. З кожним роком все більше уваги приділяється питанням щодо автоматизації маркшейдерського забезпечення гірничих робіт. Принципи створення методики роботи з геоінформаційними моделями, були розроблені шляхом проведення багатьох досліджень для різних умов залягання. Ряд досліджень вказують на проблеми, які можуть виникнути під час знімання та експлуатації гірничодобувних підприємств.

Також значна увага приділена програмному забезпеченню, яке використовується для подальшої обробки результатів даних зйомки. Аналіз та порівняння програм Agisoft PhotoScan, Pix4d, Trimble INPHO, TrimbleUASMaster, ENVI OneButton, Reality Capture наведено у роботі авторів А. А. Тихонова та Д. Ж. Акматова [9]. Більшість програм можуть опрацьовувати дані, отримані інструментами різних виробників геодезичного обладнання, та обмінюватися між собою (експорт форматів). Програми для вирішення маркшейдерських задач значно спрощують роботу виконавця, але потрібно велику увагу приділяти даним, які завантажуються, так як можлива невідповідність висотної позначки дійсної, розворот в плані всієї хмари точок.

Постановка задачі. На сьогоднішній час існує багато приладів різних виробників з різними характеристиками для маркшейдерсько-геодезичних робіт на гірничодобувних підприємствах, що дає змогу проаналізувати їх відносно виконання робіт традиційними методами, та вибрати більш доцільні для їх виконання.

Викладення матеріалу та результати. На сьогоднішній час значно збільшилась кількість маркшейдерсько-геодезичного обладнання для виконання робіт. Багато фірм з виробництва

маркшейдерського приладдя доволі часто випускають нові модифікації з вищою точністю, з простотою в експлуатації, але не завжди є можливість використати їх при виконання робіт за певних умов розташування гірничих об'єктів.

При виконанні маркшейдерських зйомок, все більший попит на користування становить сучасне обладнання, таке як GPS та БПЛА, так як виконання зйомок за допомогою електронних тахеометрів на хвостосховищах, кар'єрах, проммайданчиках шахт не дає можливості завжди зняти все необхідне з однієї точки, так як один об'єкт може перекривати інший, і для цього необхідно змінити станцію стояння. Для цього необхідно знову визначити координати мінімум з 3-х точок, що займає доволі багато часу, так як опорні точки можуть бути далеко одна від одної. Таких станцій стояння для виконання певної зйомки може бути багато, що не доцільно з огляду продуктивності роботи, так як в даний період на гірничодобувних підприємствах, маркшейдерський відділ має значно меншу кількість штатних одиниць, порівняно з попереднім десятиліттям, а кількість поставлених задач іноді навіть і більша, і потребує швидкого вирішення та результату у вигляді графічної документації.

Використання GPS-обладнання дозволяє оновлювати та створювати опорні і знімальні маркшейдерські мережі, без участі підрядних організацій, що є економічно вигідним для гірничодобувних підприємств [1]. Такі роботи виконуються часто, так як гірничі роботи, з часом, мають вплив на стан опорних та знімальних мереж, що часто спричиняє масове відкачування підземних вод депресійних вирв, в середині яких відбувається осідання та інші деформації товщі гірських порід, деформація масиву бортів кар'єру внаслідок відпрацювання окремих блоків. На хвостосховищах та відвалах, на пункти маркшейдерських мереж впливає тиск від складованої гірської маси, яка спричиняє як ущільнення дамб, так і піднімання на самих нижніх позначках. За результатами таких досліджень на рудних та вугільних родовищах, розроблені способи виявлення пунктів, на які не впливають гірничі роботи та ті, які все ж таки змінюють своє положення в плані та у висотних позначках. За рахунок впровадження розглянутого методу, очікується оптимізація витрат на закладання нових пунктів опорних і знімальних мереж, використовуючи для зрівнювання виявлені стабільні чи умовно стабільні вже існуючі пункти.

Одним із важливих напрямків застосування GPS на гірничодобувних підприємствах, є спостереження за зсувами та деформаціями поверхні, на якій розташовані об'єкти, які необхідно контролювати з метою запобігання виникненню екологічної небезпеки та передчасної появи зсувів та виходу вирв на поверхню. Постійно повинні виконуватися спостереження за станом денної поверхні та спорудами, розташованими на ній, а також із розрахованою періодичністю. При цьому, виконання зйомок теодолітами та нівелірами зазнає певного ускладнення, так як необхідно визначити координати певної кількості точок, відстані між реперами та висотні позначки, що складає значний об'єм польових та камеральних робіт, і це значно зменшує продуктивність та збільшує час на виконання маркшейдерським відділом даної роботи. На сьогоднішній час, спостереження ведуться у тривимірній системі координат. Наукові роботи вітчизняних та закордонних дослідників у сфері маркшейдерсько-геодезичного забезпечення гірничих робіт, присвячені також способам спостереження в режимі реального часу, та з відображенням різними кольорами на плані місця відповідно з більшими та меншими величинами осідання. Це дозволяє відразу виявити ділянки можливого зсуву та виконати ряд заходів щодо уникнення негативних наслідків.

Методи супутникової геодезії дозволяють виконувати зйомки, за результатами яких можна отримати повний вектор зміщення реперів, а не тільки зміщення у напрямках профільних ліній на кар'єрах та відвалах, та вивчити процес деформації земної поверхні, спричинений техногенними процесами більшою за площею територією. Нажаль GPS-обладнання не може бути впроваджене та використовуватися в підземних гірничих виробках. Для хвостосховищ, кар'єрів, відвалів, проммайданчиків цей метод економічно вигідний.

Для маркшейдерських робіт аерознімання на сьогодні є рентабельним, так як є можливість виконувати моніторинг великих ділянок. Факторами, через які застосування БПЛА на гірничих підприємствах набуло широкого використання, стало: знімання з невеликої висоти та в режимі стеження; простота при запуску (відсутність спеціальної смуги для злету та посадки); можливість стежити за об'єктом не тільки з повітря, а й знімати його з різних ракурсів з землі; можливість створення ортофотоплану (рис. 1а) та повної 3D-моделі об'єкту (рис. 1б); плавне і стабільне переміщення фотокамери. Недоліком використання БПЛА, на сьогоднішній час, є нетри-

валий час виконання самого процесу знімання (польоту), так як потребує перезарядки або заміни батареї.

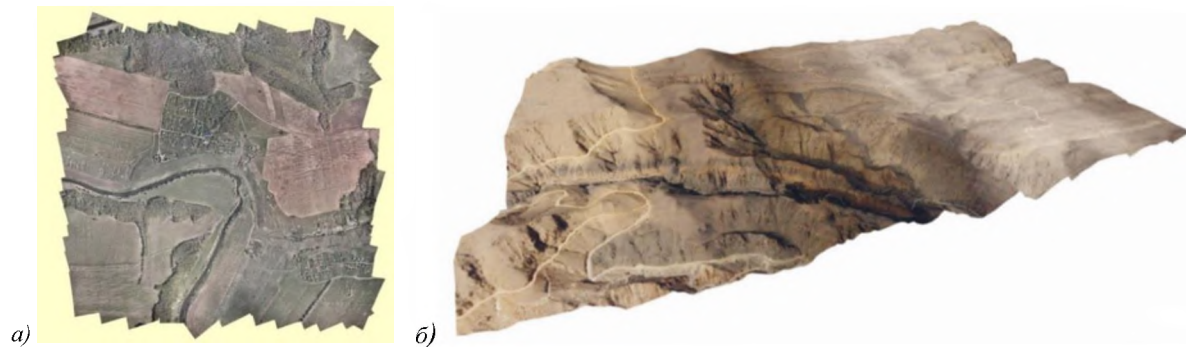


Рис. 1. Дані отримані зі знімання БПЛА : *а* – ортофотоплан; *б* – 3D модель об'єкта за даними зйомки з БПЛА «GateWing X100»

Для виконання маркшейдерської зйомки, БПЛА повинен бути оснащений камерою, спеціальною системою керування з землі та GPS-прив'язку для можливості прив'язки отриманих даних до місцевості. Вибір камери напряму залежить від точності отримання даних в подальшому. Чим менша фокусна відстань тим більше спотворення зображення. Коефіцієнт спотворення зображення на краях є більшим, що при підрахунку об'єму гірської маси впливає на точність, викликає помилки, але, згідно з вимогами відповідних інструкцій та настанов, вони не повинні перевищувати норм допустимих похибок [10].

На сьогодні існує безліч програм для обробки даних, отриманих під час маркшейдерських замірів. Майже всі вони мають автоматичне внесення польових даних у програму для подальшої обробки, та можливість створення 3D-моделі, що дозволяє досліджувати створену модель з усіх сторін. Деякі програми дозволяють експортувати файли з одного формату в інший. Кожна програма для опрацювання даних, отриманих з польових робіт, має свої недоліки та переваги. Початком обробки отриманих результатів знімання є видалення непотрібних кадрів (низької якості), а також введення даних про положення об'єкту. Після цього виконується вирівнювання фотографії і створюється хмара точок за якою будується об'ємна модель знятої ділянки.

В Кривбасі була виконана зйомка ділянки місцевості за допомогою БПЛА Ebee SENSEFLY, на якому було встановлено GPS-приймач, який за допомогою бортового комп'ютера записував координати. Під час виконання зйомки було отримано 844 знімків з висоти 203 м за допомогою камери senseFly Aeria X (18.5mm). Дозвіл камери 6000x4000. Перекриття знімків даної території було гіршим на краях, ніж в центрі. Дисторсія проявилась більшою мірою на краях знімків.

На сьогодні, виконати калібрування камери можна за допомогою такого програмного забезпечення як: Agisoft Metashape, Photomod, 3DF Zephyr, PhotoModeler Premium та інших [5]. Камера senseFly Aeria X (18.5mm) дає можливість отримати знімки високої якості з чітким фотозображенням, не залежно від освітлення. Елементи камер, які важливі для отримання необхідних даних при виконанні маркшейдерського заміру, постійно удосконалюються, що дозволяє підвищити якість результатів вирішення задач, за рахунок їх покращення. Цими елементами є: кількість пікселів та розмір матриці, схема об'єктива тощо. Знімки отримуються у форматі DNG, але кінцевим результатом для подальшої обробки є формат JPEG. Дані опрацьовувалися в програмі Agisoft Metashape. На сьогодні, навіть камери мобільних телефонів набули перспектив при виконанні зйомок. Такі дослідження виконувалися і у Криворізькому національному університеті.

Ділянка земної поверхні, для якої виконувалося зйомка, не була одноманітною по висоті, були значні перевищення, що дає можливість зробити висновок про можливість застосовувати такий вид зйомки на кар'єрах Кривбасу. Для хвостосховищ необхідно удосконалити методику зйомки, враховуючи пласкі поверхні води. На хвостосховищах маркшейдерською службою виконуються роботи з визначення контурів води, регулярного замиву карт (секцій), забезпечення нарощування дамб, здійснення контролю за станом стійкості тіла і основи хвостосховища для унеможливлення екологічної небезпеки. Маркшейдерські роботи, виконані з використанням традиційних зйомок, значно поступаються за ефективністю тим, що виконуються з викори-

станням сучасних приладів та технологій. Ефективність полягає у зменшенні часу на виконання робіт та кількості задіяного персоналу, також у можливості виконувати зйомки важкодоступних ділянок, якими є чаші карт, де йде налив.

Висновки та напрям подальших досліджень. Виконаний аналіз сучасного приладдя, доводить можливість використання його при маркшейдерсько-геодезичних зйомках, з метою підвищення продуктивності праці на шламосховищах, кар'єрах, проммайданчиках гірничодобувних підприємств. Основною метою подальших досліджень є вибір та розробка ефективного методу виконання зйомки для забезпечення робіт на хвостосховищах.

Список літератури

1. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 1. Монография. ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.
2. Глотов В. М., Гуніна А. В. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, 2014. – вип. II(28).
3. Глотов В. М., Гуніна А. В., Колесніченко О. В., Прохорчук О. В., Юрків М. І. Розробка та дослідження БПЛА для аерознімання. Національний університет «Львівська політехніка» – 10 с.
4. Долгих Л. В., Діхтяр С. В., Томашевська А. О. Використання методів цифрової фотограмметрії в умовах підземних гірничих виробок. Вісник Криворізького національного університету, 2021. – вип. 52, – С. 85- 89.
5. Долгих О.В. Вибір типу знімальної камери для маркшейдерського забезпечення гірничовидобувних підприємств. Вісник Криворізького національного університету, 2022. – вип. 54, С. – 63-69.
6. Карпінський Ю. О., А. А. Лященко, М. В. Горковчук. Концептуальні засади оцінювання та забезпечення якості геопросторових даних. Вісник геодезії та картографії, 2012. – вип. 4. – С. 33-42.
7. Корецька Г. А., Кузнецов П. І., Васил'єв Д. А. Опыт применения GPS-технологий на открытых горных работах. VIII міжнародна науково-практична конференція «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ИННОВАЦИИ В НАУКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ», 2019. С. 121
8. Скубієв С.І., Использование беспилотных летательных аппаратов для целей картографии. Тезиси X Ювілейної міжнародної науково-технічної конференції «От снимка к карте: цифровые фотограмметрические технологии». Гаета, Італія. – 2010.
9. Тихонов А. А., Акматов Д. Ж. Обзор программ для обработки данных аэрофотосъемки. Гірничий інформаційно-аналітичний бюлетень, 2018. – вип. 12. С. 192–198.
10. Правила виконання маркшейдерських робіт під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин [Електронний ресурс] – Наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України 31 березня 2021 року № 669. Режим доступу - <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0884-21#Text>
11. International mining – October, 2018. – P. 26-29.

Рукопис подано до редакції 24.04.2023

УДК 624.131:624.15

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук., проф., Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук, ст. викладач,
Т.М. СЛИНЬКО, С.А. ГЛУХАНЬКО, О.О. БЕРЕЗКА, Р.В. БОРАК, магістранти
Криворізький національний університет

МЕТОД ОЦІНКИ СТАНУ БАГАТОШАРОВИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мета. Встановлення закономірностей зміни паропрохідності різних матеріалів від їхньої вологості та розроблення на цій основі методу оцінки вологісного стану багатошарових огороджувальних конструкцій.

Методи дослідження. В якості теоретичної бази для дослідження використано фундаментальні закони нерівноважної термодинаміки (закон ентропії, лінійні закони Фур'є та Фіка) і результати відомих наукових досліджень з розрахунку вологісного стану огороджувальних конструкцій.

Наукова новизна. Для випробування у роботі матеріалів встановлено, що при збільшенні відносної вологості повітря в порах матеріалів від 20 до 80 % коефіцієнт паропрохідності зростає в 1,5-2,5 рази; отримано емпіричні рівняння цієї залежності. Розроблено метод визначення коефіцієнта паропрохідності матеріалів у складі багатошарових зовнішніх стін, який ґрунтується на математичному методі простих ітерацій і полягає в послідовному перерахунку коефіцієнтів паропрохідності матеріалів за значеннями відносної вологості повітря у відповідних матеріальних шарах зовнішніх стін до встановлення збіжності із заданою похибкою.

Практична значимість. Розроблено метод оцінювання вологісного стану зовнішніх стін з урахуванням коефіцієнтів паропрохідності матеріальних шарів, що змінюються протягом року, що дає змогу визначати параметри вологості зовнішніх стін на стадії їхнього проектування.