

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-11-87-3>

УДК 528.4

Серант О.В., Кубрак О.Д., Ярема Н.П.,

Батура М.В., Рачок В.І.

Національний університет «Львівська політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ РОЗРОБКИ ВІДКРИТИХ РОДОВИЩ РУДНИХ КОПАЛИН

Анотація. Створення геодезичних мереж для відкритих родовищ має свої особливості на відміну від створення звичайних геодезичних мереж. Маркшейдерські мережі опорних пунктів груп кар'єрів і окремих кар'єрів, розміщених в розвинених гірничопромислових регіонах, а також в прилеглих до міст великих промислових, гідротехнічних і сільськогосподарських будовах, розвиваються на основі існуючих мереж пунктів триангуляції вищих класів. При відсутності пунктів триангуляції вищих класів опорні мережі відкритих розробок створюються самостійними. В роботі ведеться дослідження геодезичного моніторингу в гірничій справі, особливо на родовищах, які розробляються відкритим способом. Конструкція опорних геодезичних мереж цілком залежить від форми кар'єра і системи його розкриття. Відповідно до його форми вибирають метод створення планової геодезичної основи. Здебільшого опорну мережу створюють для подальшого згущення та створення знімальної мережі. Проаналізувавши методи створення просторової опорної мережі для відкритих родовищ, підсумували, що класичні методи створення планово-висотної геодезичної мережі на території гірничого підприємства є трудомісткі, довготривалі та економічно не вигідні. Метод GNSS є найкращим для створення подібних мереж на теперішній час. Звісно, він не може замінити повноцінно всі методи через вплив різних обмежень, наприклад, перешкоди, відсутність зв'язку, несприятливі погодні умови. Тому, зважаючи на переваги і недоліки проаналізованих у статті методів створення просторових мереж на відкритих родовищах, автори вважають доцільним поєднання методу GNSS з полігонометрією, оскільки застосування тільки супутникового методу вимірювань є недоцільним, але в поєднанні з полігонометрією територію гірничих робіт можливо забезпечити опорною та знімальною планово-висотними мережами для виконання геодезичних робіт. Таке комбінування значно скорочує час вимірів, є менш трудомістким, економічно вигідним та відповідає вимогам точності створення відповідних мереж. Апробацію комбінування методів для створення просторової геодезичної мережі для моніторингу відкритого родовища проводили на Вільногірському гірничо-металургійному комбінаті.

Ключові слова: родовища рудних копалин, планово-висотні геодезичні мережі, супутникові методи, GNSS виміри, полігонометрія, маркшейдер.

Serant Oksana, Kubrak Olena, Yarema Nataliia,

Batura Maksym, Rachok Vadym

Lviv Polytechnic National University

PECULIARITIES OF CONSTRUCTION OF GEODESIC NETWORK FOR DEVELOPMENT OF OPEN MINERAL DEPOSITS

Summary. The creation of geodetic networks for open deposits has its own characteristics, in contrast to the creation of conventional geodetic networks. Surveying networks of support points for groups of quarries and individual quarries located in developed mining regions, as well as in large industrial, hydraulic and agricultural structures adjacent to cities, are being developed on the basis of existing networks of higher-class triangulation points. In the absence of higher-class triangulation points, open source support networks are created independently. The study of geodetic monitoring in mining, especially in deposits that are developed in an open way. The design of geodetic reference networks depends entirely on the shape of the quarry and the system of its opening. According to its form, choose the method of creating a planned geodetic basis. For the most part, a backbone network is created to further condense and create a film network. After analyzing the methods of creating a spatial reference network for open deposits, we concluded that the classical methods of creating a planned-height geodetic network on the territory of the mining enterprise are time-consuming, long-term and economically unprofitable. The GNSS method is the best for creating such networks at present. Of course, it cannot fully replace all methods due to various constraints, such as interference, lack of communication, and adverse weather conditions. Therefore, given the advantages and disadvantages of the methods analyzed in the article to create spatial networks in open fields, the authors consider it appropriate to combine the GNSS method with polygonometry, as the use of only satellite measurement method is impractical, but in combination with polygonometry -altitude networks for geodetic works. This combination significantly reduces measurement time, is less time-consuming, cost-effective and meets the accuracy requirements of the relevant networks. Approbation of the combination of methods for the creation of a spatial geodetic network for monitoring the open field was carried out at the Vilnohirsk mining and metallurgical plant.

Keywords: ore deposits, planned-height geodetic networks, satellite methods, GNSS measurements, polygonometry, surveyor.

Постановка проблеми. Геодезична мережа в гірничій справі – сукупність геодезичних пунктів, які слугують основою для виконання всіх маркшейдерських, геологічних, геодезичних і то-

пографічних робіт, що проводяться для забезпечення діяльності гірничого підприємства [1; 4; 5].

Геодезична мережа розподіляється на класи і її побудова відбувається від мереж вищого класу до

нижчого. Вона включає в себе планову і висотну мережі. Планова мережа створюється методами триангуляції, трилатерації, полігонометрії та їх поєднання. Висотна мережа створюється методом геометричного нівелювання. Із розвитком сучасних технологій супутникові методи дозволяють одночасно створити планову та висотну – просторову мережу.

Більшість методів, крім супутникових, є застарілими або просто економічно не вигідними через те, що займають багато часу для проведення вимірів та їх опрацювання. Проте, застосування лише GNSS вимірів також не завжди можливе. Необхідно дослідити можливість комбінування різних методів, що дозволить витратити мінімум часу, коштів та сил і буде давати необхідний результат саме для геодезичного моніторингу відкритих родовищ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз сучасних наукових публікацій і досліджень показав [3; 6], що питання створення опорних просторових мереж на особливих об'єктах типу відкритих родовищ мало висвітлене. Комбінування класичних та сучасних методів для геодезичного моніторингу відкритих родовищ є недостатньо описане і апробоване, тому дослідження у цій публікації є актуальним.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Створення геодезичних мереж для відкритих родовищ має свої особливості, на відміну від створення звичайних геодезичних мереж. Тому, є важливим дослідження та аналіз всіх методів та можливої комбінації методів створення геодезичних мереж має виключити проблеми, викликані особливостями спостережень на відкритих родовищах.

Мета статті. Метою даної роботи є: на основі аналізу класичних та сучасних методів створення планово-висотних геодезичних мереж довести доцільність комбінування різних методів, що дає можливість створити новий оптимальний метод, який забезпечуватиме всі потреби виробництва та вимоги щодо точності, враховуючи всі умови та особливості при роботах на відкритих родовищах.

В роботі поставлено такі завдання: проаналізувати класичні та сучасні методи створення планово-висотних геодезичних мереж для робіт на відкритих родовищах; шляхом комбінування різних методів, побудувати на відкритих родовищах найоптимальнішу схему створення планово-висотної геодезичної мережі, що забезпечить вимоги точності; зробити висновки.

Виклад основного матеріалу. Маркшейдерсько-геодезична мережа – сукупність маркшейдерсько-геодезичних пунктів, які слугують основою для виконання всіх маркшейдерських, геологічних, геодезичних і топографічних робіт, що проводяться для забезпечення діяльності гірничого підприємства [1; 4; 5]. Класичні методи створення планової геодезичної мережі: триангуляція, трилатерація, полігонометрія.

Маркшейдерські мережі опорних пунктів груп кар'єрів і окремих кар'єрів, розміщених в розвинених гірничопромислових регіонах, а також в прилеглих до міст великих промислових, гідротехнічних і сільськогосподарських будовах, розвиваються на основі існуючих мереж пунктів триангуляції вищих класів. При відсутності пунк-

тів триангуляції вищих класів опорні мережі відкритих розробок створюються самостійними.

У даній роботі ведеться дослідження геодезичного моніторингу в гірничій справі, особливо, на родовищах, які розробляються відкритим способом, враховуючи це, проаналізуємо кожен метод.

Конструкція опорних геодезичних мереж цілком залежить від форми кар'єра і системи його розкриття. Відповідно до його форми вибирають метод створення планової геодезичної основи.

Триангуляція – суть методу полягає у побудові на місцевості системи трикутників (рис. 1), в яких необхідно виміряти всі кути і довжини базисних сторін, інші довжини розраховуються за формулами тригонометрії. Якщо відомі координати одного з пунктів, дирекційний кут та довжина базисної сторони, розв'язавши пряму геодезичну задачу, отримаємо координати всіх інших пунктів. Для того, щоб використовувати даний метод необхідно забезпечити пряму видимість між пунктами для виміру кутів та довжин в умовах гірничої справи, таку необхідність забезпечити часто неможливо [2].

Трилатерація – подібна на триангуляцію, але вимірюються всі довжини, потім розв'язуючи трикутники – отримують горизонтальні кути, подальше обчислення координат аналогічне як в методі триангуляції. Для цього методу також необхідно забезпечити пряму видимість між пунктами для виміру довжин, забезпечення цієї умови часто є неможливим.

Полігонометрія – цей метод використовують, там де розвиток триангуляції і трилатерації економічно не вигідний через складні місцеві умови, такі як при гірничих роботах. Його суть у прокладанні на місцевості ходів і полігонів, в яких вимірюються кути та сторони (рис. 2). При відомих координатах одного з пунктів і дирекційного кута – можливо розрахувати координати всіх пунктів. Даний метод добре підходить для складних місцевих умов, але займає багато часу для того, щоб хід прокласти до місця роботи, зробити всі вимірювання та обчислення. Сучасні прилади та програмне забезпечення значно скорочують час вимірів та обчислень, проте, цього недостатньо. Недоліком методу є наявність великих перешкод, коли потрібно витратити час на їх обхід, що значно збільшує довжину ходу [2].

Отже, із розглянутих вище методів, найкраще для гірничих умов підходить полігонометрія. Але всі методи не дають одного важливого параметра, значення висоти.

Для забезпечення висотного знімання земної поверхні і виконання інших маркшейдерських завдань на території гірничого підприємства визначають абсолютні відмітки закріплених ґрунтових та стінних знаків планової маркшейдерської опорної мережі та окремих стінних і ґрунтових реперів на промисловому майданчику гірничого підприємства. З цією метою створюють нівелірні мережі III та IV класів і мережі технічного нівелювання,

Відповідно, чим складніші місцеві умови, тим довше проводять нівелювання.

Можна зробити висновок, що класичні методи створення планово-висотної геодезичної мережі на території гірничого підприємства є трудомісткі, довготривалі та економічно не вигідні.

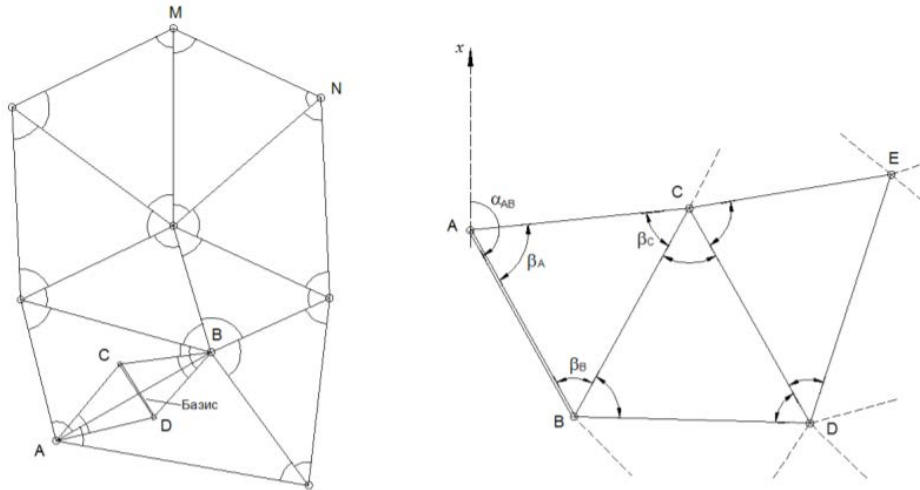


Рис. 1. Система трикутників тріангуляції

Джерело: [2]

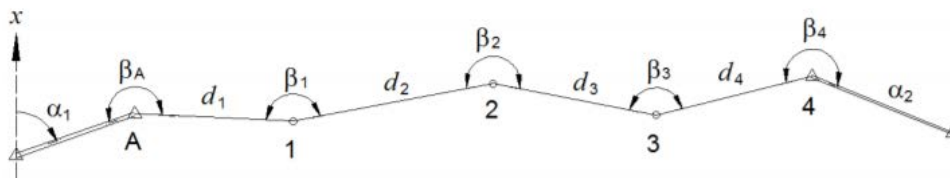


Рис. 2. Схема полігонометричного ходу

Джерело: [2]

Тому, слід розглянути та дослідити використання для створення планово-висотної мережі методу GNSS. Даний метод дозволяє визначити одночасно планове та висотне положення точки. Проте, гірничі роботи різняться щодо вимог точності. Наприклад, застосування методу RTK дозволяє отримати задовільну точність для побудови знімальної мережі, і це відразу спростовує дві задачі – побудову опорної мережі та знімальної мережі. Відповідно, один вимір на пункті за декілька секунд дає ті можливості, що іншими методами необхідно виконувати день чи два. Для більш високоточних робіт у супутникових вимірах є точніші режими, наприклад, статичні вимірювання, які виконують довше, але вони дають високу точність, і, навіть ці вимірювання займають менше часу, ніж всі класичні методи [3].

Але один метод GNSS не може замінити всі інші, оскільки має свої обмеження та особливості. Наприклад, при невеликій площі розробки родовища, але великій глибині, створюється великий кут відсічки, тому виміри не забезпечують потрібної точності. Також впливають і інші фактори: відсутність зв'язку, погані погодні умови, присутність різних перешкод. Тоді супутникові виміри можливо поєднувати з іншими методами знімання, найоптимальнішим для наших цілей є полігонометрія. Можливість об'єднання цих двох методів дає спрощену процедуру створення опорної мережі, наприклад, коли GNSS приймач не має сигналу в районі, де необхідно закласти пункт, можливо його закласти в найближчому місці та від нього прокласти полігонометричний хід. Отже, таке поєднання забезпечує необхідну точність та малі витрати часу і ресурсів.

Здебільшого, опорну мережу створюють для подальшого згущення та створення знімальної мережі. Супутниковий метод дозволяє одночасно створювати і закладати пункти опорної та знімальної планово-висотних мереж, що значно спрощує процес виконання і скорочує час роботи. Якщо, часом, неможливо закласти пункт знімальної мережі супутниковим методом, можна як і в створенні опорної мережі, прокласти полігонометричний хід до району, де є необхідні пункти.

Апробацію комбінування методів для створення просторової геодезичної мережі для моніторингу відкритого родовища проводили на Вільногірському гірничо-металургійному комбінаті в районі Малишівського родовища руд (рис. 3).

Для знімання відкритих гірничих виробок пункти планово-висотної маркшейдерської опорної мережі розташували на бортах кар'єру (розрізу) або безпосередньо біля них. Необхідну кількість пунктів визначали з урахуванням перспективи розвитку гірничих робіт, розмірів і глибини кар'єру (розрізу), можливості використання пунктів для розвитку знімальної мережі [1; 4; 5].

Знімання виконували в режимі Post Processing Kinematic (PPK) (кінематика з подальшою обробкою). При використанні одночастотного приймача, час одного вимірювання на пункті становить 25 секунд, але для підвищення точності, проводиться 5 однотипних вимірювань, які в подальшому всі опрацьовуються і безпосередньо на головному плані вже усереднюють. Поправки отримуються від власної бази, яка встановлена на пункті з відомими координатами, на відстані в 10 км від активної частини розробки кар'єру.



Рис. 3. Місцерозташування Малишівського родовища на Google Maps

Джерело: розроблено авторами

Під час спостережень використали комплект фірми Trimble, приймач Trimble, 5700. Виміри опрацювали у ПЗ Trimble Geomatics Office та Trimble Business Center.

Послідовність опрацювання GNSS-вимірів:

1. Відкриваємо TGO, створюємо новий проєкт, встановлюємо його властивості (формат,

СК і т.д.). Завантажуємо неопрацьовані GPS-виміри

2. Переглядаємо DAT-файл, переглядаємо виміри. Натискаємо ОК та отримуємо схему розміщення пунктів

3. Зберігаємо все та закриваємо програму. Після чого відкриваємо Trimble Business Center

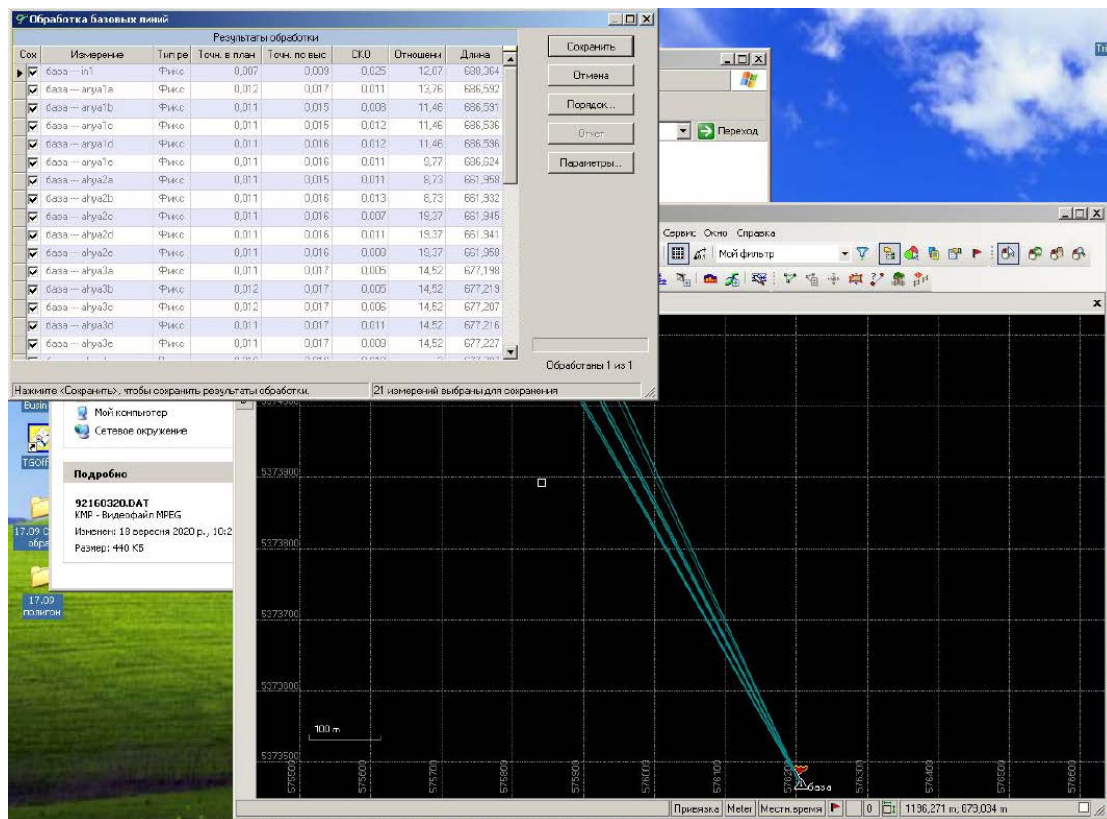
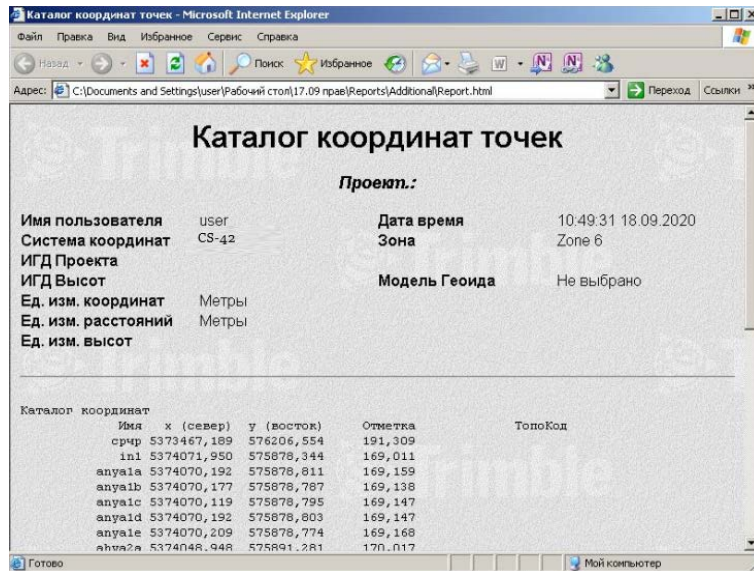


Рис. 4. Опрацювання базових ліній

Джерело: розроблено авторами



Каталог координат точек

Проект.:

Имя пользователя	user	Дата время	10:49:31 18.09.2020
Система координат	CS-42	Зона	Zone 6
ИГД Проекта		Модель Геоида	Не выбрано
ИГД Высот			
Ед. изм. координат	Метры		
Ед. изм. расстояний	Метры		
Ед. изм. высот			

Имя	x (север)	y (восток)	Отметка	ТопоКод
срчр	5373467,189	576206,554	191,309	
in1	5374071,950	575876,344	169,011	
any1a	5374070,192	575876,811	169,159	
any1b	5374070,177	575876,787	169,138	
any1c	5374070,119	575876,795	169,147	
any1d	5374070,192	575876,803	169,147	
any1e	5374070,209	575876,774	169,168	
any2a	5374048,948	575891,281	170,017	

Рис. 5. Каталог координат точек

Джерело: розроблено авторами

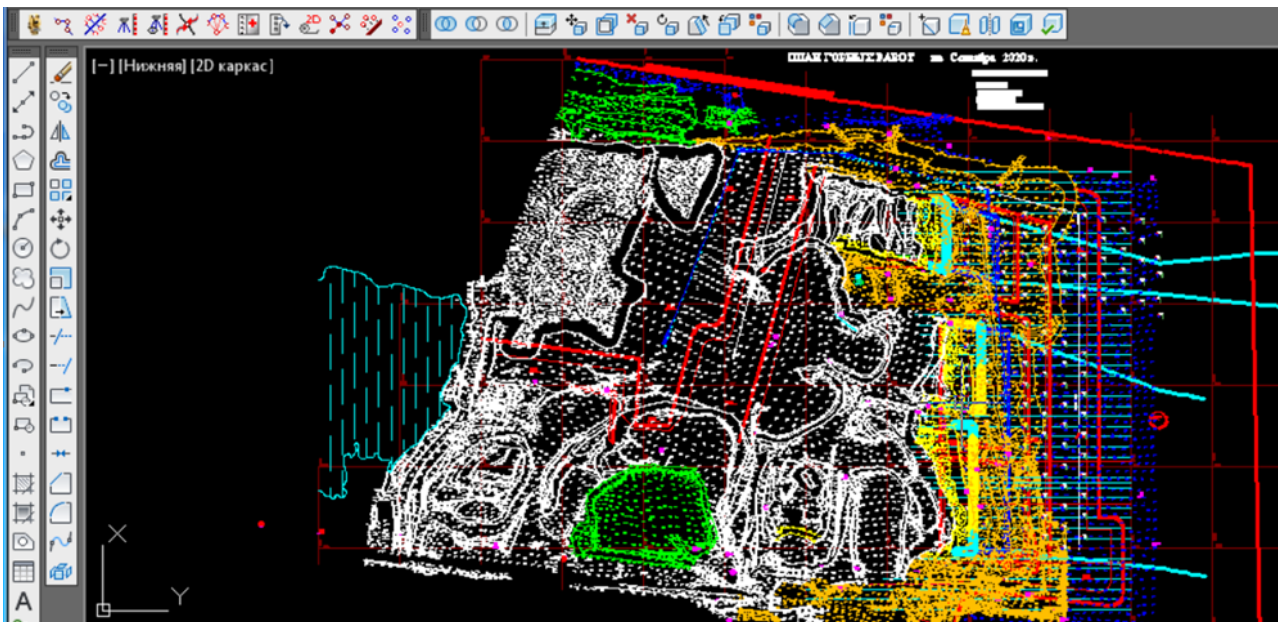


Рис. 6. Загальний план гірничих робіт

Джерело: розроблено авторами

та завантажуюмо виміри. Перевіряємо вихідні дані: ім'я точки, тип антени та приймача.

4. Визначаємо проекцію – вводимо вихідні дані X, Y для бази. Після чого натиснувши на базу, вводим відмітку та якість даних – як опорна точка.

5. Після завантаження всіх даних та налаштування всіх параметрів, натискаємо опрацювання базових ліній, та отримуємо таблицю опрацювання, яку необхідно зберегти (рис.4).

6. Зберігаємо проект. Відкриваємо знову TGO, відкриваємо проект і налаштуємо його як на початку опрацювання, потім завантажуюмо дані, які попередньо опрацювали в Trimble Business Center. Виділяємо всі пункти та натискаємо властивості, в яких переглядаємо всі параметри.

7. Потім натискаємо «Врівноваження вимірювань», виділяємо базисні лінії, видаляємо їх,

залишивши на плані лише пункти, виділяємо та вставляємо підписи (відмітку праворуч), натискаємо ОК та експортуємо наші дані в програму «AutoCAD» для того, щоб наші пункти висвітилися на загальному плані гірничих робіт. Потім натискаємо – «Звіти» – «Каталог координат» точок, зберігаємо його та роздруковуємо (рис. 5).

8. Завантаження координат пунктів на головний план кар'єру (рис. 6).

Всі креслення, схеми, обчислення виконують в програмі AutoCAD САМАРА. Оскільки на пунктах виконували не менше 5 вимірів, треба усереднити координати, для цього використовуємо функцію «Редагування даних точок», виділяємо на плані всі вимірювання пункту та усереднюємо (рис. 7).

Побудова просторової знімальної мережі виконується методом аналогічно до попереднього пункту,

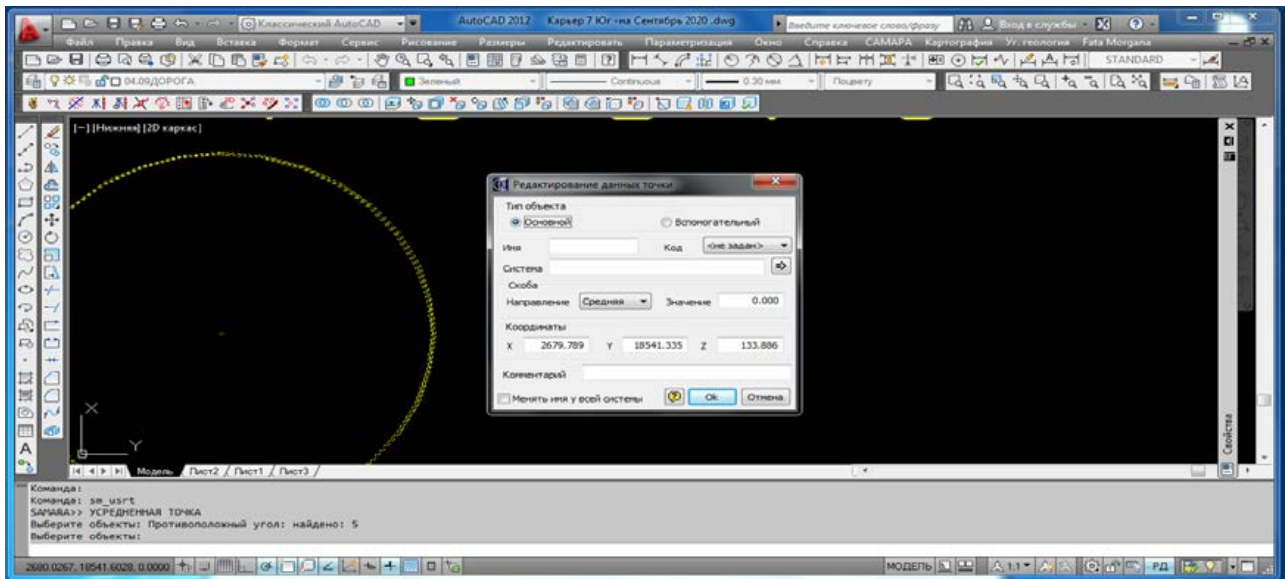


Рис. 7. Усреднения координат закладеного пункту

Джерело: розроблено авторами

але враховують можливості в подальшому винесення від пунктів на місцевість проектної сітки свердловин, розмір якої може бути 50x50 або 100x100 метрів. Роздруковується каталог координат та схема закладених пунктів на сітці свердловин. Згодом, виніс проектних пунктів на місцевість виконують тахеометром, тому пункти слід закріплювати на видимих, піднятих над горизонтом місцях.

Висновки даного дослідження та перспективи. Проаналізувавши всі методи створення просторової опорної мережі, можна прийти до

висновку, що метод GNSS є найкращим для створення подібних мереж на теперішній час. Звісно, він не може замінити повноцінно всі методи через вплив різних обмежень, наприклад, перешкоди, відсутність зв'язку, несприятливі погодні умови. Тому, застосування тільки супутникового методу вимірювань є недоцільним, але в поєднанні з полігонометрією територію гірничих робіт можливо забезпечити опорною та знімальною планово-висотними мережами для виконання геодезичних робіт.

Список літератури:

1. Наказ Мінсоцполітики "Про затвердження Порядку виконання маркшейдерських робіт при розробці родовищ рудних та нерудних корисних копалин" від 23.07.2019 р. URL: <http://www.drs.gov.ua> (дата звернення: 20.11.2020).
2. Островський А.Л. та ін. Геодезія : Підручник. Частина друга / А.Л. Островський, О.І. Мороз, В.Л. Тарнавський. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. С. 101–155.
3. Загредінов Р.В. Создание опорных геодезических сетей с помощью ГНСС. Учебно-методическое пособие. Казань : К(П) ФУ, 2013. 26 с.
4. Інструкція з виконання маркшейдерських робіт НПАОП 74.2-5.01-85. URL: <http://online.budstandart.com> (дата звернення: 20.11.2020).
5. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В.С. Білецького. Д. : Східний видавничий дім, 2004–2013. Т. 3. 644 с.
6. Р.В. Шульц, М.В. Білоус, В.Я. Ковтун, Ю.В. Медведський. Застосування супутникових методів для створення геодезичної мережі при будівництві метрополітену. *Вісник геодезії та картографії*. 2012. № 2(77). С. 5–9.

References:

1. Nakaz Minsotspolityky "Pro zatverdzhennia poriadku vykonannia marksheiderskykh robit pry rozrobsi rodovyshch rudnykh ta nerudnykh korysnykh kopalyn" vid 23.07.2019 R. Available at: <http://www.drs.gov.ua> (accessed 20 Oktober 2020). (in Ukrainian)
2. Ostrovskiy A.L. (2008). Heodeziia [The Geodesy]. Lviv: Yzd-vo Lviv Polytechnic National University, pp. 101–155. (in Ukrainian)
3. Zagretidinov R.V. (2013). Sozdanie opornykh geodezicheskikh setej s pomoshch'yu GNSS [Creation of geodetic reference networks using GNSS]. Kazan, 26 p. (in Russian)
4. Instruktssiia z vykonannia marksheiderskykh robit NPAOP 74.2-5.01-85. Available at: <http://online.budstandart.com> (accessed 20 Oktober 2020). (in Ukrainian)
5. Mala hirnycha entsyklopediya : u 3 t. / za red. V.S. Bilets'koho. D.: Skhidnyy vydavnychyy dim, 2004–2013. T. 3. 644 s. (in Ukrainian)
6. R.V. Shul'ts, M.V. Bilous, V.Ya. Kovtun, Yu. V. Medvedskyy (2012). Zastosuvannya suputnykovykh metodiv dlya stvorennia heodezychnoyi merezhi pry budivnytstvi metropolitenu [Application of satellite methods to create a geodetic network in the construction of the subway]. *Bulletin of Geodesy and Cartography*. 2012. № 2(77). Pp. 5–9. (in Ukrainian)