

О.В. ДОЛГІХ, Л.В. ДОЛГІХ, кандидати техн. наук, доценти  
Криворізький національний університет

## ВИКОРИСТАННЯ СПОСТЕРЕЖНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ТА БУДІВЕЛЬ, РОЗТАШОВАНИХ ПОБЛИЗУ ЗОНИ ПРОВАЛЛЯ

**Мета.** Метою роботи є дослідження об'єкту шляхом виконання маркшейдерсько-геодезичних спостережень для отримання вихідних даних (інформації) для прийняття оптимальних рішень по захисту дитячого закладу від можливого шкідливого впливу гірничих робіт.

**Методи дослідження.** Розглядається питання дослідження й аналізу результатів спостереження за деформаціями земної поверхні та будівлі, розташованої поблизу зони зрушень, яка виникла внаслідок підземних гірничих робіт. Для вирішення задачі запропоновано використання класичного способу спостереження за процесами зсуву земної поверхні, зі створенням спостережної станції, але удосконаливши методику виконання вимірів за рахунок впровадження сучасних приладів. Існуюча спостережна станція на території шахти ім. Орджонікідзе була збільшена дванадцятьма реперами на ділянці дитячого закладу. Додаткова інформація по цій ділянці необхідна для отримання найбільш повної характеристики про стан будівлі дитячого закладу, розташованої поблизу небезпечної зони.

**Наукова новизна.** Інструментальні вимірювальні роботи виконувалися з використанням сучасних приладів – електронного тахеометра, нівеліра та GPS. Зроблено оцінку точності вимірів та аналіз результатів опрацювання даних. Для підтвердження сталого положення реперів чи, навпаки, їх зрушень, використовувався критерій Аббе. В роботі приділена увага питанню вибору методики визначення векторів зрушення реперів. Вимір ординат та визначення векторів зрушення для кожного конкретного випадку передбачено при складанні проекту спостережень. Відомо, що у випадку значної ламаності профілю, визначення векторів зрушення реперів профільної лінії в плані виконується полярним способом або прокладання теодолітного ходу, в роботі використано друге.

**Практична значимість.** За різницею координат репера з початкової та наступної серії спостережень визначені лінійна величина та дирекційний кут вектора зрушення в плані. Значення повного вектора зрушення розраховано за обчисленими величинами осідання й ординатами або векторами зрушення. Вимірювання ординат реперів й визначення векторів зрушення в плані виконувалося двічі, в прямому й зворотному напрямках.

**Результати.** Результати досліджень дають достатню характеристику реперів, розташованих на досліджуваній території, для прийняття рішення про подальше використання дитячого закладу.

**Ключові слова:** деформації, репери, сучасні прилади, спостережна станція, вектор зрушення.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-102-106

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Важливою проблемою в маркшейдерії є своєчасне запобігання негативним проявам на денній поверхні впливу підземних гірничих робіт. Одним з класичних методів спостереження за деформаціями денної поверхні та будівель і споруд є метод з використанням спостережних станцій. Відомо, що при цьому способі створюються профільні лінії, які закріплюються на місцевості ґрунтовими та стінними реперами. Визначаються горизонтальні та вертикальні деформації згідно до вимог Інструкції [1]. При використанні способу спостережних станцій, основні величини, які характеризують значення деформацій – нахил, кривизна, розтяг-стиск та осідання, обчислюються за лінійно-кутовими вимірами та вимірами перевищень між реперами профільних ліній [1-4]. Важливою задачею при цьому є вибір місць розташування реперів, адже не завжди є можливість розташувати їх у необхідному місці. Через це класичні методи спостереження за деформаціями постійно потребують удосконалення.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідження земної поверхні, стан якої залежить від проведення підземних гірничих робіт, є важливою складовою маркшейдерського забезпечення гірничодобувного підприємства. Підвищенням ефективності цих робіт займаються як вітчизняні вчені, так і інших країн [5-7,9]. Важливим питанням є питання охорони навколишнього середовища, будівель та споруд [8]. Особлива увага в дослідженнях приділяється вибору методу прогнозування подальшого стану досліджуваної ділянки [10-12], вибору ефективного способу виконання робіт з визначення величин горизонтальних та вертикальних деформацій, з вибору сучасних приладів [13,14].

**Постановка задачі.** У 2018 році при дослідженні деформацій на території шахти ім. Орджонікідзе були виконані маркшейдерські інструментальні спостереження за зрушенням гірських порід та земної поверхні на території гірничого відводу і прилеглих територіях. Виміри

виконані на ґрунтових та стінних реперах існуючої спостережної станції, яка включає 20 профільних ліній.

Поверхнева спостережна станція, на якій виконані вимірювання у 2018 році, складається з 123 ґрунтових реперів, які представляють собою металеві дроти діаметром 20-30 мм та довжиною 1,3-1,5 м і 60 стінних реперів, закладених в споруду швейної фабрики, будівлю тепломережі, будівлю підстанції та інші споруди промислового майдану. Загальна кількість реперів складає 183.

При виконанні нівелювання реперів використовувався нівелір SETL. Нівелювання по замкнених ходах здійснювалося у одному напрямку, а у розімкнутих – у прямому та зворотному напрямках. Допустима нев'язка у замкнутих і подвійних ходах не перевищувала  $15\sqrt{L}$ , де  $L$  – довжина ходу у км. За результатами зрівнювання нівелірних ходів встановлено, що фактичні нев'язки не перевищують допустимої  $f_{доп}$ .

Довжини інтервалів між ґрунтовими реперами вимірялися електронним тахеометром SET 630R із середньою квадратичною помилкою  $m_s = 2$  мм. Центрування тахеометра здійснювалося за допомогою оптичних центрирів, а центрування відбивача з використанням біподу. Вимірювання довжин ліній здійснювалося у прямому та зворотному напрямках, що забезпечило відносну похибку виміру довжин інтервалів між реперами профільних ліній не грубіше 1:10000. Але для отримання більш повної інформації про безпеку будівель, розташованих на території, наближеної до утвореного провалля, виявилася недостатньою кількість раніше закладених реперів.

**Викладення матеріалу та результати.** Відповідно до рішення № 11 від 12.07.2018 р. позачергового засідання Криворізької міської комісії з питань техногенної екологічної безпеки та надзвичайної ситуації, було передбачено проведення замірів щодо динаміки зрушення земної поверхні в районі дитячого закладу № 160 по вул. Оренбурзька, 14, Тернівського району. Метою робіт є дослідження об'єкту шляхом виконання маркшейдерсько-геодезичних спостережень для отримання вихідних даних (інформації) для прийняття оптимальних рішень по захисту дитячого закладу від можливого шкідливого впливу гірничих робіт.

Для вирішення поставленої задачі, була додатково створена спостережна станція на території дитячого закладу. Станція складається з 12 ґрунтових реперів, які представляють собою металеві стрижні діаметром 25-30 мм і довжиною від 1300-1500 мм. Частина реперів (2, 4 і 6) закладені поруч із тріщиною, яка утворилася внаслідок техногенної діяльності (рис. 1). Репери 7 і 9 закладені на відстані до 3 метрів від будівлі. Репери 8, 10 та 12 розташовані на території, що знаходиться під впливом техногенної діяльності.



Рис. 1. Розташування реперів спостережної станції на території дитячого закладу

Середня квадратична помилка вимірювань перевищень на станції складала  $\pm 2$  мм. Гранична помилка визначення позначки репера меж циклами, з довірчою імовірністю 0,95, у два рази перевищує середню квадратичну помилку і складає  $\pm 5,6$  мм. Довжини інтервалів між реперами вимірювалися з помилкою  $m_s = \pm 2$  мм. При оцінці точності вимірів прийнято умову рівного впливу погрешностей вимірювання кутів та ліній

$$\frac{m_\beta}{\rho} = \frac{m_s}{S}, \quad (1)$$

де  $m_\beta$  – помилка вимірювання кутів, яка складає  $20''$ ;  $m_s$  – помилка вимірювань довжин інтервалів;  $\rho = 206265''$ .

При використанні двадцятиметрових інтервалів, відносна лінійна помилка складає 1:10000

$$\frac{1}{M} = \frac{m_s}{S}. \quad (2)$$

Після накопичення необхідної кількості даних по реперах спостережної станції, був виконаний їх аналіз. Для визначення стабільності реперів чи навпаки, їх нестабільності, використано послідовні різниці вимірів.

Для ряду спостережень отримані значення  $X_j$  ( $j=1, 2 \dots k$ ) та обчислені їхні різниці

$$d_j = X_{j+1} - X_j. \quad (3)$$

Відомо, що середнє квадратичне відхилення однієї такої різниці визначається як

$$m_d = \sqrt{\frac{1}{2(k-1)} \sum_{j=1}^{k-1} d_j^2}, \quad (4)$$

де  $k$  – число різниць  $d_j$  [15].

Для виявлення порушення стійкості реперів використовується критерій Аббе

$$\delta = \frac{m_d^2}{m_x^2}, \quad (5)$$

де  $m_x$  – середня квадратична помилка визначення  $X_j$ .

Відомо, що відсутність осідання або зміщення деформаційних реперів характеризується виразом

$$\delta \geq \delta_q. \quad (6)$$

Величини  $\delta_q$  визначаються з таблиць за рівнем значущості  $q = 1 - p$  і кількості різниць вимірів. По кожному реперу складено таблицю виду, як показано по реперу 1 (табл. 1). Результати аналізу сталості положення по всіх реперах наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Результати опрацювання даних по реперу 1

Дата виміру	Результати по реперу 1	$\delta$	$\delta_q$ $P=0,99$	$\delta_q$ $P=0,95$
26.08	122,078	0,10	0,35	0,51
10.09	122,076			
22.09	122,074			
09.10	122,073			
27.10	122,068			
07.11	122,067			
22.11	122,067			
08.12	122,066			
23.12	122,066			

Таблиця 2

Результати аналізу даних по всіх реперах

№ репера	$\delta$	$\delta_q$ $P=0,99$	$\delta_q$ $P=0,95$
1	0,10	0,35	0,51
2	0,14	0,35	0,51
3	0,49	0,35	0,51
4	0,12	0,35	0,51
5	0,38	0,35	0,51
6	0,88	0,35	0,51
7	0,35	0,35	0,51
8	0,60	0,35	0,51
9	1,33	0,35	0,51
10	0,15	0,35	0,51
11	0,28	0,35	0,51
12	0,11	0,35	0,51

Аналіз результатів опрацювання даних показав, що на реперах 1, 2, 4, 10, 12 відбувається рівномірне осідання зі швидкістю 4-5 мм/міс, а на реперах 7, 11 відбувається незначне осідання зі швидкістю 1 мм/міс. На реперах 3, 5, 6, 8, 9 не спостерігається осідання. Репери 2 та 10 мають горизонтальні деформації, які складають 10 мм, а репери 6 та 12 відповідно 20 мм. Для решти реперів горизонтальні зміщення не спостерігаються.

Важливим питанням є питання вибору методики визначення векторів зрушення реперів. Необхідність виміру ординат або визначення векторів зрушення для кожного конкретного випадку встановлюється при складанні проекту спостережень. У випадку значної ламаності профілю, визначення векторів зрушення реперів профільної лінії в плані виконується полярним способом або прокладання теодолітного ходу.

За різницею координат репера з початкової та наступної серій спостережень визначається лінійна величина та дирекційний кут вектора зрушення в плані. Значення повного вектора зрушення розраховується за обчисленими величинами осідання й ординатами або векторами зрушення. Вимірювання ординат реперів й визначення векторів зрушення в плані виконується двічі, в прямому й зворотному напрямках. Відомо, що розбіжність значень ординат або векторів зрушення в плані з подвійного визначення не повинна перевищувати  $\pm 15$  мм [1], тобто, мм

$$m_S^2 = m_x^2 + m_y^2 = 225.$$

Звідки випливає, що середня квадратична помилка визначення координат складає, мм

$$m_x = m_y = 10,6,$$

де  $m_x, m_y$  - середні квадратичні помилки визначення координат.

При однаковій точності визначення координат  $x$  та  $y$  у всіх циклах, середня квадратична помилка визначення координат  $x$  або  $y$  буде дорівнювати

$$m_{xy} = \frac{m_x}{\sqrt{n}} = \frac{m_y}{\sqrt{n}}, \quad (7)$$

де  $n$  – кількість циклів.

Тобто, середня квадратична помилка визначення координати з двох циклів

$$m_{xy} = m_x = m_y = \frac{10,6}{\sqrt{2}} = 7,5 \text{ мм.}$$

З метою дослідження планового та висотного положення реперів, які знаходяться на території дитячого закладу, була створена геодезична мережа спеціального призначення в системі координат та висот, прийнятій раніше. Прийнято періодичність проведення вимірів – два рази на місяць.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Прийнята методика польових та камеральних робіт добре показала себе на практиці. Отримані достовірні результати про положення деформаційних реперів на території дитячого закладу, розташованого поблизу зони зрушень. Безперечно, є необхідність у подальшому дослідженні способів спостереження за процесами зрушення, в удосконаленні класичних та розробці нових, більш ефективних.

#### Список літератури

1. Инструкция по исследованиям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений». М.: Недра, 1988.
2. Методические указания по наблюдениям за сдвижением горных пород и за подрабатываемыми сооружениями. Л., ВНИМИ, 1986.
3. Инструкция о порядке утверждения мер охраны зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок. Госгортехнадзор СССР. М., 1986.
4. Временные правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на рудных месторождениях с неизученным процессом сдвижения горных пород. Л., ВНИМИ, 1966.
5. Панжин А.А. Решение проблемы выбора опорных реперов при исследовании процесса сдвижения на объектах недропользования / А.А.Панжин // Маркшейдерия и недропользование. -2012. – № 2. – С. 51–54.
6. Peng, S.S. Surface Subsidence Engineering [Text] / Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. – Ann Arbor: MI, 1992. – 161 p.
7. Спиридонов В.П. Деформации горных пород и сооружений, предупреждение чрезвычайных ситуаций.— Минск: «Горная механика», № 1-2, 2004, с. 28-34.
8. Гудков В.М., Спиридонов В.П. Критерии устойчивости горнопромышленных сооружений и зданий. — Маркшейдерский вестник. № 2, 2004 г., с. 68-71.
9. Долгіх О.В., Долгіх Л.В. Дослідження способів спостереження за деформаціями денної поверхні, підробленої гірничими роботами. / Вісник криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2016. - № 101. С. 46-49
10. Долгіх О.В. Використання нечіткої логіки та нейронних мереж при розрахунках можливості утворення проваль від дії підземних гірничих робіт // О.В. Долгіх, //Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2014. - 2014. – Вип. 37. С. 76–79

11. Долгих А.В. Использование нейронных сетей при исследовании земной поверхности, обработанной подземными горными работами/ А.В. Долгих, Л.В. Долгих // Сборник научных трудов «Качество минерального сырья». Кривой Рог, 2014.; Издательство «Дионат» (ФЛ-П Чернявский Д.А.). – С. 387-392.
12. Долгих А.В. Преобразование маркшейдерских данных для моделирования нейросетевыми методами. / Гірничий вісник. – Кривий Ріг: КНУ. – 96, 2013. – С. 85-89.
13. С.В. Усанов, П.В. Кольцов, С.В. Белячков. Современные системы лазерного сканирования для мониторинга деформаций при открытых разработках. / «Маркшейдерия и недропользование. – М., Геомар Недра, №4 (96), 2018, 40с.
14. Панжин А.А. Результаты наблюдений за деформациями породных массивов методами спутниковой геодезии //Сборник трудов международной конференции « Геодинамика и напряженное состояние недр Земли». — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2001.
15. Григоренко А.Г. Измерение смещений оползней. – М.: Недра, 1988. – 144 с.

Рукопис подано до редакції 17.04.2018

УДК 621.382.333

І.А. КОЗАКЕВИЧ, І.В. КАСАТКІНА, кандидати техн. наук, Л.В. СРЬОМЕНКО, магістрант  
Криворізький національний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИНХРОННОГО ДВИГУНА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ В ГІБРИДНИХ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ

**Мета.** Метою даної роботи є дослідження синхронних двигунів транспортних засобів з постійними магнітами при ослабленні магнітного потоку, визначення аналітичних залежностей для забезпечення максимального співвідношення між електромагнітним моментом та струмом при умові обмеження величин напруг та струмів статора, розробка системи керування, що забезпечить роботу двигуна при частоті обертання вищій за номінальну, а також синтез методу керування тяговим синхронним двигуном з постійними магнітами, що передбачав би одночасне керування з максимізацією співвідношення момент-струм та максимізацією коефіцієнта корисної дії без використання додаткових перемикачів у структурі системи керування.

**Методи дослідження.** Дослідження виконувалося з використанням загальних методів теорії автоматичного керування, методів теорії оптимального керування та методів дослідження нелінійних систем автоматичного керування, варіаційного та матричного обчислення, чисельних методів, методів математичного аналізу, математичного моделювання та лабораторно-стендових випробувань

**Наукова новизна.** Встановлені залежності між складовими вектору струму статора двигуна при роботі в зоні ослаблення магнітного поля та обмеженні величин струмів та напруг на номінальному рівні. Розроблена структура системи керування синхронним двигуном, що дозволяє реалізувати отримання максимального співвідношення між електромагнітним моментом та струмом статора двигуна, а також досягти високих показників якості керування при роботі з кутовою швидкістю вищою за номінальну.

**Практична значимість.** Здійснено теоретичне узагальнення й розв'язання актуальної науково-технічної задачі, що пов'язана з керуванням синхронним двигуном з постійними магнітами в зоні ослаблення магнітного поля. Було визначено, що найбільш суттєвими чинниками, що впливають на роботу двигуна у такому режимі є наявність обмеження напруги і струму на номінальному рівні. В той же час аналіз таких систем при одночасній дії двох обмежень, що мають різний фізичний зміст є складною задачею. Крім того, отримано залежності, що дозволяють аналітично описати область допустимих значень кутової швидкості двигуна та навантаження при роботі з ослабленням поля.

**Результати.** Розроблена система керування роботою синхронного двигуна з постійними магнітами в режимі ослаблення поля, що дозволяє застосовувати такі двигуни в гібридному електротранспорті.

**Ключові слова:** синхронний двигун, постійні магніти, струм статора, регулятор струму, кутова швидкість.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-106-111

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.** З позиції функціонування тягових електромеханічних систем існують дві основні вимоги: отримання високих значень моменту двигуна для підвищення показників прискорення транспортного засобу, а також мінімізація втрат у системі для отримання максимальної енергоефективності [1]. Вирішення цих питань досягається використанням тактики максимізації відношення момент-струм та використання методів керування з максимізацією коефіцієнта корисної дії. Проте, досі не доведено, який з цих підходів здатний у найбільшій мірі задовольнити вимоги тягових електроприводів. У роботі виконується розробка методу керування, що поєднує у собі підходи максимізації співвідношення момент-струм та максимізації коефіцієнту корисної дії в залежності від умов роботи приводу. Проте, в даному випадку не виконується жодного переключення між цими двома тактиками керування, оскільки це погіршило б динамічні показники якості керування та