

Н.А. Туртыгина, Р.Э. Бабаев, Н.А. Волков, И.О. Карпенко

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАЧЕСТВА ГОРНЫХ РАБОТ В СВЯЗИ С КОНВЕРГЕНЦИЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Минерально-сырьевая база отечественного горнодобывающего производства характеризуется интенсивным снижением качества промышленных запасов основных видов руд. При этом на многих месторождениях наблюдается не только общее снижение концентрации полезных компонентов, но и увеличение показателей изменчивости химического состава. Особенно острота проблемы этой проблемы возрастает при отработке бедных руд. Рассмотрены результаты наблюдений за деформированием контура горных выработок при помощи электронных тахеометров высокой точности, которые дают новые возможности в плане оценки напряженно-деформированного состояния горного массива, нарушенного горными работами, а также при планировании среднего качества добытой рудной массы при разработке рудных месторождений.

Ключевые слова: рудник, наблюдения, конвергенция, тахеометр, точность, руда, качество.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-50-57

Основу сырьевой базы горнодобывающих предприятий ПАО «ГМК «Норильский никель» составляют сульфидные медно-никелевые руды трех месторождений: «Октябрьское», «Талнахское» и «Норильск-1». В результате отработки части запасов наиболее ценных богатых руд и необходимостью обеспечения металлургических переделов комбината высококачественным рудным сырьем, горные работы постепенно опускаются на большие глубины. При этом увеличивается горное давление, изменяются физико-механические свойства горных пород и ускоренно сокращаются запасы руд с высоким содержанием полезных компонентов. Соответственно, усложняются вопросы вскрытия новых рабочих горизонтов, поддержания устойчивости горных

выработок, полноты и качества извлечения полезных ископаемых из недр.

Подземная разработка месторождений в последнее время характеризуется существующими изменениями, связанными с необходимостью удержания объемов производства на должном уровне и обеспечением при этом безопасности производства горных работ. Все это происходит в условиях постепенного ухудшения качественных характеристик добываемого сырья.

В связи с этим постоянно ведется работа по поиску и внедрению новых вариантов систем разработки и порядка ведения маркшейдерских и горных работ. Планирование горных работ является необходимой и исходной частью действий по формированию требуемого

качества руды на горном предприятии. При планировании выделяются геологические и эксплуатационные блоки рудных тел, подлежащих выемке, и устанавливается календарный график последовательности их отработки [5].

Неотъемлемыми условиями, обеспечивающими качества рудо-минерального сырья и эффективность безопасности ведения горных работ, является жесткий маркшейдерский контроль.

Наблюдения за деформированием контура выработок при помощи электронных тахеометров высокой точности дает новые возможности в плане оценки геомеханической обстановки исследуемого участка. Так, по результатам наблюдений можно определить основные параметры процесса сдвижения горного массива: наклоны, горизонтальные деформации и кривизну. Ранее для наблюдения за сдвижением в толще пород применялось тригонометрическое или геометрическое нивелирование, но так как, результатом таких наблюдений является лишь определение превышений, минус этих наблюдений в том, что оценивать сдвижение можно только по одному показателю — по высоте. Основным преимуществом высокоточных электронных тахеометров является возможность получения результатов инструментальных наблюдений — координат точек (X, Y, Z), посредством внутренних программ инструмента с высокой степенью надежности и точности.

Таким образом, результаты одних наблюдений можно использовать и как данные тахеометрической съемки, т.е. для определения величин смещения точек в плане и по высоте, и как данные оценки параметров сдвижения горного массива. Эти данные позволят отстраивать цифровые триангуляционные модели выработок, и, сравнивая эти модели во времени, оценивать действующие в массиве геомеханические процессы.

Современные высокоточные тахеометры оснащены быстрыми безотражательными дальномерами, точными устройствами отсчитывания и прикладным программным обеспечением, позволяющим исключать многие погрешности и ошибки, которые ранее делали невозможным высокоточное определение координат при помощи обычных оптических теодолитов. Их использование сокращает время на производство инструментальных работ и камеральную обработку, а за счет использования в электронных тахеометрах стандартных интерфейсов передачи данных между компьютером и инструментом, облегчает процесс обработки результатов наблюдений, исключая ошибки отсчитывания.

Целью работы являлось выполнение наблюдений за конвергенцией подземных горных выработок электронным тахеометром. Конвергенцией называются суммарные вертикальные или горизонтальные смещения подготовительной выработки. На рис. 1, а, б представлены

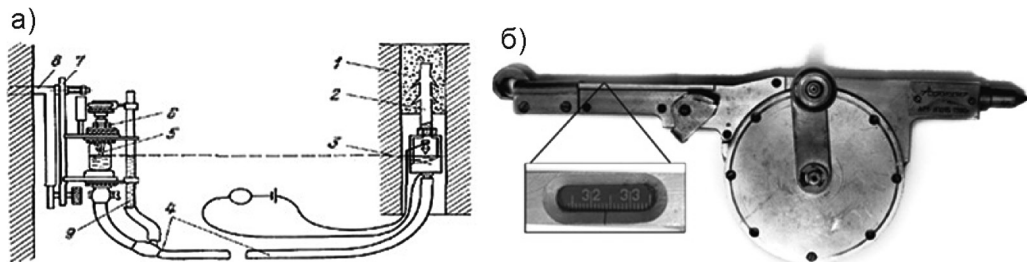


Рис. 1. Приборы для наблюдения за конвергенцией горных выработок: гидронивелир (а); рулетка ВНИМИ (б)

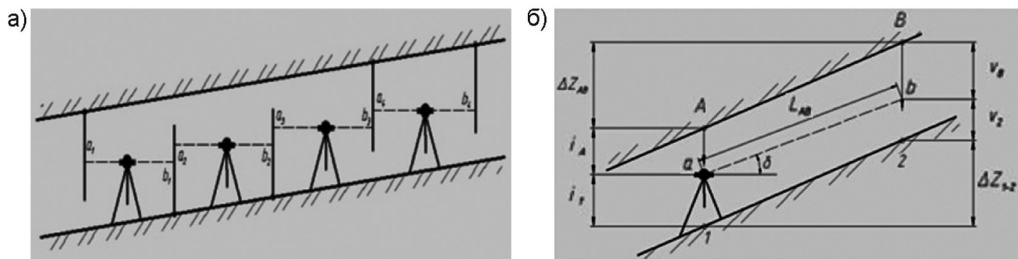


Рис. 2. Способы нивелирования: геометрическое (а); тригонометрическое (б)

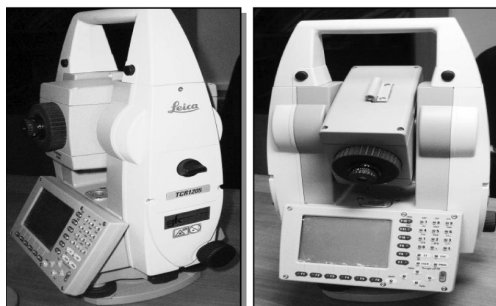


Рис. 3. Электронный тахеометр Leica TCR 1205 R100

приборы для наблюдения за конвергенцией горных выработок, такие как гидронивелир и рулетка ВНИМИ. На рис. 2, а, б изображены способы геометрического и тригонометрического нивелирования. Они являются более универ-

сальными методами инструментальных наблюдений.

В качестве испытательного инструмента для наблюдения за конвергенцией горных выработок использовался высокоточный электронный тахеометр Leica TCR 1205 R100 (рис. 3).

Экспериментальные наблюдения производились в условиях рудника «Октябрьский». Съёмки проводились в течение месяца с периодичностью 1 раз неделю. Табл. 1 содержит результаты тахеометрической съёмки трех рабочих реперов по 4 сериям наблюдений при способе ориентирования съёмки обратная линейно-угловая засечка. Репера располагались на расстоянии 1–2 м относительно друг друга и от 2–5 м от ин-

Таблица 1

**Результаты тахеометрической съёмки трех рабочих реперов**

Пункт	Координаты	Серия наблюдений					Средняя величина ошибки определения координат (отклонение от начальной серии), мм
		начальная	1	2	3	4	
1	x	-14,4206	-14,4204	-14,4215	-14,4212	-14,4211	0,5
	y	-18,5655	-18,5646	-18,5654	-18,5650	-18,5643	0,7
	z	-100,6896	-100,6888	-100,6893	-100,6891	-100,6898	0,4
2	x	-11,9762	-11,9767	-11,9772	-11,9769	-11,9764	0,6
	y	-18,1399	-18,1383	-18,1402	-18,1393	-18,1392	0,7
	z	-100,1043	-100,1049	-100,1045	-100,1047	-100,1043	0,3
3	x	-9,1452	-9,1458	-9,1452	-9,1460	-9,1458	0,5
	y	-15,1486	-15,1484	-15,1495	-15,1500	-15,1497	0,8
	z	-100,7740	-100,7737	-100,7737	-100,7738	-100,7741	0,2

Таблица 2

**Данные для вычисления СКО определения координаты X электронным тахеометром**

Номер серии наблюдений	$x_i$ , м	$x_i - \bar{x}$ , м	$(x_i - \bar{x})^2$ , м
Начальная	14,4206	-0,0003	0,00000009
1	14,4204	-0,0005	0,00000025
2	14,4215	0,0006	0,00000036
3	14,4212	0,0003	0,00000009
4	14,4211	0,0002	0,00000004
$\bar{x}$	14,4209		
$\Sigma$			0,00000083

струмента. Определение расстояний проводилось в безотражательном режиме.

Процесс измерения имеет количественную и качественную стороны. Количественная сторона заключается в получении размера измеряемой величины, а качественная — характеризуется точностью измерений, которая определяется степенью близости результатов измерений к истинному значению измеряемой величины. Так как истинное значение неизвестно, о качестве измерений можно судить по разбросу многократных измерений одной величины. Степень разброса характеризуется дисперсией случайной величины (средним квадратичным отклонением).

Среднее и дисперсия характеризуют две стороны применяемой методики измерений: среднее характеризует результат, даваемый методикой, а дисперсия —

точность этого результата, точность методики.

Среднее значение результатов измерений (выборки) выражается через формулу:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i, \quad (1)$$

где:  $n$  — количество измерений (объем выборки);  $x_i$  — результат измерения.

Дисперсией случайной величины называется математическое ожидание квадрата отклонения этой величины от ее математического ожидания:

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}. \quad (2)$$

Так как размерность дисперсии квадратична по сравнению со случайной величиной (результаты измерений), то для более удобной характеристики колеблемости используется корень квадратный из дисперсии:

Таблица 3

**Данные для вычисления СКО определения координаты Y электронным тахеометром**

Номер серии наблюдений	$x_i$ , м	$x_i - \bar{x}$ , м	$(x_i - \bar{x})^2$ , м
Начальная	18,5655	0,00054	0,000000292
1	18,5646	-0,00036	0,000000130
2	18,5654	-0,00044	0,000000194
3	18,5650	0,00004	0,000000002
4	18,5643	-0,00066	0,000000436
	18,56496		
$\Sigma$			0,00000106

Таблица 4

**Данные для вычисления СКО определения координаты Z электронным тахеометром**

Номер серии наблюдений	$x_i$ , м	$x_i - \bar{x}$ , м	$(x_i - \bar{x})^2$ , м
Начальная	100,6896	0,00028	0,000000078
1	100,6888	-0,00052	0,000000270
2	100,6893	-0,00002	0,000000004
3	100,6891	-0,00022	0,000000048
4	100,6898	0,00048	0,000000230
	100,68932		
$\Sigma$			0,00000063

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (3)$$

эта величина называется стандартом или средним квадратичным отклонением (СКО) случайной величины [5]. При вычислении СКО по формуле (3) будет происходить смещение относительно статистического стандарта. Чтобы ликвидировать такое смещение, необходимо ввести поправку, умножая стандарт на величину  $\sqrt{\frac{n}{n-1}}$ . При значительном числе  $n$  эта поправка близка к единице, и ее можно не вводить: так, при  $n = 100$  поправочный коэффициент равен 1,005. При малом числе данных (в данном случае  $n = 5$ ) после введения коэффициента формула для вычисления СКО примет вид:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (4)$$

Ошибки определения координат рассчитывались относительно начальной серии наблюдений. Величина отклонений не превышала  $\pm 1,5$  мм. В табл. 2, 3, 4 определены координаты X, координаты Y, координаты Z.

Среднее квадратичное отклонение координат пункта по оси X, Y, Z рассчитывали по формуле (5), значения которого составило соответственно 0,0005 м, 0,0005 м, 0,0004 м. Ошибку среднего

значения плановых координат наблюдательного пункта определяли по формуле (6), которая составила  $\pm 0,0006$  м.:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad \text{м} \quad (5)$$

$$M_{\bar{x}} = \frac{t \sigma_{x,y}}{\sqrt{n}}, \quad (6)$$

где  $t$  — коэффициент вероятности.

По результатам вычислений с вероятностью 0,95 можно утверждать, что погрешность определения плановых координат наблюдательных пунктов электронным тахеометром составит менее  $\pm 1$  мм, высотных — менее  $\pm 0,5$  мм. В результате, проведенные экспериментальные испытания и анализ существующих методов определения конвергенции выработок, показывают, что применение высокоточных электронных тахеометров для наблюдения за деформированием контура выработок методом тахеометрической съемки, при соблюдении достаточной точности, является высоконадежным и эффективным методом. Разработанная методика рекомендуется использовать специалистам отдела деформационного мониторинга для оценки напряженно-деформированного состояния горного массива, нарушенного горными работами, а также при планировании среднего качества добытой руды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Advances in rock dynamics and applications*: CRC Press / Taylor & Francis Group. CRC / Balkema, 2011.
2. *Bazilyak E. S.* The method for creating networks of mining surveying. Scientific Reports on Resource Issues. 2014. Vol. 2014. Innovations in Mineral Resource Value Chains – Geology, Mining, Processing, Economics, Safety, and Environment Management. Pp. 285–288.
3. *Горный журнал*. <http://www.rudmet.ru/catalog/journals/1/>.
4. Дж. Смит. Пресс-релиз международного института истории геодезических измерений. Генеральный дистрибьютор компаний TOPCON и SOKKIA, ООО «Геостройизыскания», <http://www.gsi.ru>.
5. *Зверевич В. В., Гусев В. Н., Волохов Е. М.* Анализ точности подземных маркшейдерских сетей: учебное пособие. – СПб.: Университет Горный, 2014. – 145 с.
6. *Жерлыгина Е. С.* Обоснование методов маркшейдерского обеспечения проходки горных выработок при использовании электронно-оптических приборов: диссертация кандидата технических наук: 25.00.16. – СПб.: НМСУ «Горный», 2016.
7. *Киселев В. А., Базыкина Л. Р., Базиляк (Жерлыгина) Е. С.* Проблемы организации маркшейдерской службы в условиях технической модернизации // Маркшейдерский вестник. – 2015. – № 5. – С. 35–38.
8. *Лейн К. Ф.* Экономическое определение руды, отрезные классы в теории и практика. 2-е изд. – Mining Journal Books Limited Лондон, 1997. – 147 с.
9. *Лебедева Е. В.* Маркшейдерские работы при съемке нарезных и очистных горных выработок: учебное пособие. – Норильск: НИИ, 2013. – 100 с.
10. *Маркшейдерия и недропользование* <http://geomar.ru/>.
11. *Официальный сайт XV Конгресса Международного общества по маркшейдерскому делу*, <http://www.ism-germany-2013.de>.
12. *Инструкция по производству маркшейдерских работ РД-07-603-03*. – М., 2004.
13. XV Конгресс Международного общества по маркшейдерскому делу ISM. Сборник статей. Т. 1, 2. – Аахен, Германия. – С. 786.
14. *Туртыгина Н. А.* Обоснование рудничной системы качества бедных медно-никелевых руд при подземной добыче: Монография. – Норильск: НИИ, 2012. – 149 с.
15. *Туртыгина Н. А.* Сущность проблемы контроля и управления качеством руд на горных предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012. – № 6. – С. 372–373.
16. *Туртыгина Н. А.* Изучение эффекта гранулометрической сегрегации при добыче вкрапленных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 1. – С. 25–27.
17. *Указания по безопасному ведению горных работ на Талнахском и Октябрьском месторождениях, склонных и опасных по горным ударам*. – Норильск, 2007.
18. *Шпаков П. С., Попов В. Н.* Статистическая обработка экспериментальных данных. – М.: Изд-во МГГУ, 2003 – 268 с.
19. *Chmelina K., Staubmann P.* Geodätische Aspekte beim Einsatz von Motorlasersystem im Tunnelbaum // Allg. Vermess. – Nachr. – 2000. – № 1. – pp. 2–8. **ГИАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Туртыгина Наталья Александровна* – кандидат технических наук, доцент, e-mail: [natyrtigina@mail.ru](mailto:natyrtigina@mail.ru),  
Норильский государственный индустриальный институт,  
*Бабаев Рафаил Эльдарович*<sup>1</sup> – зам. главного маркшейдера,  
рудник «Кайерканский»,  
*Волков Никита Александрович*<sup>1</sup> – участковый маркшейдер,  
рудник «Комсомольский»,  
*Карпенко Игорь Олегович*<sup>1</sup> – участковый маркшейдер,  
рудник «Октябрьский».

<sup>1</sup> ПАО «ГМК «Норильский никель».

**N.A. Turtygina, R.E. Babaev, N.A. Volkov, I.O. Karpenko**

## **IMPROVEMENT OF MINING QUALITY IN CASE OF CONVERGENCE IN UNDERGROUND OPENINGS**

Mineral resources of the domestic mining industry are characterized by a rapid decrease in quality of commercial reserves. Many deposits are developed under conditions of lower content of valued component, higher variability of chemical composition and aggravation of geomechanical situation. Monitoring of wall rock deformation in underground openings using high-precision electronic tacheometers facilitates estimation of geomechanical situation in test areas. For instance, based on such monitoring data, it is possible to determine basic parameters of rock mass displacement: slopes, horizontal strains and curvature. This problem is particularly acute in low-grade ore extraction. This article is based on the data of rock mass deformation monitoring in underground mines using high-precision electronic tacheometers. The monitoring results improve estimates of stresses and strains in rock mass disturbed by mining operations, and allow planning average quality of ore production.

Key words: mine, monitoring, convergence, tacheometer, precision, ore, quality.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-50-57

### **AUTHORS**

*Turtygina N.A.*, Candidate of Technical Sciences,  
Assistant Professor, e-mail: natyrtigina@mail.ru,  
Norilsk State Industrial Institute, 663310, Norilsk, Russia,  
*Babaev R.E.*<sup>1</sup>, Deputy Main Surveyor, Mine «Kayerkansky»,  
*Volkov N.A.*<sup>1</sup>, Mining Surveyor, Mine «Komsomolsky»,  
*Karpenko I.O.*<sup>1</sup>, Mining Surveyor, Mine «October»,  
<sup>1</sup> PJSC «MMC «Norilsk Nickel», Norilsk, Russia.

### **REFERENCES**

1. *Advances in rock dynamics and applications*: CRC Press. Taylor & Francis Group. CRC/Balkema, 2011.
2. Bazilyak E. S. The method for creating networks of mining surveying. Scientific Reports on Resource Issues. 2014. Vol. 2014. Innovations in Mineral Resource Value Chains – Geology, Mining, Processing, Economics, Safety, and Environment Management. Pp. 285–288.
3. *Gornyy zhurnal*, available at: <http://www.rudmet.ru/catalog/journals/1/>.
4. John Smith. *Press-reliz mezhdunarodnogo instituta istorii geodezicheskikh izmereniy*. OOO «Geostroyizyskaniya», available at: <http://www.gsi.ru>.
5. Zverevich V.V., Gusev V.N., Volokhov E.M. *Analiz tochnosti podzemnykh marksheyderskikh setey: uchebnoe posobie* (Analysis of precision of underground surveying networks. Educational aid), Saint-Petersburg, Universitet «Gornyy», 2014, 145 p.
6. Zherlygina E. S. *Obosnovanie metodov marksheyderskogo obespecheniya prokhodki gornyykh vyrabotok pri ispol'zovanii elektronno-opticheskikh priborov* (Justification of surveying support of mining using electron-optical devices), Candidate's thesis, Saint-Petersburg, NMSU «Gornyy», 2016.
7. Kiselev V.A., Bazykina L.R., Bazilyak (Zherlygina) E.S. *Marksheyderskiy vestnik*. 2015, no 5, pp. 35–38.
8. Leyn K. F. *Ekonomicheskoe opredelenie rudy, otreznye klassy v teorii i praktika*. 2-e izd. (Economic appraisal of ore and cut-off grades in theory and practice, 2nd edition), Mining Journal Books Limited, London, 1997, 147 p.
9. Lebedeva E.V. *Marksheyderskie raboty pri s'emke nareznykh i ochistnykh gornyykh vyrabotok: uchebnoe posobie* (Surveying in preparatory driving and production heading: Educational aid), Noril'sk, NII, 2013, 100 p.

10. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*, available at: <http://geomar.ru/>.
11. *Ofitsial'nyy sayt XV Kongressa Mezhdunarodnogo obshchestva po marksheyderskomu delu*, available at: <http://www.ism-germany-2013.de>.
12. *Instruktsiya po proizvodstvu marksheyderskikh rabot RD-07-603-03* (Surveying guidelines RD-07-603-03), Moscow, 2004.
13. *XV Kongress Mezhdunarodnogo obshchestva po marksheyderskomu delu ISM*. Sbornik statey. T. 1, 2. (XV Congress of International Society for Mine Surveying (ISM). Collection of articles, vol. 1, 2), Aachen, Germany, pp. 786.
14. Turtygina N.A. *Obosnovanie rudnichnoy sistemy kachestva bednykh medno-nikelevykh rud pri podzemnoy dobyche*: Monografiya (Justification of system of quality of low-grade copper-nickel ore in underground mining: Monograph), Noril'sk, NII, 2012, 149 p.
15. Turtygina N.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 2012, no 6, pp. 372–373.
16. Turtygina N.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 1, pp. 25–27.
17. *Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na Talnakhskom i Oktyabr'skom mestorozhdeniyakh, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram* (Guidelines of safe mining and rockburst-hazardous Talnakh and Oktyabr'sky deposits), Noril'sk, 2007.
18. Shpakov P.S., Popov V.N. *Statisticheskaya obrabotka eksperimental'nykh dannykh* (Statistical processing of experimental data), Moscow, Izd-vo MGGU, 2003, 268 p.
19. Chmelina K., Staubmann P. Geodätische Aspekte beim Einsatz von Motorlasersystem im Tunnelbaum. *Allg. Vermess. Nachr.* 2000, no 1. pp. 2–8.

## FIGURES

Fig. 1. Convergence monitoring facilities for underground mines: (a) hydraulic head; (b) VNIMI measure tape.

Fig. 2. Leveling methods: (a) geometric; (b) trigonometric.

Fig. 3. Electronic tacheometer Leica TCR 1205 R100.

## TABLES

Table 1. Tacheometric survey data from three check points.

Table 2. Data for calculating standard deviation of X coordinate determination by electronic tacheometer.

Table 3. Data for calculating standard deviation of Y coordinate determination by electronic tacheometer.

Table 4. Data for calculating standard deviation of Z coordinate determination by electronic tacheometer.



## III НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ



В кулуарах форума