

Полученные параметры перехода от Datum 58(81) к ITRF 2008:  $\Delta X = -96,293 \pm 0,07$  м;  $\Delta Y = -168,560 \pm 0,34$  м;  $\Delta Z = 171,390 \pm 0,38$  м;  $\omega_x = -0,002 \pm 0,002''$ ;  $\omega_y = -0,010 \pm 0,013''$ ;  $\omega_z = -0,799 \pm 0,011''$ ;  $m = -0,780 \pm 0,48$  ppm.

Исследования показывают, что дифференциальные формулы М.С. Молоденского наилучшим образом подходят для решения задачи установления взаимосвязи национальной системы координат Республики Бенин Datum 58(81) с общеземной системой ITRF 2008.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патрик Б.К. Коссугбето, Жослин М. Йессуфу. Современное состояние координатной основы Республики

Бенин // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». –2014. –№ 1. –С. 38–42.

2. Патрик Б.К. Коссугбето, Жослин М. Йессуфу. Определение параметров преобразования между плоскими координатами на территории Республики Бенин //Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». –2014. –№ 4. –С. 30–32.

3. Молоденский М.С. Новый метод решения геодезических задач / Труды ЦНИИГАиК, 1954. –Вып. 103, С. 3–21.

4. Молоденский М.С., Еремеев В.Ф., Юркина М.И. Методы изучения внешнего гравитационного поля и фигуры Земли / Труды ЦНИИГАиК, 1960. –Вып. 131. –С. 20–24.

5. Герасимов А.П. Уравнивание государственной геодезической сети. –М.: Картоцентр-Геодезиздат, 1996. –216 с.

Принята к печати 25 августа 2014 г.  
Рекомендована кафедрой астрономии  
и космической геодезии МИИГАиК

## АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Доцент, кандидат техн. наук **О.Г. Бесимбаева**, доцент, кандидат техн. наук **Е.Н. Хмырова**,  
соискатель **Н.Г. Бесимбаев**

*Карагандинский государственный технический университет*

*hmyrovae@mail.ru*

**Аннотация.** Проведенный анализ точности определения положения связующих реперов длинных профильных линий позволяют решить вопрос о длине профильных линий, о месте положения опорных реперов, контрольных и наблюдательных пунктов на профильных линиях, обеспечивающих требуемую точность измерений.

**Ключевые слова:** карьер, связующий репер, электронный тахеометр, оценка точности, погрешность, фазовый центр антенн

**Abstract.** The analysis of accuracy of definition of binding reference points' position on long profile lines allows to define: the length of the profile lines, position of basic reference points, control and observation posts on the profile lines providing the demanded accuracy of measurements.

**Keywords:** open-cast mine, connecting reference point, electronic total station, assessment of precision, accuracy, antenna phase center

Для глубоких карьеров характерно то, что длина профильных линий наблюдательных станций приобретает значительную величину, увеличивается также количество связующих реперов, располагаемых на прибортовой полосе и на бермах уступов глубокого карьера [1]. При наблюдениях за состоянием бортов глубоких карьеров необходимо произвести обоснование месторасположения опорных, контрольных и связующих реперов с оценкой точности их планово-высотного положения. В соответствии с допустимыми погрешностями определения планового и высотного положения реперов, произведена оценка точности положения связующих реперов, располагаемых на прибортовой полосе и на бермах уступов глубокого карьера [2].

Средняя квадратическая погрешность определения превышения методом тригонометрического нивелирования при помощи электронного тахеометра определяется по формуле

$$m_h^2 = L^2 \cos^2 \delta \frac{m_\delta^2}{\rho^2} + m_L^2 \sin^2 \delta + 2m_V^2, \quad (1)$$

где  $m_\delta$ ,  $m_L$ ,  $m_V$  — средние квадратические погрешности (СКП) измерения соответствующих величин (вертикального угла, расстояния, высоты инструмента и визирования).

Погрешность измерения расстояний электронным тахеометром определяется выражением  $m_L = 2 \text{ мм} \pm 2 \text{ мм/км} \cdot L$ , где  $L$  — длина стороны, км. СКП измерения вертикального угла для высокоточного тахеометра Leica TCR 1201 составляет 1,5".

Зависимость средней квадратической погрешности  $m_h$  определения превышения от угла наклона визирного луча зрительной трубы и расстояния  $L$  от связующего репера до тахеометра приведена в табл. 1.

Таблица 1

Средняя квадратическая погрешность определения превышения при трех приемах измерений тахеометром Leica TCR 1201, м

L, м	Угол наклона визирной оси $\delta$ , градусы			
	5	10	15	20
50	0,00085	0,00087	0,00090	0,00094
100	0,00092	0,00094	0,00097	0,00101
150	0,00104	0,00105	0,00107	0,00111
200	0,00118	0,00119	0,00121	0,00123
300	0,00150	0,00151	0,00152	0,00153
400	0,00187	0,00187	0,00186	0,00186
500	0,00225	0,00224	0,00223	0,00216
600	0,00264	0,00263	0,00261	0,00258
800	0,00345	0,00343	0,00339	0,00334
1000	0,00427	0,00423	0,00418	0,00411

Средняя квадратическая погрешность определения положения последующего связующего репера будет включать в себя СКП первого связующего репера и погрешность собственно способа определения превышения репера:

$$m_{(n+1)СВЯЗ_h}^2 = \sqrt{m_{(n)СВЯЗ_h}^2 + m_{СПОС_h}^2} \quad (2)$$

Для расчетов точности был принят угол наклона визирной оси  $20^\circ$ , который наиболее часто встречается при инструментальных наблюдениях по профильным линиям на борту карьера (рис. 1).

Результаты расчетов СКП определения высотного положения связующих реперов, выполненных по формуле (2), сведены в табл. 2, графики изменения точности определения по-

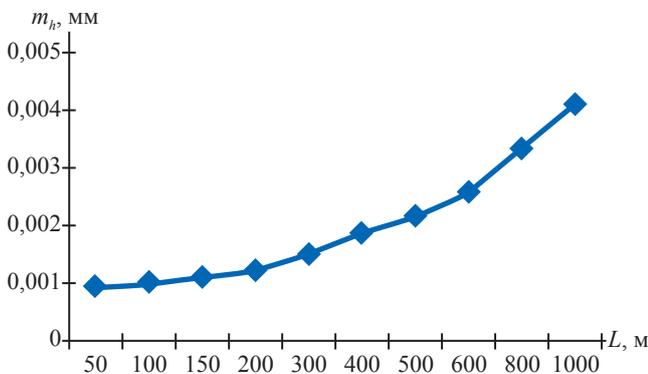


Рис. 1. Погрешность определения высотного положения репера для угла наклона  $20^\circ$

ложения каждого следующего связующего репера приведены на рис. 2.

Таблица 2

Средняя квадратическая погрешность  $m_h$  определения высотного положения связующих реперов при трех приемах измерений, мм

Номер связующего репера	Расстояние между связующими реперами L, м					
	100	200	300	400	500	600
1	1,01	1,230	1,530	1,860	2,160	2,580
2	1,43	1,739	2,164	2,630	3,055	3,649
3	1,75	2,130	2,650	3,221	3,741	4,469
4	2,02	2,460	3,060	3,719	4,320	5,160

Средняя квадратическая погрешность определения планового положения первого связующего репера способом полярных координат определяется выражением:

$$m_p^2 = m_{ПОЛ}^2 + m_{ИСХ}^2 + m_{ЦТ}^2 + m_{ОРИЕН}^2 + m_{ФО}^2 \quad (3)$$

Анализ результатов по оценке точности измерений показал, что при трех приемах измерений тахеометром Leica TCR 1201 для определения планового положения реперов, требуемая точность 3 мм обеспечивается только для двух связующих реперов, находящихся на расстоянии 250 м друг от друга, что является недостаточным для глубоких карьеров.

Результаты выполненных расчетов СКП определения планового положения связующих реперов при шести приемах измерений сведены в табл. 3. Графики точности определения планового положения каждого следующего связующего репера приведены на рис. 3.

Согласно проведенным исследованиям при выполнении инструментальных наблюдений за состоянием устойчивости откосов уступов карьеров и отвалов, а также наблюдений за деформациями зданий и сооружений рекомендуется использовать высокоточный тахеометр

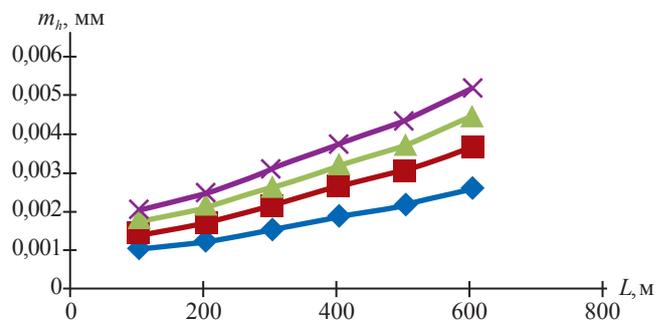


Рис. 2. Точность определения высотного положения связующего репера:

— ромб — 1; — квадрат — 2; — треугольник — 3; — крест — 4

Таблица 3

**Средняя квадратическая погрешность  $m_p$  определения планового положения связующих реперов при шести приемах измерений, мм**

Номер связующего репера	Расстояние между связующими реперами $L$ , м					
	100	200	300	400	500	600
1	1,910	2,150	2,482	2,874	3,305	3,761
2	2,120	2,396	2,764	3,192	3,661	4,155
3	2,311	2,619	3,020	3,482	3,985	4,515
4	2,487	2,824	3,256	3,749	4,285	4,848

Leica TCR 1201, который позволяет выявить микродеформации и определить начальную стадию деформации и границы ее распространения. Проведенный анализ точности определения положения связующих реперов длинных профильных линий позволяет решить вопрос о длине профильных линий, о месте положения опорных реперов, контрольных и наблюдательных пунктов на профильных линиях, обеспечивающих требуемую точность измерений.

Для глубоких карьеров со сложными горно-геологическими условиями характерно значительное увеличение связующих реперов по профильной линии наблюдательной станции [3]. Так согласно расчетам при среднем расстоянии между связующими реперами равном 300 м, средняя квадратическая погрешность положения связующих реперов на нижних горизонтах составляет: четвертого — 3,256; пятого — 3,476; шестого — 3,683; седьмого — 3,879 мм.

Анализ точности показывает, что полученные СКП положения реперов превышают допустимое значение 3 мм. Поэтому возникает необходимость совершенствования методики производства инструментальных наблюдений путем комбинирования электронной тахеометрии и GPS-наблюдений. В результате исследования точности определения планово-высотного положения реперов GPS-приборами и учитывая основные факторы, влияющие на точность работ, можно выразить СКП положения следующей формулой

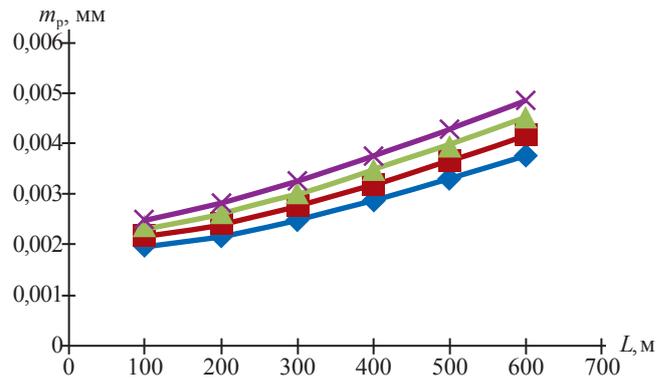
$$m_{\text{связ-GPS}} = \sqrt{m_{\text{ЦП}}^2 + m_{\text{ТЕХН-GPS}}^2 + m_{\text{ГОР}}^2 + m_{\text{ЦА}}^2}, \quad (4)$$

где  $m_{\text{ЦП}}$  — ошибка центрирования GPS-приемника над связующим репером, мм;  $m_{\text{ТЕХН-GPS}}$  — точность технологии GPS-съемок по определению положения пунктов;  $m_{\text{ГОР}}$  — ошибка горизонтирования GPS-приемника, мм;  $m_{\text{ЦА}}$  — ошибка за нестабильность фазового центра антенн, мм.

Средняя квадратическая погрешность центрирования для оптического центра тахеометра определится формулой

$$m_{\text{ЦТ}} = e \sqrt{1 + \left(\frac{L}{b}\right)^2} = 0,5\sqrt{2} = 0,7, \quad (5)$$

где  $e$  — линейный элемент центрирования, который принимается равным 0,5 мм и при  $L \approx b$ ;  $b$  — длина базиса.



**Рис. 3. Точность определения планового положения каждого следующего связующего репера:**  
 — 1; — 2; — 3; — 4

Точность технологии GPS-съемок зависит от технологии и времени выполнения измерений, для связующих реперов наблюдательных станций глубоких карьеров предусматривается технология «быстрая статика 20–30 мин» при расстоянии до базового приемника равном 10 км, тогда  $m_{\text{ТЕХН-GPS}} = 1,0$  мм.

Ошибка горизонтирования GPS-приемника, зависит от точности установки оси круглого уровня в отвесное положение и определяется выражением

$$m_{\text{ГОР}} = \frac{0,1\tau}{\rho} h_0, \quad (6)$$

где  $\tau$  — цена деления круглого уровня стойки отражателя, угл. секунды;  $h_0$  — высота установки GPS-приемника, м.

На GPS-приборе установлен круглый уровень, цена деления которого 10' или 600". Тогда ошибка горизонтирования GPS-приемника составит

$$m_{\text{ГОР}} = \frac{0,1 \cdot 600}{206265} 1500 = 0,44 \text{ мм.}$$

Ошибка за нестабильность фазового центра антенн принимается на основании проведенных исследований в режиме «быстрая ста-

тика», которые показали колебания фазового центра в горизонтальной плоскости меньше 1,0 мм.

Средняя квадратическая погрешность определения планового положения связующего репера с использованием технологии GPS-съебок:

$$m_{\text{СВЯЗ-GPS}} = \sqrt{m_{\text{ЦП}}^2 + m_{\text{ТЕХН-GPS}}^2 + m_{\text{ГОР}}^2 + m_{\text{ЦА}}^2} = \\ = \sqrt{0,7^2 + 1,0^2 + 0,44^2 + 1,0^2} = 1,64 \text{ мм.}$$

Проведенные исследования доказали целесообразность использования GPS-приемника для определения планово-высотного положения связующих реперов для комбинированной методики инструментальных наблюдений, где

положение рабочих реперов наблюдательных станций будет определяться электронным тахеометром [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Поклад Г.Г.* Сдвигение горных пород и земной поверхности под влиянием горных выработок. – Караганда, КарПТИ, 1985. – 75 с.
2. *Методические указания* по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 165 с.
3. *Временные методические указания* по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии. – Свердловск: УНИПРОМЕДЬ, 1989. – 126 с.
4. *Разработка программы* геомониторинга Качарского месторождения АОО СГПО / Отчет НИР кафедры МДиГ, КарГТУ, 2007. – 138 с.

*Принята к печати 16 января 2012 г.  
Рекомендована кафедрой маркшейдерского дела  
и геодезии КарГТУ*

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

Профессор, доктор техн.наук **В.К. Чибириков**,  
профессор, кандидат техн.наук **В.С. Старверов**, аспирант **К.А. Никитенко**  
*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*  
*Kira\_85@ukr.net*

**Аннотация.** Рассмотрены и проанализированы существующие методы влияния геологических процессов на магистральные газопроводы, а также общий порядок определения напряженно-деформированного состояния магистральных газопроводов в грунтовой основе. Предложены рекомендации относительно повышения точности выполнения геодезических работ в опасных геологических условиях.

**Ключевые слова:** магистральный газопровод, напряженно-деформированное состояние, оползень, прогиб газопровода

**Abstract.** The existing types for main pipelines' deformation altered by geologic processes were reviewed and analysed along with common procedure of determining state of intense distortion of ground pipelines. Recommendations are given for improving the accuracy of geodetic measuring in difficult geological conditions.

**Keywords:** main pipelines, deformation determination, rock slide, deflection of a gas pipeline

**Постановка задачи.** Одной из важнейших проблем развития газовой промышленности является повышение уровня эксплуатационной надежности магистральных газопроводов (МГ). Известно, что нормальная эксплуатация магистральных газопроводов зависит во многом не только от правильной поддержки всех технологических параметров режима работы, но и от воздействия различных внешних факторов. Например, в горных районах основным фактором, нарушающим нормальное функционирование магистральных газопроводов, является действие силового поля, вызванное сдвижными и эрозионными процессами.

Опыт эксплуатации магистральных газопроводов показывает, что недооценка влияния таких факторов как: криогенные процессы; оползни; водно-эрозионные процессы; гравитационные процессы и другие факторы приводят к разрушению газопроводов, что, в свою очередь, приводит к экономическим затратам, а также к загрязнению окружающей среды. Для поддержания надежности эксплуатации магистральных газопроводов и разработки защитных мероприятий необходимо иметь объективную и достоверную информацию о деформации газопровода, а также развития оползневых и эрозионных явлений.