

УДК 622.1:528.41

ПРИМЕНЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ АЗИМУТОВ В МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ

И. Пандул, Ю. Корнилов, В. Потюхляев, А. Зубов

Санкт-Петербургский государственный горный институт

Ключевые слова: маркшейдерско-геодезические работы, астрономический азимут, дирекционный угол.

Актуальность поставленной задачи

Сегодня когда приветствуется рост малых предприятий бизнеса, наблюдается увеличение числа горнодобывающих производств, расположенных в труднодоступных, необжитых местах. Как следствие, на территориях этих малых горных предприятий нет опорной геодезической сети пунктов надлежащей густоты. В связи с этим возрастают трудности маркшейдерского обеспечения горных разработок. Они основаны на невозможности отыскать опорные геодезические пункты в районах функционирования малых горных предприятий.

Вести маркшейдерские работы можно в некоторой условной прямоугольной системе плановых координат, но она всегда должна быть ориентирована. Малое предприятие стеснено в средствах и не всегда может приобрести спутниковую аппаратуру, да и само наличие GPS-техники при отсутствии достаточной опорной сети не позволит осуществить дифференциальный способ GPS-определений. В таких условиях дефицита опорных пунктов целесообразно использовать астрономическое ориентирование маркшейдерско-геодезических сетей.

Ниже приведем перечень маркшейдерско-геодезических задач, встречающихся при обслуживании горных работ, где в той или иной степени используются азимут или дирекционный угол некоторых линий.

А. При подземном способе отработки месторождений полезных ископаемых:

1. Ориентирование подземных опорных и съемочных сетей, планов горных выработок и горных работ.

2. Съемка складов полезного ископаемого и отвалов пустых горных пород.

3. Ориентирование разведочных линий, а также карт и планов земной поверхности в районе горных работ.

4. Ориентирование инклинометрических или звуколокационных съемок скважин.

5. Ориентирование наблюдательных станций при различного рода мониторингах.

6. Маркшейдерское обеспечение проведения горных выработок, при разнообразных разбивках и привязках.

Б. При открытых способах горных работ и на нефтепромыслах:

1. Создание опорной и съемочной сетей на карьерах, разрезах, дражных полигонах, приисках и нефтепромыслах.

2. Ориентирование горно-разведочных выработок.

3. Маркшейдерское обеспечение буровзрывных работ.

4. Съемка складов полезного ископаемого и отвалов пустой породы.

5. Маркшейдерско-геодезические задачи, возникающие при строительстве горного предприятия.

6. Маркшейдерское сопровождение рекультивационных работ.

Из этого перечня следует, что полноценное маркшейдерское обеспечение горных разработок немислимо без четкого ориентирования. При этом целесообразно получать дирекционные направления астрономическим способом.

Решение поставленной задачи

Рекомендуем для определения астрономического азимута направления использовать яркие (навигационные) звезды, которые легко визуальнo отыскать на небосводе без составления эфемерид. В табл. 1 приведен список рекомендованных звёзд.

Таблица 1

Список ярких звезд, рекомендуемых для наблюдений

№ по АЕ	Название звезды	Яркость	№ по АЕ	Название звезды	Яркость
2	α Андромеды (Альферац)	+2,1 ^m	277	β Б. Медведицы (Мерак)	+2,3 ^m
14	α Кассиопеи (Шедар)	+2,2	293	β Льва (Денебола)	+2,1
21	γ Кассиопеи	+1,6-3,0	316	ϵ Б. Медведицы (Алиот)	+1,8
54	α Овна (Хамаль)	+2,0	333	η Б. Медведицы (Бенетнаш)	+1,8
83	α Персея (Мирфак)	+1,8	345	α Волопаса (Арктур)	0,0
119	α Тельца (Альдебаран)	+0,9	373	α Сев. Короны (Гемма)	+2,2
143	α Возничего (Капелла)	+0,1	424	α Змееносца (Пас-Альхаг)	+2,1
167	α Ориона (Бетельгейзе)	+0,4-1,3	453	α Лиры (Вега)	0,0
186	γ Близнецов (Алхена)	+1,9	482	α Орла (Альтаир)	+0,8
213	α М. Пса (Процион)	+0,4	506	α Лебедя (Денеб)	+1,2
216	β Близнецов (Поллукс)	+1,2	532	ϵ Пегаса	+0,7-3,5
261	α Льва (Регул)	+1,4	566	α Пегаса (Миркаб)	+2,5

Для наблюдений необходим теодолит и метеоприборы: наружный термометр и барометр-анероид для вычисления астрономической рефракции ρ . В этом способе не надо иметь звездный хронометр, не нужно знать время наблюдения, необходимы только широта места φ (с карты масштаба 1: 100000 или крупнее) и склонение светила δ из Астрономического ежегодника (АЕ) по дате наблюдения. Видимые места звезд в АЕ на текущий год легко ксерокопировать в любой республиканской библиотеке.

Сущность способа заключается в определении азимута наблюдаемой звезды и одновременном измерении горизонтального угла между звездой и земным предметом.

Азимут звезды вычисляют по формуле:

$$\cos A' = (\sin \delta - \sin \varphi \sin h) / \cos \varphi \cos h,$$

где A' – азимут светила; h – высота светила, $h = 90^\circ - z$; z – среднее зенитное расстояние светила.

Если светило наблюдалось на востоке, то его азимут в геодезическом счете (от точки севера) $A = A'$, если на западе, $A = 360^\circ - A'$. Азимут земного предмета

$$A_\Delta = A + Q,$$

где $Q = M - N$; M и N – среднее значение направления соответственно на земной предмет и на светило.

При появлении звезды в поле зрения трубы теодолита приводят в горизонтальное положение ось уровня при алидаде вертикального круга и наводят на звезду перекрестие нитей зрительной трубы. Обычно сначала на звезду наводят вертикальную нить сетки нитей и, вращая наводящий винт алидады горизонтального круга, удерживают звезду на вертикальной нити до тех пор, пока она не придет в перекрестие нитей сетки. После чего берут отсчеты по обоим

кругам теодолита. Для наблюдений выбирают яркие звезды, азимуты которых находятся в пределах $50^\circ - 130^\circ$ и $230^\circ - 310^\circ$, а высоты не превышают 30° .

Каждый прием выполняют в такой последовательности (см. табл. 3): при КЛ берут отсчет по горизонтальному кругу на земной предмет и отсчеты по вертикальному и горизонтальному кругам на звезду. При КП – отсчеты по вертикальному и горизонтальному кругам на звезду. Заканчивают прием отсчетом по горизонтальному кругу на земной предмет. Перед взятием отсчетов по вертикальному кругу совмещают изображения концов пузырька контактного уровня.

Обычно в программе наблюдают четыре-шесть ярких звезд. После наблюдения первой и последней звезды записывают температуру и атмосферное давление воздуха, необходимые для вычисления истинной астрономической рефракции ρ . Астрономическую рефракцию находят по таблицам в АЕ или вычисляют по формуле

$$\rho = 60,3'' \cdot \frac{B}{760} \cdot \frac{273^\circ\text{C}}{t + 273^\circ\text{C}} \cdot \text{ctg } h.$$

Половину звезд наблюдают на западе, остальные – на востоке. Количество приемов, допустимые расхождения значений азимуты из приемов показаны в табл. 2. Расхождения между значениями азимута зависят от количества приемов, требуемой точности определения и не должны превышать таких допусков, секунды дуги.

Таблица 2

Требования к точности измерений

Требуемая точность определения азимута	2	5	10	15	30	60
Число приемов	10	6	4	3	2	2
Расхождения между приёмами	10	15	30	45	60	90

Таблица 3

Вычисление азимута направления на земной предмет

Журнал наблюдений

7/8 июня 2010 г.

$B = 1039,7$ гПа (780,0 мм рт.ст.)

Теодолит ОТ-02

$\varphi = 58^\circ 10' 30''$ N

$t^\circ = + 6,5^\circ$

Объект наблюдений	Круг	Вертикальный круг				Горизонтальный круг			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Сигнал	Л								
Звезда		112°	10'	46,7 ⁶ /46,5 ⁶	11' 33,2''	50°	18'	18,9 ⁶ /18,5 ⁶	18' 37,4''
Звезда	П	67	58	34,1/34,2	59 08,3	273	36	32,5/32,8	37 05,3
Сигнал						94	12	11,7/11,4	12 23,1
						230	18	22,6/22,4	18 45,0
Отсчеты по вертикальному кругу ОТ-02 Л = 112° 11' 33,2'' П = 67 59 08,3 $h' = 44 12 24,9$ $h = h' - \rho = 44^\circ 11' 22,9''$ Звезда α Воо, № 345 (Арктур) на западе						Значения средних направлений $M = 230^\circ 18' 41,2''$ $N = 93 54 44,2$ $Q = 136 23 57,0$ ρ – поправка за рефракцию, $\rho = 1' 02,0''$			
h		44° 11' 22,9''				$\sin \delta - \sin \varphi \sin h$			
δ		19 07 39,3 N				$\cos \varphi \cos h$			
$\sin \delta$		0,327 673				$\cos A'$			
$\sin h$		0,697 036				A'			
$\cos h$		0,717 036				A			
$\sin \varphi$		0,849 663				Q			
$\cos \varphi$		0,527 326				A_Δ			
						– 0,264 573			
						0,378 112			
						– 0,699 721			
						134° 24' 16,7''			
						225 35 43,3			
						136 23 57,0			
						1° 59' 40,3''			

Ошибки измерения горизонтальных направлений полностью входят в определяемый азимут. Чтобы уменьшить их, азимут следует наблюдать несколькими приемами и обязательно с перестановкой лимба между приемами на величину $180^\circ/m$, где m – число приемов. Перед каждым приемом уровень при алидаде горизонтального круга теодолита надо тщательно поверять.

Переход от астрономического азимута к дирекционному углу

Искомый дирекционный угол α_{12} получают по формуле:

$$\alpha_{12} = A_{\Delta} - \gamma_{\text{астр}} + \delta_{12},$$

где $\gamma_{\text{астр}}$ – сближение меридианов, вычисленное по астрономическим широте и долготе,

$$\text{tg}\gamma_{\text{астр}} = \text{tg}(\lambda - L_0)\sin\varphi,$$

где λ тоже берут с карты, а L_0 – долгота осевого меридиана шестиградусной зоны.

Значение δ_{12} – поправку за кривизну геодезической линии на плоскости – можно вычислить по формуле

$$\delta_{12} = -16 \cdot S_{12} \cos\varphi \text{tg}(\lambda - L_0) \cos A_{\Delta},$$

где S_{12} – расстояние от пункта наблюдения до земного предмета, км.

Выводы и рекомендации

Опорные маркшейдерско-геодезические сети следует ориентировать астрономическим способом, переходя затем к дирекционному углу. Это позволит избежать затруднительных и дорогостоящих измерений при привязке маркшейдерской опорной сети.

Читателям, желающим более углубленно ознакомиться с геодезическими методами ориентирования, рекомендуем обратиться к монографии [1]. Книгу можно приобрести в издательстве по адресу: 191023, Санкт-Петербург, Инженерная ул., дом 6, 3 этаж. Тел./факс: 8 – 107 – 812 – 312 – 44 – 95, 312 – 53 – 90, 710 – 62 – 73.

Возможна отправка “Книга – почтой” наложенным платежом.

Литература

1. Пандул И.С. Геодезическая астрономия применительно к решению инженерно-геодезических задач. – СПб: Политехника, 2010. – 324 с.

Применение астрономических азимутов в маркшейдерско-геодезических работах

И. Пандул, Ю. Корнилов,
В. Потюхляев, А. Zubov

Приведены перечни маркшейдерско-геодезических работ при отработке месторождений открытым и подземным способами. Дан пример ориентирования опорных маркшейдерско-геодезических сетей путём определения азимута методом наблюдения ярких звезд, который не требует составления эфемерид и применения звёздного хронометра.

Використання астрономічних азимутів у маркшейдерсько-геодезичних роботах

І. Пандул, Ю. Корнилов,
В. Потюхляев, А. Zubov

Наведено перелік маркшейдерсько-геодезичних робіт під час розроблення родовищ відкритим та закритим способами. Дано приклад орієнтування опорних маркшейдерсько-геодезичних мереж через визначення азимута методом спостережень яскравих зірок, який не потребує складання ефемерид та використання зоряного хронометра.

Using astronomical azimuths in geodetic and mine Surveying

I. Pandul, Yu. Kornilov,
V. Potukhlaev, A. Zubov

The list of geodetic and mine surveying during development of occurrence with open and closed methods has been described. Shown an example of orientation geodetic networks with azimuth determining by bright stars methods, which does not require ephemerides computing and using the star chronometer.



EUREF 2011

**25–28 травня 2011 р.
м. Кишинев, Молдова**

Відбудеться черговий EUREF симпозиум з питань функціонування європейської перманентної мережі EPN та подальшого вдосконалення загальноєвропейської референційної системи координат ETRS89 і вертикальної системи EVRS.

Більше інформації на <https://sites.google.com/site/euref2011/>