

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2497076

### СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОГО АЗИМУТА И ШИРОТЫ ПО НЕИЗВЕСТНЫМ ЗВЕЗДАМ

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный" (RU)*

Автор(ы): *Пандул Игорь Садукович (RU)*

Заявка № 2012123031

Приоритет изобретения 04 июня 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 октября 2013 г.

Срок действия патента истекает 04 июня 2032 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012123031/28, 04.06.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
04.06.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.06.2012

(45) Опубликовано: 27.10.2013 Бюл. № 30

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: И. Пандул, В. Колгунов. Приближенное определение широты и азимута по неизвестным звездам. Сучасні досягнення геодезичнои науки та виробництва, випуск П(24), (с. 173-176), 2012. UA 42158 A, 15.10.2001. SU 1820210 A1, 07.06.1993. SU 71571 A1, 14.05.1946.

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,  
ФГБОУ ВПО "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", отдел интеллектуальной собственности и трансфера технологий (отдел ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

Пандул Игорь Садукович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный" (RU)

**(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОГО АЗИМУТА И ШИРОТЫ ПО НЕИЗВЕСТНЫМ ЗВЕЗДАМ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области астрономо-геодезических измерений и может быть использовано для определения по звездам астрономических азимутов направлений на земные ориентиры для решения разнообразных задач инженерной геодезии. Способ определения астрономического азимута и широты по неизвестным звездам включает измерение теодолитом зенитных расстояний наблюдаемой неизвестной звезды и горизонтальных направлений на нее и на земной предмет, вычисление места севера и азимута как разности горизонтального

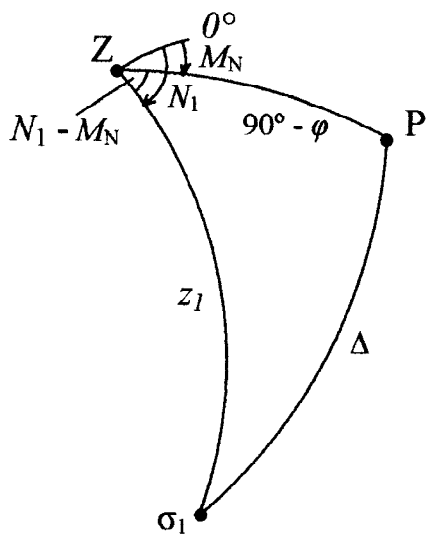
направления на земной предмет и места севера. Измерения теодолитом проводят четырехкратно через промежутки времени не более 60 мин и место севера вычисляют по формуле:  $\text{tg } M_N = A/B$ ,

а широту определяют дважды по формулам:

$$\text{tg } \varphi = [\sin z_2 \cos(N_2 - M_N) - \sin z_1(N_1 - M_N)] : (\cos z_1 - z_2);$$

$$\text{tg } \varphi = [\sin z_4 \cos(N_4 - M_N) - \sin z_3(N_3 - M_N)] : (\cos z_3 - z_4).$$

Техническим результатом является расширение функциональных возможностей и повышение точности совместного определения азимута и широты. 4 ил.



Параллактический треугольник светила  $\sigma_1$

Фиг. 1

RU 2497076 C1

RU 2497076 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*G01C 1/00* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012123031/28, 04.06.2012

(24) Effective date for property rights:  
04.06.2012

Priority:

(22) Date of filing: 04.06.2012

(45) Date of publication: 27.10.2013 Bull. 30

Mail address:

199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 linija, 2,  
FGBOU VPO "Natsional'nyj mineral'no-syr'evoj  
universitet "Gornyj", otdel intellektual'noj  
sobstvennosti i transfera tekhnologij (otdel IS i TT)

(72) Inventor(s):

**Pandul Igor' Sadukovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Natsional'nyj  
mineral'no-syr'evoj universitet "Gornyj" (RU)

(54) **METHOD TO DETERMINE ASTRONOMIC AZIMUTH AND LATITUDE BY UNKNOWN STARS**

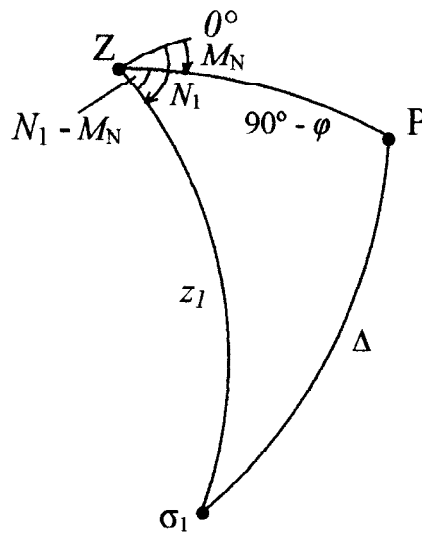
(57) Abstract:

FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: method to determine astronomic azimuth and latitude by unknown stars includes measurement of zenith distances of the observed unknown star with a theodolite, as well as of horizontal directions at it and at an earth object, calculation of the north place and azimuth as the difference of the horizontal direction at the earth object and the north place. Measurements with the theodolite are carried out four times via time intervals of not more than 60 min., and the north place is calculated in accordance with the formula:  $\text{tg } M_N = A/B$ , and width is determined twice in accordance with the formulae:  $\text{tg } \varphi = [\sin z_2 \cos(N_2 - M_N) - \sin z_1 (N_1 - M_N)] : (\cos z_1 - z_2)$ ,  $\text{tg } \varphi = [\sin z_4 \cos(N_4 - M_N) - \sin z_3 (N_3 - M_N)] : (\cos z_3 - z_4)$ .

EFFECT: expansion of functional capabilities and increased accuracy of joint determination of azimuth and latitude.

4 dwg



Параллактический треугольник светила  $\sigma_1$

Фиг. 1

RU 2 4 9 7 0 7 6 C 1

RU 2 4 9 7 0 7 6 C 1

Изобретение относится к области астрономо-геодезических измерений и может быть использовано для определения по звездам астрономических азимутов направлений на земные ориентиры для решения разнообразных задач инженерной геодезии.

5 Известен способ определения азимута земного предмета (Колесниченко А.Е. Астрономическое определение азимута земного предмета. Артиллерийский журнал, №6, стр.24-28, 1951 г.), включающий измерение зенитные расстояния одной и той же звезды дважды через небольшой промежуток времени. Зная широту места, находят  
10 азимут  $a$  звезды в момент ее наблюдения по формуле:

$$A=O-N,$$

где  $O$  - среднее значение направления на звезду,

$$N=C_0-b_0+\Theta,$$

здесь  $C_0$  - средний отсчет по горизонтальному кругу на звезду.

$$15 b_0=\text{arc tg}[\Delta Z_0/(\text{tg } Z_0 \text{ tg } \Delta C_0)],$$

$$\Theta=\text{arc sin}[(\text{tg } \varphi \text{ tg } Z_0 \text{ sin } b_0)/\text{cos } C_0],$$

$$\Delta Z_0=(Z_2-Z_1)/2; Z_0=(Z_2+Z_1)/2;$$

$$\Delta C_0=(C_2-C_1)/2.$$

20 Точность определения азимута зависит от точности угловых измерений теодолитом и точности знания широты места наблюдения.

Недостатком является необходимость знание географической широты места стояния теодолита.

25 Известен способ определения азимута по неизвестной звезде (Колесниченко А.Е., Трофименко В.Т. О точности определения азимута по неизвестной звезде. Геодезия и картография, №6, стр.14-17, 1988 г.), включающий измерение дважды через небольшой промежуток времени зенитных расстояний и направлений на одну и ту же неизвестную звезду. Азимут  $A$  местного предмета вычисляют по формуле:

$$30 A=M-M_N,$$

где  $M$  - отсчет по горизонтальному кругу на земной предмет,

$M_N$  - место севера.

$$M_N=\Theta-b+N_0,$$

$$35 \text{ где } \Theta=\text{arc sin}[(\text{tg } \varphi \text{ tg } z_0 \text{ sin } b \text{ cos } \Delta N)/2],$$

$$b=\text{arc ctg}[(\text{tg } z_0 \text{ ctg } \Delta z \text{ tg } \Delta N)/2],$$

где  $z_0$  и  $\Delta z$  - полусумма и разность зенитных расстояний  $z_2$  и  $z_1$ ;

$N_0$  и  $\Delta N$  - полусумма и разность направлений на звезду.

40 Широта места снимается с топографической карты. Недостатком способа является предварительное знание широты места.

Известен способ определения широты и азимута по звезде с неизвестными координатами (Пандул И.С. Определение широты и азимута без помощи хронометра по звезде с неизвестными координатами. // Сб. «Записки горного института», том 156, СПГГИ, 2004 г., с.225-228), принятый за прототип. Азимут, отсчитываемый от точки  
45 севера, и широту определяют по 4-кратным измерениям зенитных расстояний одной и той же неизвестной звезды, горизонтальных направлений на нее и по измерению разности часовых углов с помощью среднего секундомера. Способ включает помимо измерения горизонтальных направлений и зенитных расстояний, замеры разности  
50 часовых углов звезды с помощью секундомера. Знание широты места наблюдателя не требуется. Азимут  $A$  вычисляют по формулам

$$A=N_0-M_N,$$

где  $N_0$  - горизонтальное направление на земной предмет,

$M_N$  - место севера, соответствующее направлению меридиана на местности,

$$M_N = N_1 - A_1,$$

где  $N_1$  - измеренное теодолитом горизонтальное направление на первую точку суточной параллели некоторой звезды,

$$A_1 = \arccos[(\sin \delta - \sin \varphi \cos z_1) : \sin z_1 \cos \varphi],$$

где  $\delta = \arcsin(\sin \varphi \cos z_1 + \cos \varphi \sin z_1 \cos A_1)$ ,

$$\varphi = \arcsin(\cos z_2 \sin \delta + \sin z_2 \cos \delta \cos q_2),$$

$q_2$  - параллактический угол второго параллактического треугольника.

Недостатком способа является значительное снижение точности определяемого азимута за счет одновременного применения теодолита и секундомера. Способ пригоден только для грубых определений.

Техническим результатом предлагаемого способа является расширение возможностей и повышение точности совместного определения азимута и широты.

Технический результат достигается тем, что в способе определения астрономического азимута на земной предмет и его широты, включающем измерение теодолитом зенитных расстояний наблюдаемой неизвестной звезды и горизонтальных направлений на нее и на земной предмет без применения секундомера, вычисление места севера и азимута как разности горизонтального направления на земной предмет и места севера, измерения теодолитом проводят четырехкратно через промежутки времени не более 60 мин, и место севера вычисляют по формуле:

$$\operatorname{tg} M_N = A/B,$$

где  $A$  и  $B$  вычисляют по формулам:

$$A = -b \cos N_1 + a \cos N_2 + d \cos N_3 - c \cos N_4,$$

$$B = +b \sin N_1 - a \sin N_2 - d \sin N_3 + c \sin N_4,$$

где коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  вычисляют по формулам:

$$a = \sin z_2 : (\cos z_1 - z_2);$$

$$b = \sin z_1 : (\cos z_1 - z_2);$$

$$c = \sin z_4 : (\cos z_3 - z_4);$$

$$d = \sin z_3 : (\cos z_3 - z_4);$$

где  $N_1, N_2, N_3, N_4$  - горизонтальные направления на наблюдаемую неизвестную звезду в четырех точках ее суточной параллели, измеренные по горизонтальному кругу теодолита,

$z_1, z_2, z_3, z_4$  - зенитные расстояния в четырех точках суточной параллели наблюдаемой неизвестной звезды, определяемые по формуле, соответствующей данному типу теодолита, по данным вертикального круга теодолита, а широту определяют дважды по формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi = [\sin z_2 \cos (N_2 - M_N) - \sin z_1 (N_1 - M_N)] : (\cos z_1 - z_2),$$

$$\operatorname{tg} \varphi = [\sin z_4 \cos (N_4 - M_N) - \sin z_3 (N_3 - M_N)] : (\cos z_3 - z_4).$$

Для обоснования и вывода формулы для определения астрономического азимута земного предмета воспользуемся фиг.1, где представлен параллактический треугольник светила  $\sigma_1$ . Пусть теодолитом измерены через определенный промежуток времени горизонтальные направления  $N_1$  и  $N_2$ , и зенитные расстояния  $z_1$  и  $z_2$  двух точек суточной параллели некоторой звезды.

$$\cos \Delta = \cos z_1 \sin \varphi + \sin z_1 \cos \varphi \cos (N_1 - M_N) \quad (1)$$

Здесь  $M_N$  - место севера,  $\Delta$  - полярное расстояние,  $\Delta = 90^\circ - \delta$ .

Из треугольника  $PZ\sigma_2$

$$\cos \Delta = \cos z_2 \sin \varphi + \sin z_2 \cos \varphi \cos (N_2 - M_N). \quad (2)$$

$$\cos z_1 \sin \varphi + \sin z_1 \cos \varphi \cos (N_1 - M_N) = \cos z_2 \sin \varphi + \sin z_2 \cos \varphi \cos (N_2 - M_N). \quad (3)$$

$$\sin \varphi \cos z_1 - \sin \varphi \cos z_2 = \cos \varphi \sin z_2 \cos (N_2 - M_N) - \cos \varphi \sin z_1 \cos (N_1 - M_N).$$

$$\sin \varphi (\cos z_1 - \cos z_2) = \cos \varphi [\sin z_2 \cos (N_2 - M_N) - \sin z_1 \cos (N_1 - M_N)].$$

$$\operatorname{tg} \varphi = [\sin z_2 \cos (N_2 - M_N) - \sin z_1 \cos (N_1 - M_N)] : (\cos z_1 - \cos z_2). \quad (4)$$

Аналогично, для второго полуприема наблюдений той же звезды

$$\operatorname{tg} \varphi = [\sin z_4 \cos (N_4 - M_N) - \sin z_3 \cos (N_3 - M_N)] : (\cos z_3 - \cos z_4). \quad (5)$$

$$[\sin z_2 \cos (N_2 - M_N) - \sin z_1 \cos (N_1 - M_N)] : (\cos z_1 - \cos z_2) =$$

$$= [\sin z_4 \cos (N_4 - M_N) - \sin z_3 \cos (N_3 - M_N)] : (\cos z_3 - \cos z_4). \quad (6)$$

Обозначим

$$\sin z_2 : (\cos z_1 - \cos z_2) = a; \quad \sin z_1 : (\cos z_1 - \cos z_2) = b;$$

$$\sin z_4 : (\cos z_3 - \cos z_4) = c; \quad \sin z_3 : (\cos z_3 - \cos z_4) = d.$$

Тогда

$$a \cos (N_2 - M_N) - b \cos (N_1 - M_N) = c \cos (N_4 - M_N) - d \cos (N_3 - M_N) \quad (7)$$

Равенство (7) преобразуем с использованием формул косинусов разностей двух углов.

$$a [\cos N_2 \cos M_N + \sin N_2 \sin M_N] - b [\cos N_1 \cos M_N + \sin N_1 \sin M_N] =$$

$$= c [\cos N_4 \cos M_N + \sin N_4 \sin M_N] - d [\cos N_3 \cos M_N + \sin N_3 \sin M_N].$$

$$a \cos N_2 \cos M_N + a \sin N_2 \sin M_N - b \cos N_1 \cos M_N - b \sin N_1 \sin M_N =$$

$$= c \cos N_4 \cos M_N + c \sin N_4 \sin M_N - d \cos N_3 \cos M_N - d \sin N_3 \sin M_N. \quad (8)$$

Обозначим выражения в скобках

$$- b \cos N_1 + a \cos N_2 + d \cos N_3 - c \cos N_4 = A.$$

$$+ b \sin N_1 - a \sin N_2 - d \sin N_3 + c \sin N_4 = B.$$

Получим

$$\cos M_N A = \sin M_N B. \text{ Откуда } \operatorname{tg} M_N = A / B. \quad (9)$$

Зная место севера, всегда легко получить астрономический азимут направления на земной предмет

$$A = N_0 - M_N, \quad (10)$$

где  $N_0$  - горизонтальное направление на земной предмет.

Широту определяют по формулам (4) и (5).

Сходимость широт  $\varphi$  вычисленных по формулам (4) и (5) служит контролем вычислений. Формулами (9-10) следует пользоваться при определении искомого азимута. Формулы легко программируются с помощью стандартной программы Mathcad и вычисления выполненных наблюдений занимают совсем мало времени.

Способ осуществляют следующим образом. Выбирают звезду в западной или восточной части неба. Наблюдения восточной звезды следует начинать, а западной - заканчивать невысоко над горизонтом. Наблюдают любую звезду, заметную и легко опознаваемую для повторных наблюдений. Чтобы не потерять выбранную звезду, ее

надо гидировать, удерживая все время в поле зрения грубы теодолита. Звезда должна быть не ближе  $35^\circ$  к меридиану наблюдателя, для чего теодолит следует грубо ориентировать в меридиане по компасу или на глаз. Измеренное зенитное расстояние отягощено приборными погрешностями, ошибкой наведения на звезду и ошибкой

5 определения астрономической рефракции. Для уменьшения влияния ошибки рефракции следует наблюдать звезду, если ее зенитное расстояние менее  $80^\circ$ . Для учета астрономической рефракции в каждом приеме необходимо измерять температуру  $t^\circ\text{C}$  и атмосферное давление воздуха  $B$  (в мм рт.ст.).

10 Порядок наблюдений следующий. Для наблюдений используют теодолит (желательно с накладным уровнем), наружный термометр, барометр-анероид, карманный фонарик и световая визирная цель. Для обеспечения устойчивости теодолита ножки штатива следует устанавливать на кирпичи или вбитые в землю

15 колья.

Первый полуприем - круг лево (круг право):

1) визирование на земной предмет: отсчеты  $N_0$  по горизонтальному и  $L, П$  по вертикальному кругам (при двух положениях вертикального круга). Перед каждым отсчетом по вертикальному кругу пузырек уровня при алидаде вертикального круга

20 приводят в нульпункт;

2) визирование на звезду и взятием отсчетов  $N_1$  по горизонтальному и  $L_1$  по вертикальному кругам;

3) приблизительно через час вторичное визирование на ту же звезду и взятие отсчетов  $N_2$  по горизонтальному и  $L_2$  по вертикальному кругам;

25 Далее следует перерыв в наблюдениях при смене кругов в течении примерно 10-15 минут.

Второй полуприем - круг право (круг лево):

4) визирование на ту же звезду, отсчеты  $N_3$  по горизонтальному и  $П_3$  по

30 вертикальному кругам;

5) через час вторичное визирование на звезду и отсчеты  $N_4$  по горизонтальному и  $П_4$  по вертикальному кругам;

6) повторное визирование на земной предмет: отсчеты  $N'_0$  по горизонтальному и  $П', Л'$  по вертикальному кругам (при двух положениях вертикального круга).

35

Вертикальный круг при визировании на земной предмет отсчитывают для последующего вычисления места зенита  $MZ$ . Полный прием измерений занимает не более 135 мин.

40 Методика визирования на звезду. После грубого захвата звезды горизонтальную нить следует установить на пути видимого движения звезды в поле зрения грубы.

Ввести изображение звезды в биссектор и удерживать его там до контакта с горизонтальной нитью. В этот момент надо прекратить вращение наводящего винта алидады и последовательно отсчитать вертикальный и горизонтальный круги

45 теодолита, предварительно убедившись в том, что пузырек уровня при алидаде вертикального круга находится в нульпункте. При выполнении приема в промежутках между наблюдениями звезды измерять температуру и атмосферное давление воздуха, необходимые для вычисления астрономической рефракции  $\rho$ . Для вычисления этих поправок брать метеоданные для конкретных наблюдений.

50 Для уменьшения ряда ошибок, в частности ошибки определения широты желательно отнаблюдать другую звезду в противоположной стороне неба по изложенной выше методике.

Методика вычислений.



Вычисляют место зенита вертикального круга MZ по формуле, например, для теодолита Theo - 010

$$MZ=0,5(L+P\pm 360^\circ),$$

где L, P - отсчеты по вертикальному лимбу при двух положениях (справа и слева от наблюдателя). Затем вычисляют видимые зенитные расстояния  $z_1, z_2, z_3, z_4$  - зенитные расстояния в четырех точках суточной параллели наблюдаемой звезды, определяемые по формуле, соответствующей данному типу теодолита, по данным вертикального круга теодолита. Например, для теодолита Theo - 010,

$$z=0,5(L-P\pm 360^\circ),$$

$$z=L-MZ,$$

$$z=MZ-P.$$

Истинные зенитные расстояния  $z$  получить, как  $z=z'+\rho$ , где  $\rho$  - истинная астрономическая рефракция, которую можно вычислить по формуле

$$\rho = 60,3'' \frac{B}{760} \cdot \frac{273^\circ}{t^\circ + 273^\circ} \operatorname{tg} z'$$

Затем по формулам (6, 7) вычисляют a, b, c, d и по формулам (9) A и B и место севера. Вычисления места севера  $M_N$  по каждому отдельному полуприему будут различаться между собой вследствие влияния ошибки в определении MZ, поэтому на последнем этапе вычислений берут среднее значение места севера из приема.

По формуле (10) вычисляют астрономический азимут направления на земной предмет L и по формулам (4, 5) широту места  $\varphi$ .

Пример. Проведен полевой эксперимент. Астрономические наблюдения азимута и широты способом выполнены летом 2011 года на Бережанском геодезическом полигоне с помощью точного оптического теодолита Theo-010. Наблюдения выполнялись по линии В-14 - АС-1 длиной 500 м. Координаты пунктов, широта и азимут линии определены из астрономических наблюдений 1 класса и приняты за эталонные:

$\varphi_0=49^\circ 27' 40''$  N,  $A_0=131^\circ 56' 43''$ . Теодолит Theo-010 был установлен на пункте В-14, а световая визирная цель - на пункте АС-1. В разные дни выполнены 4 приема измерений.

Результаты измерений и вычислений представлены на фиг.2, фиг.3 и фиг.4. Средняя квадратическая погрешность определения азимута из четырех приемов  $m_A=\pm 11''$ . Средняя квадратическая погрешность определения широты из четырех приемов  $m_\varphi=\pm 15''$ . Полевой эксперимент подтвердил достоверность вывода рабочих формул способа.

Таким образом, способ позволяет определить астрономический азимут направления на земной предмет с точностью  $\pm 10''$  и широту с точностью  $\pm 15''$  по некоторой неизвестной звезде без знания географических координат места наблюдения, точного звездного времени, названия и экваториальных координат наблюдаемой звезды.

#### Формула изобретения

Способ определения астрономического азимута и широты по неизвестным звездам, включающий измерение теодолитом зенитных расстояний наблюдаемой неизвестной звезды и горизонтальных направлений на нее и на земной предмет, вычисление места севера и азимута как разности горизонтального направления на земной предмет и места севера, отличающийся тем, что измерение теодолитом производят четырехкратно через промежутки времени не более 60 мин, и место севера вычисляют

по формуле:

$$\operatorname{tg} M_N = A/B;$$

где  $A$  и  $B$  вычисляются по формулам:

$$A = -b \cos N_1 + a \cos N_2 + d \cos N_3 - c \cos N_4;$$

$$B = +b \sin N_1 - a \sin N_2 - d \sin N_3 + c \sin N_4,$$

где коэффициенты  $a, b, c, d$  вычисляются по формулам:

$$a = \sin z_2 : (\cos z_1 - z_2); \quad b = \sin z_1 : (\cos z_1 - z_2);$$

$$c = \sin z_4 : (\cos z_3 - z_4); \quad d = \sin z_3 : (\cos z_3 - z_4);$$

где  $N_1, N_2, N_3, N_4$  - горизонтальные направления на наблюдаемую неизвестную звезду в четырех точках суточной параллели, измеренные по горизонтальному кругу теодолита;  $z_1, z_2, z_3, z_4$  - зенитные расстояния в четырех точках суточной параллели наблюдаемой неизвестной звезды, определяемые по формуле, соответствующей данному типу теодолита, по данным вертикального круга теодолита, а широту определяют дважды по формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi = [\sin z_2 \cos(N_2 - M_N) - \sin z_1 \cos(N_1 - M_N)] : (\cos z_1 - \cos z_2);$$

$$\operatorname{tg} \varphi = [\sin z_4 \cos(N_4 - M_N) - \sin z_3 \cos(N_3 - M_N)] : (\cos z_3 - \cos z_4).$$

№№ призм	Дата	Положение звезды	$\varphi$	$\varphi - \varphi_0$	$A$	$A - A_0$
1	27.05.11	восточная	49° 27' 4"N	- 4"	131°56'19"	- 24"
2	30.05.11	восточная	49 27 57	+ 17	131 56 31	- 12
3	4.06.11	западная	49 27 32	- 8	131 56 44	+ 1
4	4.08.11	восточная	49 28 06	- 26	131 56 23	- 20

Фиг.2

## Определение азимута

ishodnie dannie  
gorizontalnie napravlenia

N11 := 88    N12 := 56    N13 := 19.4    N21 := 104    N22 := 50    N23 := 23.2  
N31 := 118    N32 := 46    N33 := 39.2    N41 := 138    N42 := 10    N43 := 36.3

zenitnie rasstojania

Z11 := 79    Z12 := 56    Z13 := 50.5    Z21 := 66    Z22 := 52    Z23 := 04.4  
Z31 := 57    Z32 := 18    Z33 := 54.7    Z41 := 47    Z42 := 56    Z43 := 14.1

nachalnie napravlenia

N01 := 132    N02 := 51    N03 := 12.0

$$N1 := \frac{(N11 \cdot 3600 + N12 \cdot 60 + N13)}{206264.8} \quad N2 := \frac{(N21 \cdot 3600 + N22 \cdot 60 + N23)}{206264.8}$$

$$N1 = 1.552 \quad N2 = 1.83$$

$$N3 := \frac{(N31 \cdot 3600 + N32 \cdot 60 + N33)}{206264.8} \quad N4 := \frac{(N41 \cdot 3600 + N42 \cdot 60 + N43)}{206264.8}$$

$$N3 = 2.073$$

$$N4 = 2.412$$

$$Z1 := \frac{(Z11 \cdot 3600 + Z12 \cdot 60 + Z13)}{206264.8} \quad Z2 := \frac{(Z21 \cdot 3600 + Z22 \cdot 60 + Z23)}{206264.8}$$

$$Z1 = 1.395$$

$$Z3 := \frac{(Z31 \cdot 3600 + Z32 \cdot 60 + Z33)}{206264.8} \quad Z4 := \frac{(Z41 \cdot 3600 + Z42 \cdot 60 + Z43)}{206264.8}$$

$$N0 := \frac{(N01 \cdot 3600 + N02 \cdot 60 + N03)}{206264.8}$$

$$N0 = 2.319$$

$$a := \frac{\sin(Z2)}{\cos(Z1) - \cos(Z2)}$$

$$a = -4.213$$

$$c := \frac{\sin(Z4)}{\cos(Z3) - \cos(Z4)}$$

$$b := \frac{\sin(Z1)}{\cos(Z1) - \cos(Z2)}$$

$$d := \frac{\sin(Z3)}{\cos(Z3) - \cos(Z4)}$$

$$T := \frac{(-b \cdot \cos(N1) + a \cdot \cos(N2) + d \cdot \cos(N3) - c \cdot \cos(N4))}{b \cdot \sin(N1) - a \cdot \sin(N2) - d \cdot \sin(N3) + c \cdot \sin(N4)}$$

$$T = 0.016$$

Фиг.3

$$MN := \text{atan}(T) \quad MN = 0.016$$

$$MN1 := MN \cdot 57.2957795 \quad MNM := (MN1 - \text{trunc}(MN1)) \cdot 60$$

$$MNS := (MNM - \text{trunc}(MNM)) \cdot 60$$

$$MNG := \text{trunc}(MN1) \quad MNM := \text{trunc}(MNM) \quad MNS := \text{trunc}(MNS)$$

Mesto severa

$$MNG = 0 \quad MNM = 54 \quad MNS = 52$$

$$A := N0 - MN \quad A = 2.303$$

$$AG := A \cdot 57.2957795 \quad AM := (AG - \text{trunc}(AG)) \cdot 60$$

$$AS := (AM - \text{trunc}(AM)) \cdot 60$$

$$AG := \text{trunc}(AG) \quad AM := \text{trunc}(AM) \quad AS := \text{trunc}(AS)$$

Azimut

$$AG = 131 \quad AM = 56 \quad AS = 19$$

Control

$$F1 := \frac{(\sin(Z2) \cdot \cos(N2 - MN) - \sin(Z1) \cdot \cos(N1 - MN))}{\cos(Z1) - \cos(Z2)}$$

$$F2 := \frac{(\sin(Z4) \cdot \cos(N4 - MN) - \sin(Z3) \cdot \cos(N3 - MN))}{\cos(Z3) - \cos(Z4)}$$

$$F1 = 1.169$$

$$F2 = 1.169$$

$$F := \text{atan}(F1)$$

$$F = 0.863$$

$$FG := F \cdot 57.2957795$$

$$FM := (FG - \text{trunc}(FG)) \cdot 60$$

$$FS := (FM - \text{trunc}(FM)) \cdot 60$$

$$FG := \text{trunc}(FG) \quad FM := \text{trunc}(FM) \quad FS := \text{trunc}(FS)$$

Chirota

$$FG = 49$$

$$FM = 27$$

$$FS = 44$$

Фиг. 4