

Код МРНТИ 52.13.04.

\*А.Н. Казаков, Н.А. Хамитов

Ташкентский государственный технический университет (г. Ташкент, Узбекистан)

## УГЛОВЫЕ ГРАНИЦЫ УСТАНОВКИ СТАНЦИИ МЕТОДОМ ОБРАТНОЙ ЗАСЕЧКИ НА ЭЛЕКТРОННЫХ ТАХЕОМЕТРАХ

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос рекомендуемых угловых границ установки станции методом обратной засечки электронным тахеометром в отражательном и безотражательном режимах на основании результатов полевых наблюдений. На практике динамичность горных работ приводит к неизбежному созданию дополнительных пунктов наблюдения, диктующих жесткие правила вычисления координат пункта. Рассмотрены основные методы установки станции электронного тахеометра. Проведены полевые работы по установке станции методом обратной угловой засечки и отмечена точность результатов установки оборудования. По результатам полевых исследований рекомендованы границы установки станции, при которых обеспечиваются оптимальные условия для определения координат станции.

**Ключевые слова:** тахеометр, настройка станции, резекция, границы горизонтального угла, точность координат, точки ориентации.

### Электрондық жалпы станцияларда кері орнату әдісі бойынша станцияларды орнатуының бұрыштық шекатері

**Аңдатпа.** Мақалада далалық бақылаулар нәтижелері бойынша шағылыстырғыш және шағылыстырғышсыз режимде электронды тахеометрмен резекция әдісімен станция қондырғысының ұсынылатын бұрыштық шекаралары туралы мәселе қарастырылады. Тәжірибеде тау-кен жұмыстарының динамикалық нүктенің координаталарын есептеудің қатаң ережелерін талап ететін косымша бақылау нүктелерін сөзсіз қуруға әкеледі. Электрондық тахеометр станциясын орнатудың негізгі әдістері қарастырылады. Кері бұрышты резекция әдісімен станцияны орнату бойынша дала жұмыстары жүргізілді және жабдықты орнату нәтижелерінің дәлдігі тіркелді. Далалық зерттеулердің нәтижелері бойынша станцияның координаталарын анықтау үшін оңтайлы жағдайлар қарастырылған станцияны орнатудың ұсынылатын шекаралары ұсынылады.

**Түйінді сөздер:** тахеометр, станцияны баптау, резекция, горизонталь бұрыш шекаралары, координаталар дәлдігі, бағдар нүктелері.

### Angular borders of station installation by the method of resection on electronic total stations

**Abstract.** The article deals with the question of the recommended angular boundaries of the station installation by the method of «resection» by an electronic tachometer in reflective and reflectorless mode based on the results of field observations. In practice, the dynamism of mining operations leads to the inevitable creation of additional observation points, which dictate strict rules for calculating the coordinates of a point. The main methods of installation of the station of the electronic tachometer are considered. Field work was carried out on the installation of the station using the reverse angle resection method and the accuracy of the results of the equipment installation was recorded. Based on the results of field studies, recommended boundaries for the installation of the station are proposed, under which optimal conditions are provided for determining the coordinates of the station.

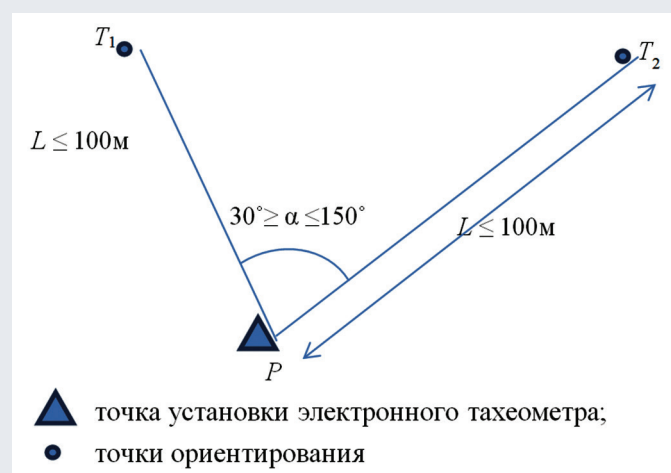
**Key words:** tachometer, station setting, serif, boundaries of horizontal angles, coordinate accuracy, orientation points, measurement, Young's formula, Gauss's formula, error, root mean square fault.

### Введение

Настоящая статья посвящена результатам полевых исследований с применением электронных тахеометров в области маркшейдерско-геодезического обеспечения при наблюдении за деформациями и сдвигами горных пород [1]. Сущность маркшейдерско-геодезического обеспечения при наблюдении за деформациями заключается в задачах, связанных с обеспечением нормальной работы сооружений и горных выработок на территории горного предприятия, а также наблюдением за деформациями и сдвигами горной породы<sup>2,3</sup>.

Необходимо обратить внимание на основной недостаток маркшейдерско-геодезического обеспечения при наблюдении за деформациями заключающийся, как правило, в динамичности горных работ на территории добычи полезных ископаемых, что вызывает в большинстве случаев смещение площадок для установки инструмента, вследствие чего возникает отсутствие видимости пунктов опорной сети<sup>1</sup>. Данные условия приводят к необходимости создания дополнительных точек наблюдения для установки инструмента. Определение положения таких пунктов может быть выполнено прямой и обратной угловыми и линейными засечками, либо их комбинациями, лучевыми и полярными системами. Иногда

дополнительный пункт определяют путем передачи координат с вершины недоступного знака на землю.



**Рис. 1. Угол  $\alpha$ , измеряемый при установке станции методом «обратная засечка».**

**Сурет 1. «Кері байланыстыру» әдісімен станцияны орнату кезінде өлшенетін  $\alpha$  бұрышы.**

**Figure 1. Angle  $\alpha$  measured when setting up the station using the Resection method.**

<sup>1</sup>Голубко Б.П., Панжин А.А. Маркшейдерские работы при разработке месторождений открытым способом: учеб. пособие. – Екатеринбург: УГТУ, 2005. – 155 с.

<sup>2</sup><https://thepresentation.ru/geografiya/opredelenie-polozeniya-dopolnitelnyh-opornyh-punktov>

<sup>3</sup>Uren J., Price W.F. Surveying for Engineers. Fourth edition. – London: Palgrave Macmillan, 2010. – 820 p.

Таблица 1

Результаты точности установки станции методом обратной засечки

Кесте 1

Кері байланыстыру әдісі арқылы станцияны орнату дәлдігі нәтижелері

Table 1

Station setup accuracy results using the resection method

Точность положения или СКО, м	Точность высоты, СКО по высоте, м	СКО угловых измерений, точность горизонтального угла (градусы;минуты;секунды)	Горизонтальный угол между опорными точками и станцией (градусы;минуты;секунды)	Расстояние до первой опорной точки, мм	Расстояние до второй опорной точки, мм
0,0002	0,0013	0°00'01''	79°15'52''	53250	74256
0,0002	0,0011	0°00'02''	121°37'22''	34603	22229
0,0007	0,0009	0°00'01''	115°25'05''	24261	43115
0,0011	0,0008	0°00'02''	71°33'44''	29151	47716
0,0010	0,0013	0°00'01''	139°01'27''	23911	39359
0,0012	0,0001	0°00'01''	112°11'35''	24373	41386
0,0010	0,0002	0°00'01''	98°18'36''	53250	28956
0,0021	0,0019	0°00'07''	169°25'37''	16033	23911
0,0016	0,0017	0°00'05''	25°32'45''	32479	57073
0,0009	0,0010	0°00'00''	113°47'16''	22741	27629
0,0001	0,0001	0°00'01''	98°45'12''	21994	19637
0,0005	0,0004	0°00'01''	139°09'36''	48753	50654
0,0006	0,0011	0°00'01''	35°50'44''	54125	39774
0,0011	0,0009	0°00'01''	48°41'55''	23569	31123
0,0009	0,0006	0°00'01''	151°33'26''	22963	19568
0,0003	0,0004	0°00'01''	53°56'35''	71569	66126
0,0018	0,0021	0°00'05''	175°22'13''	69569	45987
0,0028	0,0018	0°00'06''	188°01'09''	44125	48966
0,0011	0,0008	0°00'01''	82°12'07''	48569	47896
0,0009	0,0006	0°00'01''	43°23'58''	37569	57893
0,0015	0,0013	0°00'08''	171°41'22''	36718	55658
0,0014	0,0013	0°00'07''	179°39'11''	63347	74365
0,0001	0,0001	0°00'01''	145°32'44''	42571	41257
0,0010	0,0006	0°00'01''	81°12'36''	75123	25696
0,0006	0,0003	0°00'02''	97°49'52''	61236	42365
0,0009	0,0005	0°00'01''	132°58'01''	56923	41236
0,0007	0,0001	0°00'01''	45°12'09''	22563	25667
0,0006	0,0003	0°00'01''	77°52'07''	17586	48569
0,0011	0,0001	0°00'01''	149°42'52''	12596	22365
0,0001	0,0002	0°00'01''	81°45'59''	29365	45365
0,0020	0,0015	0°00'04''	167°52'44''	18522	29566

СКО – среднеквадратическая ошибка

**Методы исследования**

Цель статьи заключается в исследовании точности установки станции методом обратной линейно-угловой засечки.

Прямая геодезическая угловая засечка применяется для определения координат дополнительной точки на основании двух исходных пунктов с известными координатами. Для обеспечения надежного

контроля измерений и повышения точности определения положения искомого пункта на практике, как правило, применяют многократные прямые засечки не менее чем с трех исходных пунктов<sup>4</sup>.

Вычисление координат определяемой точки в зависимости от условий наблюдений может быть выполнено по формулам Юнга (формулам котангенсов измеренных углов), либо формулам Гаусса

<sup>4</sup>Большаков В.Д., Левчук Г.П., Багратуни Г.В. и др. Справочник геодезиста. / Под ред. Большакова В.Д., Левчука Г.П. – Изд. 2, перераб. и доп. – М: Недра, 1975. – 1056 с.

(формулам тангенсов или котангенсов дирекционных углов направлений), не требующим предварительного решения треугольников. При этом следует соблюдать правило нумерации исходных пунктов: если встать в середине линии между исходными пунктами лицом к искомому пункту  $P$ , то исходный пункт по левую руку будет первым, а по правую руку – вторым<sup>5,6</sup>.

Формула Юнга:

$$x_p = (x_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + x_2 \operatorname{ctg} \beta_1 - y_1 + y_2) / (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2);$$

$$y_p = (y_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + y_2 \operatorname{ctg} \beta_1 + x_1 - x_2) / (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2).$$

Формула Гаусса:

$$x_p = (x_1' \operatorname{tg} \alpha_{1'-p} - x_2' \operatorname{tg} \alpha_{2'-p} + y_2 - y_1) / (\operatorname{tg} \alpha_{1'-p} - \operatorname{tg} \alpha_{2'-p});$$

$$y_p = y_1' + (x_p - x_1') \operatorname{tg} \alpha_{1'-p} = y_2 + (x_p - x_2') \operatorname{tg} \alpha_{2'-p},$$

либо

$$y_p = (y_1' \operatorname{ctg} \alpha_{1'-p} - y_2' \operatorname{ctg} \alpha_{2'-p} - x_1' + x_2') / (\operatorname{ctg} \alpha_{1'-p} - \operatorname{ctg} \alpha_{2'-p});$$

$$x_p = x_1' + (y_p - y_1') \operatorname{ctg} \alpha_{1'-p} = x_2 + (y_p - y_2) \operatorname{ctg} \alpha_{2'-p}.$$

Достоверность установки инструмента влияет на точность выполнения маркшейдерско-геодезических работ. Перспективу решения данной проблемы открывает применение электронных тахеометров. В современных электронных тахеометрах воплощены новейшие технологии, обладающие возможностью предоставлять качественные и надежные измерения в краткий период времени.

В целях совершенствования методики установки станции методом обратной линейно-угловой засечки, были произведены полевые исследования точности установки станции тахеометром при длине визирного луча до 100 м. Метод обратной линейно-угловой засечки нашел широкое применение в мировой практике при выполнении съемок и не только. Маркшейдерско-геодезические работы методом обратной засечки имеют превосходство над иными методами.

Обратная линейно-угловая засечка – весьма удобный метод, предоставляющий возможность производить маркшейдерско-геодезические работы, опирающиеся на исходные пункты, расположенные на вертикальных поверхностях (фасады зданий и строений, боковые поверхности металлических опорных и несущих конструкций)<sup>7</sup>. Основным преимуществом применения обратной линейно-угловой засечки является возможность установки геодезического прибора в безопасном и удобном месте для выполнения соответствующих работ<sup>8,9</sup> [2, 3].

### Результаты

Достоверность определения координат пункта обратной засечкой зависит от занимаемой позиции относительно исходных пунктов. Для получения подлинных координат необходимо, чтобы нахождение пунктов относительно определяемого, удовлетворяло конкретным условиям.

Целесообразным считается, чтобы горизонтальный угол, образованный точками  $T_1 P T_2$ , был в диапазоне от  $30^\circ$  до  $150^\circ$  (рис. 1).

По итогам полевых работ была составлена таблица результатов установки станции электронным тахеометром (табл. 1). В течение года были собраны данные установки станции методом обратной засечки на различных объектах, измерены горизонтальные проложения на пункты ориентирования и горизонтальные углы, тем самым появилась возможность сопоставления точности установки станции методом обратной засечки.

### Выводы

1. При использовании метода обратной засечки достигается высокая точность определения координат станции, впрочем, необходимо избегать острых углов засечки (менее  $30^\circ$ ), а также углов больше  $150^\circ$ .

2. Во всех ситуациях важно принимать в расчет факторы, оказывающие влияние на снижение точности засечки:

- точность координат пунктов ориентирования;
- погрешность, возникающая вследствие воздействия внешних обстоятельств;
- погрешность, вызванная отклонением вертикально ориентированной вежи (при установке на пункты ориентирования, расположенные на горизонтальной поверхности);
- погрешность, зависящая от высокой разницы значений углов между визирным лучом от  $90^\circ$  и плоскостью отражательной пластины; погрешность определения электронным тахеометром горизонтального проложения в безотражательном режиме связана с углом падения лазерного луча на поверхность отражающей пластины.

3. Несмотря на точное установление координат пункта методом засечки, имеется вероятность несоблюдения четкости ориентирования инструмента, а вытекающие вследствие этого ошибки при производстве работ будут расти с расстоянием. В связи с этим, при выполнении наиболее важных измерений необходимо производить засечку не менее чем от трех исходных пунктов и проводить работы в пределах окружности, образованной исходными пунктами.

### Заключение

По большому счету, точность положения определяемого пункта максимальна, когда угол, образованный между пунктами ориентирования и инструментом находится в диапазоне от  $30^\circ$  до  $120^\circ$ .

При этом результаты опыта отражают конкретные условия и конфигурацию исходных и определяемого пунктов и не могут служить основанием для формулировки вывода о возможности производства всех видов работ от двух исходных пунктов, тем более, что при выполнении полевых работ ошибки первичных сведений были сведены к минимуму.

<sup>5</sup>Walker J., Awange J.L. *Surveying for Civil and Mine Engineers. Theory, Workshops, and Practicals.* – Springer, 2018. – 260 p.

<sup>6</sup>Awange J.L., Kiema J.B.-K. *Environmental Geoinformatics: Monitoring and Management.* – Heidelberg, New York: Springer, 2013. – 268 p. <sup>7</sup>Горное давление, движение горных пород и методика маркшейдерских работ на рудных месторождениях. – Л.: Недра, 1964-1970.

<sup>8</sup>Практикум по геодезии: учеб. пособие для вузов. / Под ред. Г.Г. Поклада. – М.: Фонд «Мир», 2015. – 296 с.

<sup>9</sup>Грищенко Е.Н. Геодезический мониторинг динамики развития деформационного процесса земной поверхности на подрабатываемых территориях. / Дисс... канд. наук. по ВАК РФ 25.00.32.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Сашурин А.Д., Панжин А.А. Организация геодинамического мониторинга на карьерах Качканарского ГОКа. // Проблемы недропользования. – 2015. – №1(4). – С. 45-54 (на русском языке)
2. Браславская К.Е. Возможности применения автоматизированных систем для наблюдения за деформациями уникальных сооружений. // Молодой исследователь Дона. – 2018. – №4(13). – С. 24-27 (на русском языке)
3. Бернд Хиллер, Ямбаев Х.К. Разработка и натурные испытания автоматизированной системы деформационного мониторинга. // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. – 2016. – Вып. 1(33). – С. 48-60 (на русском языке)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Сашурин А.Д., Панжин А.А. Качканар КБК карьерлерінде геодинамикалық мониторингті ұйымдастыру. // Жер қойнауын пайдалану мәселелері. – 2015. – №1(4). – Б. 45-54 (орыс тілінде)
2. Браславская К.Е. Бірегей құрылымдардың деформациясын бақылау үшін автоматтандырылған жүйелерді қолдану мүмкіндіктері. // Донның жас зерттеушісі. – 2018. – №4(13). – Б. 24-27 (орыс тілінде)
3. Бернд Хиллер, Ямбаев Х.К. Деформацияны бақылаудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеу және толық ауқымды сынақтан өткізу. // Сібір мемлекеттік геожүйелер және технологиялар университетінің журнал хабаршысы. – 2016. – Шығ. 1(33). – Б. 48-60 (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. Sashurin A.D., Panzhin A.A. Organizaciya geodinamicheskogo monitoringa na kar'erax Kachkanarskogo GOKa [Organization of geodynamic monitoring in the open pits of the Kachkanar GOK]. // Problemy nedropol'zovaniya = Problems of subsoil use. – 2015. – №1(4). – P. 45-54 (in Russian)
2. Braslavskaya K.E. Vozmozhnosti primeneniya avtomatizirovannyx sistem dlya nablyudeniya za deformatsiyami unikal'nyx sooruzhenij [Possibilities of using automated systems to monitor deformations of unique structures]. // Molodoj issledovatel' Dona = Young researcher of the Don. – 2018. – №4(13). – P. 24-27 (in Russian)
3. Bernd Hiller, Yambaev Kh.K. Razrabotka i naturnye ispytaniya avtomatizirovannoj sistemy deformatsionnogo monitoringa [Development and full-scale testing of an automated system for deformation monitoring]. // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i texnologij = Bulletin of the Siberian State University of Geosystems and Technologies. – 2016. – Vol. 1(33). – P. 48-60 (in Russian)

## Сведения об авторах:

**Казаков А.Н.**, PhD, заведующий кафедрой «Маркшейдерское дело и геодезия» Ташкентского государственного технического университета им. И. Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [azlik19@yandex.ru](mailto:azlik19@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9862-6594>

**Хамитов Н.А.**, стажер-исследователь кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Ташкентского государственного технического университета им. И. Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [x.nurs91@gmail.com](mailto:x.nurs91@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-1686-5810>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Казаков А.Н.**, PhD, И. Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университетінің, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының меңгерушісі (Ташкент қ., Өзбекстан)

**Хамитов Н.А.**, И. Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университетінің, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының стажер-зерттеушісі (Ташкент қ., Өзбекстан)

## Information about the authors:

**Kazakov A.N.**, PhD, Head at the Department of «Surveying and Geodesy» of the Tashkent State Technical University named after I. Karimov (Tashkent, Uzbekistan)

**Khamitov N.A.**, Intern-Research at the Department of «Surveying and Geodesy» of the Tashkent State Technical University named after I. Karimov (Tashkent, Uzbekistan)