

УДК [528.236:528.531]+528.48  
DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-5-52-62

## **МЕТОДИКА ПЕРЕДАЧИ КООРДИНАТ ТАХЕОМЕТРОМ НА ПУНКТЫ ВНУТРЕННЕЙ РАЗБИВОЧНОЙ СЕТИ ИНЖЕНЕРНОГО СООРУЖЕНИЯ**

*Георгий Афанасьевич Уставич*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: ystavich@mail.ru

*Николай Сергеевич Косарев*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

*Дмитрий Андреевич Баранников*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)753-95-82, e-mail: eddieogilvie@yandex.ru

*Иван Абиб оглы Мезенцев*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (923)241-80-42, e-mail: vania.mezentzew@yandex.ru

*Дмитрий Витальевич Бирюков*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)895-78-66, e-mail: birykovdmitriy1@gmail.com

При создании внешнего плано-высотного обоснования на строительных площадках, а затем и внутренних разбивочных сетях с целью передачи координат в целом ряде случаев, выполнение геодезических измерений производится через оптическую среду, которая на отдельных участках имеет разный коэффициент преломления. Это имеет место при выполнении таких измерений в зимнее время года, когда передача производится через технологические ворота временного торца инженерного сооружения, например, атомной или тепловой электростанции. Недостатком такой методики является влияние в зимнее время значительной турбулентности воздуха на границе резкого перепада температур. Для исключения данного влияния предлагается производить передачу координат внутрь инженерного сооружения через оконные проемы. В этом случае тахеометр может находиться внутри инженерного сооружения или вне его. При реализации предлагаемой методики практически полностью исключается влияние резкого перепада температур на результаты измерений. Исследованиями установлено, что при передаче через стекло координат на пункты внутреннего обоснования происходит параллельный перенос визирного луча. Для его исключения визирование необходимо выполнять при горизонтальном положении зрительной трубы тахеометра. В статье приводятся результаты исследований точности измерения расстояний и углов при прохождении визирного (лазерного) луча тахеометра через две оптические среды (воздух – стекло – воздух) при разных перепадах температур воздуха.

**Ключевые слова:** тахеометр, определение координат, перепад температур, коэффициент преломления оптических сред

## Введение

Выполнение высокоточных инженерно-геодезических измерений на строительных площадках с целью создания внешнего и внутреннего планово-высотного обоснования производится при влиянии различных возмущающих воздействий, к которым относятся вибрация от работающих механизмов и оборудования, турбулентность воздуха, недостаточная освещенность и запыленность воздуха [1–4]. Одним из таких факторов, затрудняющих выполнение измерений, является резкий перепад температур в районе проведения работ. Например, при выполнении высокоточного нивелирования короткими лучами в зимнее время с целью определения осадок и деформаций инженерных сооружений и технологического оборудования, передача отметки может производиться при перепаде температур до 50 °С (+20 °С внутри здания и -30 °С вне его) [5–8]. Такой же перепад температур будет возникать при передаче координат от пунктов внешнего обоснования (ПВО) на пункты внутренней разбивочной сети. В обоих случаях измерения проводятся через открытые технологические ворота, расположенные в торце инженерного сооружения. В результате выполнения измерений на границе двух сред возникает локальное облако тумана, а также турбулентность воздуха, что, в конечном итоге, приводит к значительному увеличению средней квадратической ошибки (СКО) измерений, как линейных, так и угловых [9, 10]. Так, при передаче координат от пунктов внешнего обоснования на пункты внутренней разбивочной сети через открытые технологические ворота, как показывает практика выполнения производственных работ, СКО измерения горизонтальных углов и углов наклона может достигать 20,0–30,0", а СКО определения координат (при  $S = 30–50$  м) – 7,0–10,0 мм [11, 12]. Такая СКО определения координат является недопустимой величиной при создании внутренней разбивочной сети, которая применяется для обеспечения монтажа строительных конструкций. Следует отметить, что в целом ряде случаев при резком перепаде температур воздуха не представляется возможным выполнять визирование на нивелирную рейку или отражатель, так как турбулентность воздуха не позволяет четко различать визирную цель [13].

Уменьшение величины СКО определения координат может быть достигнуто путем выполнения измерений тахеометром или нивелиром через стекло оконного пролета, который всегда имеется на первом этаже инженерного сооружения.

По своей конструкции стеклопакет представляет собой прозрачную конструкцию строительного назначения, состоящую из двух и более стекол, скрепленных между собой по контуру с помощью дистанционных рамок (металлических или пластиковых) и герметиков. Обычно используют бутиловый герметик.

Между стеклами часто находится сухой воздух, зачастую для улучшения характеристик сопротивления теплопередаче внутрь стеклопакета закачивают инертные газы (аргон, ксенон, криптон) или углекислый газ.

Таким образом, прохождение лазерного луча через стеклопакет необходимо рассматривать как его прохождение через некоторое число плоскопараллельных пластин, между которыми находится воздушная среда.

Вследствие этого на величину СКО будут оказывать влияние следующие факторы [14–16]:

- угол наклона визирного луча зрительной трубы тахеометра по отношению к плоскости оконного пакета;
- количество пластин стекла в оконном пакете;
- разность температур воздуха вне и внутри инженерного сооружения;
- отличие коэффициентов преломления стекла и воздуха.

Целью проведения исследования является определение влияния вышеуказанных факторов на передачу координат с пунктов внешнего обоснования на пункты внутренней разбивочной сети. Ниже представлена методика проведения исследования с полученными результатами и сделанными по итогу исследования выводами.

## Методы и средства измерений

Рассмотрим методику передачи координат с ПВО промплощадки на пункты внутренней разбивочной сети инженерного сооружения тахеометром путем выполнения измерений через стекло оконного пакета (рис. 1).

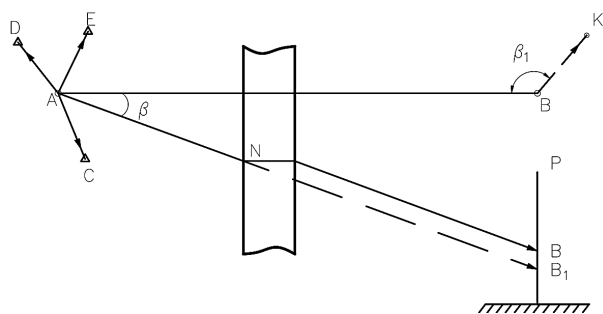


Рис. 1. Схема передачи координат через стекло оконного пакета

Пусть через стекло оконного пакета требуется передать координаты с пункта  $A$  ПВО промплощадки на пункт  $B$  внутренней разбивочной сети инженерного сооружения. Для этого в точке  $A$  (см. рис. 1) устанавливается (или центрируется) тахеометр и решением обратной линейно-угловой засечки от трех исходных пунктов  $C$ ,  $D$  и  $E$  определяются его координаты, а в точке  $B$ , расположенной внутри здания, устанавливается отражатель или рейка с наклеенной отражательной пленкой (для измерений в безотражательном режиме). После этого визированием через стекло способом полярных координат (засечки) определяются координаты точки  $B$ .

Необходимо отметить, что передача координат может быть выполнена и в обратном направлении – от пункта  $B$  внутренней разбивочной сети инженерного сооружения на пункт  $A$  внешнего обоснования. Для получения этих данных необходимо на пункте  $B$  измерить горизонтальный угол, а с него, через стекло, – угол наклона и расстояние.

При выполнении измерений через стекло необходимо, чтобы оно было чистым и прозрачным, а также не имело выраженных оптических дефектов, которые могут привести к искажению направления прохождения визирного (лазерного) луча. Поэтому перед началом измерений выбирается участок оконного пакета, который будет удовлетворять указанным требованиям.

Рассмотрим влияние основных факторов, возникающих в методике передачи координат через стекло оконного пакета с пунктов внешнего обоснования промплощадки на пункты внутренней разбивочной сети инженерного сооружения.

В качестве первого фактора выступает влияние угла наклона визирного луча зрительной трубы тахеометра по отношению

к плоскости оконного пакета. Рассмотрим данный фактор на примере нивелира. При передаче отметки (координаты  $h$ ) через стекло геометрическим нивелированием отсчет по рейке будет равен  $O$ . В этом случае угол наклона луча  $AO$  (рис. 2) будет равен значению угла  $i$  нивелира, который, как правило, не превышает  $10,0-15,0''$ .

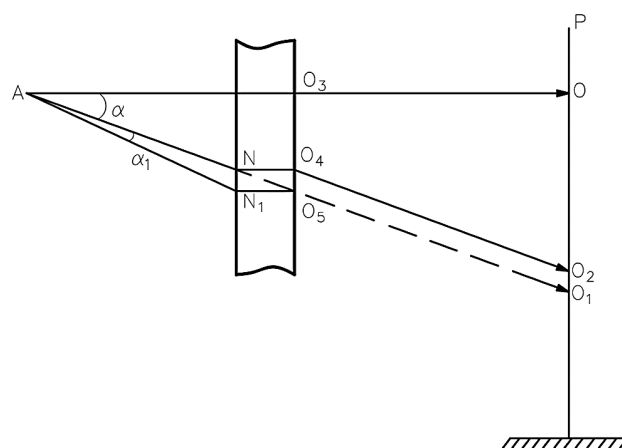


Рис. 2. Схема прохождения визирного луча через одну стеклянную пластину

Следовательно, визирный луч будет располагаться практически горизонтально и перпендикулярно плоскости стекла (предположим, что стеклянная пластина окна расположена вертикально).

В этом случае, согласно формуле Вильда

$$l = d \frac{n-1}{n} \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

где  $d$  – толщина стеклянной пластинки;  $n$  – показатель преломления стекла;  $\alpha$  – угол наклона стекла окна;  $l$  – величина смещения визирного луча.

При передаче координат тахеометром визирный луч зрительной трубы в общем случае не будет располагаться горизонтально, и, следовательно, не будет перпендикулярен плоскости стекла. При этом визирный луч зрительной трубы тахеометра также может быть не перпендикулярен стеклу и в вертикальной плоскости.

Предположим, что при передаче высотной отметки в качестве визирной цели используется рейка, на которую в точке  $O_1$  наклеена светоотражающая пленка (применяется безотражательный режим измерений). При отсутствии

на пути визирного луча стеклянной пластины он пошел бы по направлению  $ANO_1$ . Если же на пути визирного луча будет стеклянная пластина, то после попадания его в точку  $N$  он преломится и после выхода попадет на рейку в точку  $O_2$ . Для наведения на отсчет  $O_1$  по рейке необходимо зрительную трубу дополнительно опустить на некоторый малый угол  $\alpha_1$ .

Изменение направления визирного луча приведет к его смещению и изменению отсчета по рейке. Предположим, что угол наклона визирного луча в вертикальной плоскости равен  $\alpha = 20^\circ$  (см. рис. 2). Тогда, при  $n = 1,52$  и  $d = 10,0$  мм получим  $O_1O_2 = l = 0,6$  мм. Данная ошибка измерения превышения носит систематический характер и будет заметной при создании высотной высокоточной внутренней разбивочной сети строящегося инженерного сооружения. Из этого следует, что для уменьшения данной ошибки необходимо передачу высотной отметки производить при минимальном угле  $\alpha$  наклона зрительной трубы тахеометра.

Если визирный луч будет не перпендикулярен плоскости стекла в вертикальной плоскости (см. рис. 1), то также при угле  $\beta_1 = 20^\circ$  получим величину  $BB_1 = 0,6$  мм. Это приведет к систематической ошибке в плановом положении начального пункта внутренней разбивочной сети.

Вторым фактором, влияющим на проведение измерений, является количество пластин стекла в оконном пакете. Влияние данного фактора заключается в том, что оконные пакеты состоят из нескольких стеклянных пластин. Ход лучей через две стеклянные пластины и их смещение показаны на рис. 3.

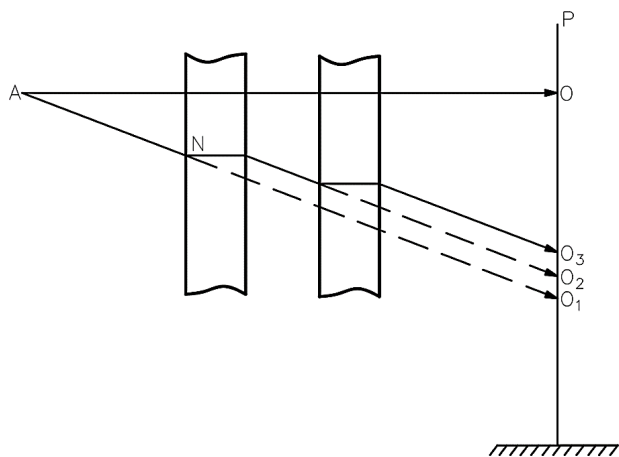


Рис. 3. Схема прохождения луча через две стеклянные пластины

Согласно формуле (1) и рис. 2 при одинаковой толщине стеклянных пластин эта величина смещения увеличивается в два раза, следовательно, систематическая ошибка передачи координат увеличится в два раза. Некоторые конструкции окон имеют три-четыре стеклянные пластины, таким образом, систематическая ошибка передачи координат также будет увеличена в три-четыре раза.

Следует отметить, что в оконных пакетах могут быть разные по величине расстояния между стеклянными пластинами (рис. 4).

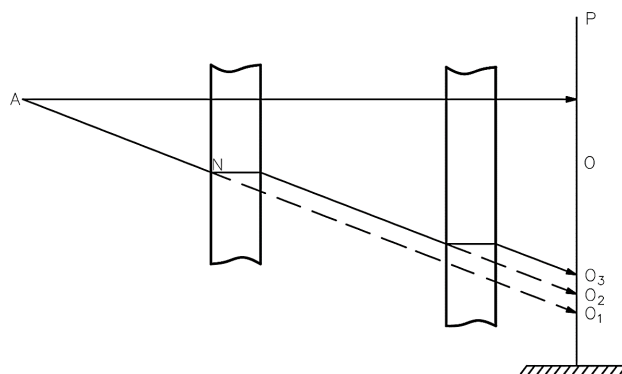


Рис. 4. Влияние расстояния между стеклянными пластинами на смещение луча

Однако, в данном случае характер преломления визирного луча не изменится, и величина его смещения также не изменится, так как независимо от взаимного расположения стеклянных пластин происходит только параллельный перенос этого луча. Однако с увеличением количества стеклянных пластин увеличивается коэффициент рассеивания лазерного луча, что может привести к значительному уменьшению уровня отраженного сигнала.

Третьим фактором будет выступать влияние разности температур воздуха снаружи и внутри инженерного сооружения. Для определения степени влияния данного фактора были выполнены производственные работы. На первом этапе выполнялись исследования влияния разности температур и наличия стекла оконного пакета на измеряемое расстояние. Измерения выполнялись из двух точек:

- точка А располагалась внутри инженерного сооружения на расстоянии 1,5 м от стекла;
- точка В располагалась вне сооружения на расстоянии 23,5 м от стекла (рис. 5). Угол наклона между точками составлял  $24^\circ 28'$ .

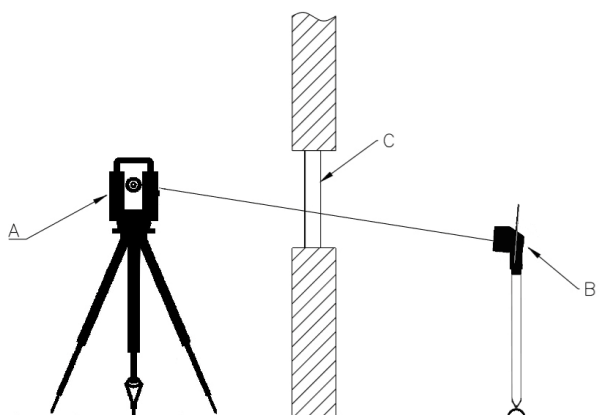


Рис. 5. Схема выполнения измерений

### Результаты измерений

В ходе исследования измерения были проведены при четырех различных условиях:

- окно закрыто, и тахеометр находится в тепле (1-й вариант);
- окно открыто, и тахеометр находится в тепле (2-й вариант);
- окно закрыто, и тахеометр находится на улице (3-й вариант);
- окно открыто, и тахеометр находится на улице (4-й вариант).

Измерения выполнялись при температуре окружающего воздуха вне сооружения  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$  внутри его. В точке А устанавливался тахеометр Leica TCR-405 и при закрытом окне его зрительная труба визировалась на отражатель В и измерялось расстояние АВ. Всего было выполнено две серии измерений по 20 расстояний в каждой серии (табл. 1). После этого окно открывалось, и измерения по аналогичной схеме повторялись (табл. 2).

Таблица 1

#### Измерение расстояния при закрытом окне и установке тахеометра внутри здания

1-я установка, точка А							
Окно закрыто, тахеометр внутри здания							
1-я серия				2-я серия			
Номер приёма	S (м)	Номер приёма	S (м)	Номер приёма	S (м)	Номер приёма	S (м)
1	25,2554	11	25,2559	1	25,2561	11	25,2563
2	25,2556	12	25,2557	2	25,2560	12	25,2563
3	25,2557	13	25,2558	3	25,2558	13	25,2561
4	25,2557	14	25,2559	4	25,2555	14	25,2562
5	25,2562	15	25,2558	5	25,2556	15	25,2557
6	25,2561	16	25,2560	6	25,2558	16	25,2558
7	25,2564	17	25,2561	7	25,2557	17	25,2557
8	25,2562	18	25,2563	8	25,2558	18	25,2557
9	25,2562	19	25,2564	9	25,2560	19	25,2557
10	25,2560	20	25,2563	10	25,2562	20	25,2559
Ср. = 25 м 256,0 мм				Ср. = 25 м 255,9 мм			
Итоговое среднее = 25м 256,0 мм							

Таблица 2

#### Измерение расстояния при открытом окне и установке тахеометра внутри здания

1-я установка, точка А							
Окно открыто, тахеометр внутри здания							
1-я серия				2-я серия			
Номер приёма	S (м)	Номер приёма	S (м)	Номер приёма	S (м)	Номер приёма	S (м)
1	25,2501	11	25,2500	1	25,2501	11	25,2501
2	25,2501	12	25,2501	2	25,2502	12	25,2501
3	25,2502	13	25,2500	3	25,2500	13	25,2502
4	25,2500	14	25,2500	4	25,2499	14	25,2502
5	25,2501	15	25,2500	5	25,2498	15	25,2501
6	25,2502	16	25,2501	6	25,2501	16	25,2503
7	25,2501	17	25,2501	7	25,2499	17	25,2502
8	25,2500	18	25,2499	8	25,2502	18	25,2502
9	25,2501	19	25,2499	9	25,2499	19	25,2502
10	25,2501	20	25,2500	10	25,2500	20	25,2504
Ср. = 25 м 250,1 мм				Ср. = 25 м 250,1 мм			

По окончании измерений при установке тахеометра внутри здания вычислялись величины средних расстояний для двух положений окна. Исследованиями было установлено, что разность измеренных расстояний при закрытом и открытом окне при установке тахеометра внутри здания составляет 5,8 мм.

После этого тахеометр центрировался в точке В, а отражатель в точке А и измерения выполнялись по аналогичной методике. Результаты исследований приведены в табл. 3 и 4, из которых следует, что и при установке тахеометра снаружи здания разность измеренных расстояний составляет 5,7 мм.

Таблица 3

Измерение расстояния при закрытом окне и установке тахеометра вне здания

2-я установка, точка В							
Окно закрыто, тахеометр снаружи здания							
1-я серия				2-я серия			
Номер приема	S (м)	Номер приема	S (м)	Номер приема	S (м)	Номер приема	S (м)
1	25,2562	11	25,2556	1	25,2558	11	25,2558
2	25,2557	12	25,2557	2	25,2557	12	25,2555
3	25,2558	13	25,2558	3	25,2558	13	25,2558
4	25,2556	14	25,2556	4	25,2558	14	25,2555
5	25,2556	15	25,2557	5	25,2557	15	25,2556
6	25,2558	16	25,2560	6	25,2557	16	25,2564
7	25,2557	17	25,2561	7	25,2558	17	25,2558
8	25,2557	18	25,2557	8	25,2559	18	25,2555
9	25,2555	19	25,2557	9	25,2557	19	25,2564
10	25,2557	20	25,2558	10	25,2556	20	25,2555
Ср. = 25 м 255,8 мм				Ср. = 25 м 255,8 мм			
Итоговое среднее = 25 м 255,8 мм							

Таблица 4

Измерение расстояния при открытом окне и установке тахеометра вне здания

2-я установка, точка В							
Окно открыто, тахеометр снаружи здания							
1-я серия				2-я серия			
Номер приема	S (м)	Номер приема	S (м)	Номер приема	S (м)	Номер приема	S (м)
1	25,2502	11	25,2501	1	25,2500	11	25,2500
2	25,2503	12	25,2502	2	25,2499	12	25,2499
3	25,2501	13	25,2503	3	25,2500	13	25,2500
4	25,2502	14	25,2502	4	25,2501	14	25,2500
5	25,2504	15	25,2504	5	25,2500	15	25,2500
6	25,2503	16	25,2501	6	25,2502	16	25,2501
7	25,2504	17	25,2501	7	25,2501	17	25,2500
8	25,2503	18	25,2500	8	25,2500	18	25,2499
9	25,2503	19	25,2501	9	25,2501	19	25,2499
10	25,2504	20	25,2502	10	25,2501	20	25,2500
Ср. = 25 м 250,2 мм				Ср. = 25 м 250,0 мм			
Итоговое среднее = 25 м 250,1 мм							

По результатам выполненных исследований были построены графики отклонения измеренных величин от среднего для каждого варианта. На графике все циклы измерений для каждого варианта объединены в один цикл (рис. 6).

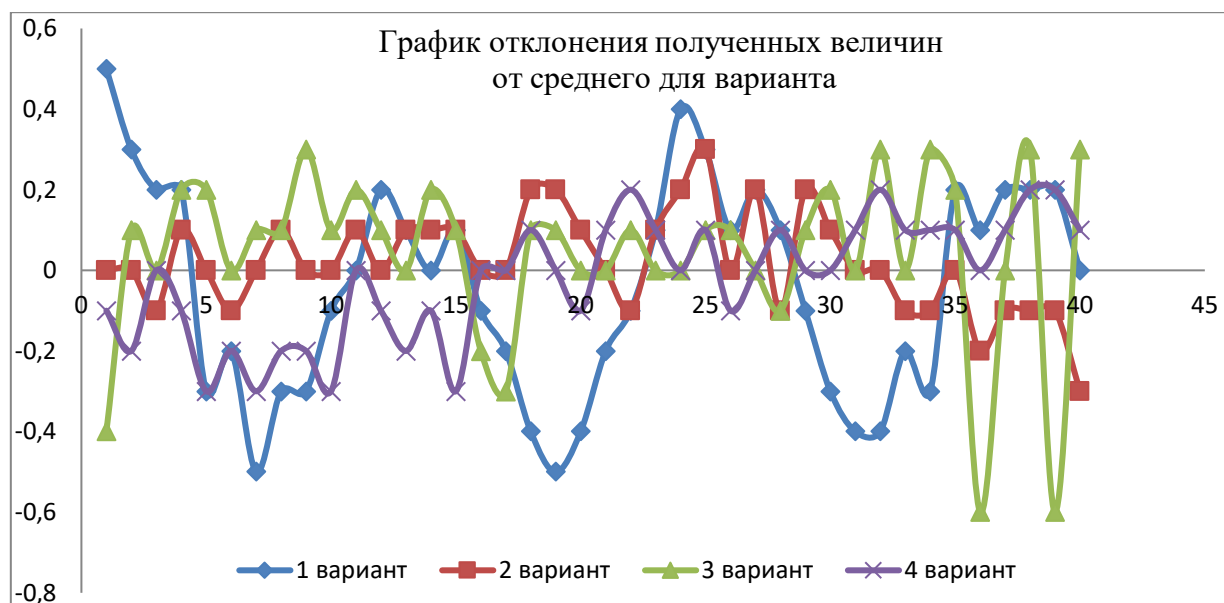


Рис. 6. График отклонения полученных величин от среднего для каждого варианта

Из рис. 6 следует, что окно создает одинаковую «задержку» для лазерного луча вне зависимости от того, где именно расположен прибор: в тепле или на холоде. Из этого можно сделать вывод о том, что изменения свойств стеклопакета, созданные перепадом температур, следует рассматривать именно как целостную систему.

Важной особенностью данных исследований является тот факт, что при закрытом окне измеряемое расстояние оказалось больше, что свидетельствует об удлинении этого расстояния вследствие изменения направления луча лазера оптической средой стекла.

Результаты исследований показали, что при прохождении луча через стекло измеряемое расстояние увеличивается, в нашем случае на 5,8 мм. Влияние разности температур при небольших расстояниях практически не сказывается на величине измеренного расстояния.

Определим величину СКО определения координат  $x$ ,  $y$  и  $h$  с учетом ошибки измерения расстояния, равной 5,8 мм.

Координаты  $x$ ,  $y$  точки  $B$  будут определяться способом полярной засечки. В этом случае СКО их определения можно найти по формуле

$$m_p^2 = m_l^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 l^2 + m_{ц.р.}^2 + m_{и}^2 + m_\phi^2. \quad (2)$$

При  $m_{и} = 2,0$  мм,  $m_l = 5,8$  мм,  $m_\phi = 2,0$  мм,  $m_{и.р.} = 1,0$  мм,  $m_\beta = 2,0''$  получим  $m_p = 6,8$  мм.

Данная величина не будет позволять создавать внутреннюю разбивочную сеть с необходимой точностью при выполнении измерений через стекло.

Величину СКО определения превышения тригонометрическим нивелированием, вызванную влиянием только измерения расстояния и угла наклона, можно найти по формуле

$$m_h = \sqrt{m_s^2 \sin^2 \alpha + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} S^2 \cos^2 \alpha}, \quad (3)$$

где  $S$  – расстояние до визирной цели;  $\alpha$  – угол наклона визирной оси тахеометра.

При  $m_s = 5,8$  мм,  $S = 25,0$  м и  $m_\alpha = 2,0''$  получим  $m_h = 3,7$  мм. Данная величина также не будет позволять создавать внутреннюю высокоточную высотную сеть с необходимой точностью при выполнении измерений через стекло.

### Обсуждение

В результате проведенных исследований были получены следующие результаты:

– резкий перепад температур воздуха на границе двух оптических сред (воздух – стекло) не оказывает заметного влияния на величину измеряемого расстояния;

– прохождение наклоненного луча лазера тахеометра через стеклянную оптическую среду существенно удлиняет измеряемое расстояние, изменяет величину измеряемого горизонтального угла и угла наклона, что, в конечном итоге, приводит к искажению координат  $x$ ,  $y$  и  $h$  определяемого пункта внутренней разбивочной сети;

– величина ошибки получения координат является постоянной для заданной толщины стеклянных пластин и угла наклона (величины горизонтального угла), и она не зависит от того, в какую сторону производятся измерения. Данное обстоятельство необходимо учитывать при создании высокоточной внутренней разбивочной сети инженерного сооружения и передачу координат производить при горизонтальном положении зрительной трубы тахеометра;

– данную методику передачи координат внутрь инженерного сооружения с целью создания внутренней высокоточной разбивочной сети целесообразно применять при значительных (свыше 35–40 °С) перепадах температур; необходимость в такой передаче координат имеет место при строительстве реакторных блоков АЭС;

– в летнее время передачу координат внутрь инженерного сооружения можно производить и через технологические ворота инженерного сооружения. однако в целом ряде

случаев это приведет к значительному увеличению числа пунктов внешнего обоснования или увеличению длины нивелирных ходов, так как длина инженерного сооружения может достигать 450 м (длина главного корпуса АЭС).

Также необходимо отметить, что для контроля передачи координат внутрь инженерного сооружения измерения можно выполнить и через другой оконный проем. В этом случае разность полученных координат внутренней разбивочной сети должна соответствовать требованиям нормативных документов [2].

### Заключение

Для обеспечения передачи координат в зимнее время на пункты внутреннего обоснования с сохранением требуемой точности целесообразно визирование производить через оконные пролеты. В этом случае влияние основного источника ошибок – турбулентности воздуха практически – полностью исключается. При этом передача координат может производиться с установкой тахеометра внутри или вне инженерного сооружения. Для исключения параллельного переноса визирного луча передачу координат необходимо производить при горизонтальном положении зрительной трубы тахеометра.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беспалов Ю. И., Дьяконов Ю. П., Терещенко Т. Ю. Наблюдение за осадками зданий и сооружений способом тригонометрического нивелирования // Геодезия и картография. – 2010. – № 8. – С. 8–10.
2. Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84 : СП 126.13330.2012. – М. : Минрегион России, 2012. – 84 с.
3. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА) – 03-010-03.2004. – М. : ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.
4. Никонов А. В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 28–34.
5. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35.
6. Никонов А. В., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. Влияние перепадов температуры окружающей среды на главное условие цифрового нивелира при наблюдениях за осадками фундаментов зданий и сооружений // Вестник СГУГиТ. – 2016. – № 2 (34). – С. 24–33.
7. Никонов А. В. Методика тригонометрического нивелирования первого и второго разрядов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 39–45.
8. Новоселов Д. Б., Новоселов Б. А. Исследование работы высокоточного цифрового нивелира в условиях недостаточной освещенности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.



: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 117–121.

9. Сальников В. Г., Скрипников В. А., Скрипникова М. А., Хлебникова Т. А. Применение современных автоматизированных геодезических приборов для мониторинга гидротехнических сооружений ГЭС // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 108–124.

10. Рябова Н. М. Исследование влияния различной освещенности на отчеты по рейке // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 42–45.

11. Уставич Г. А., Китаев Г. Г., Никонов А. В., Сальников В. Г. Создание геодезической основы для строительства объектов энергетики // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 8–13.

12. Соболева Е. Л., Рябова Н. М., Сальников В. Г. Исследование влияния рефракции на результаты нивелирования цифровыми нивелирами // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 32–36.

13. Руководство по эксплуатации V.5.5 Leica TPS1200+. – Heerbrugg, Switzerland, Leica Geosystems AG, 2005. – 215 с.

14. Уставич Г. А. О совершенствовании технологий нивелирования // Геодезия и картография. – 2005. – № 3. – С. 11–13.

15. Уставич Г. А., Рахымбердина М. Е., Никонов А. В., Бабасов С. А. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 17–22.

16. Шоломицкий А. А., Лагутина Е. К., Соболева Е. Л. Высокоточные геодезические измерения при деформационном мониторинге аквапарка // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 45–59.

Получено 05.04.2021

© Г. А. Уставич, Н. С. Косарев, Д. А. Баранников,  
И. А. Мезентцев, Д. В. Бирюков,

## METHOD OF TRANSMITTING THE COORDINATES OF THE TOTAL STATION TO THE POINTS OF THE INTERNAL CENTRAL NETWORK OF AN ENGINEERING CONSTRUCTION

### *Georgij A. Ustavich*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: ystavich@mail.ru

### *Nikolay S. Kosarev*

Siberian State University of Geosystems and Technology, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

### *Dmitriy A. Barannikov*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, Surveying, phone: (913)753-95-82, e-mail: eddieogilvie@yandex.ru

### *Ivan A. Mezentsev*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, Surveying, phone: (923)241-80-42, e-mail: vania.mezentzew@yandex.ru

### *Dmitriy V. Birukov*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, Surveying, phone: (913)895-78-66, e-mail: birykovdmitriy1@gmail.com

When creating an external planning and high-altitude justification on construction sites, and then internal center networks for the purpose of transmitting coordinates in a number of cases, geodetic measurements are performed through an optical medium, which in some areas has a different refractive index. This is the case when performing such measurements in the winter season, when the transmission is made through the technological gate of the temporary end of an engineering structure, for example, a nuclear or thermal power plant. The disadvantage of this method is the influence of significant air turbulence at the border of a sharp temperature drop in winter. To eliminate this influence, it is proposed to transmit coordinates inside the engineering structure through window openings. In this case, the total station can be located inside the engineering structure or outside it. When implementing the proposed method, the influence of a sharp temperature drop on the measurement results is almost completely excluded. Studies have established that when the coordinates are transmitted through the glass to the points of internal justification, a parallel transfer of the sighting beam occurs. To exclude it, the sighting must be performed at the horizontal position of the total station telescope. The article presents the results of studies of the accuracy of measuring distances and angles when the sighting (laser) beam of the total station passes through two optical media (air-glass-air) at different air temperature differences.

**Keywords:** total station, determination of coordinates, temperature difference, refractive index of optical media

## REFERENCES

1. Bespalov, Yu. I., Diakonov, Yu. P., & Tereshchenko, T. Yu. (2010). Observation of precipitation of buildings and structures by the method of trigonometric leveling. *Geodeziia i kartografiia [Geodesy and Cartography]*, 8, 8–10 [in Russian].
2. Code of Practice. (2012). Geodetic works in construction. Updated version of SNIIP 3.01.03-84: SP 126.13330.2012. Moscow: Minregion of Russia Publ., 84 p. [in Russian].
3. Geodetic, Cartographic Instructions, Norms and Regulations. (2004). Instructions for leveling classes I, II, III and IV. GKNP (GNTA) 03-010-03. 2004. Moscow: TsNIIGAiK Publ., 226 p. [in Russian].
4. Nikonov, A. V. (2014). Investigation of the influence of vertical refraction on the results of trigonometric leveling by short beams using the method from the middle. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 1, 28–34 [in Russian].
5. Nikonov, A. V. (2013). Investigation of the accuracy of trigonometric leveling by the method from the middle with the use of electronic total stations. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 2(22), 26–35 [in Russian].
6. Nikonov, A. V., Chesheva, I. N., & Lifashina, G. V. (2016). Influence of ambient temperature differences on the main condition of the digital level during observations of precipitation of foundations of buildings and structures. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2(34), 24–33 [in Russian].
7. Nikonov, A. V. (2015). Technique of trigonometric leveling of the first and second digits. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 5/S, 39–45 [in Russian].
8. Novoselov, D. B., & Novoselov, B. A. (2013). Investigation of the operation of a high-precision digital level in low-light conditions. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2015: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 117–121). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
9. Salnikov, V. G., Skripnikov, V. A., Skripnikova, M. A., Khlebnikova, T. A. (2018). The use of modern automated geodetic monitoring devices waterworks HPP. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(3), 108–124 [in Russian].
10. Ryabova, N. M. (2013). The influence of different light conditions on the counts on the rod. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 42–45). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
11. Ustavich, G. A., Kitaev, G. G., Nikonov, A. V., & Salnikov, V. G. (2013). Creating a geodetic basis for the construction of energy facilities. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 6, 8–13 [in Russian].

12. Soboleva, E. L., Ryabova, N. M., & Salnikov, V. G. (2011). Investigation of the influence of refraction on the results of leveling with digital levels. In *Sbornik materialov GEO-Sibir'-2011: T. 1, ch. 1 [Proceedings of GEO-Siberia-2011: Vol. 1, Part 1]* (pp. 32–36). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
13. User manual V. 5. 5 Leica TPS1200+. (2005). Heerbrugg, Switzerland, Leica Geosystems AG, 215 p.
14. Ustavich, G. A. (2005). On improving leveling technologies // *Geodesy and cartography*. – 2005. – No. 3. - p. 11-13.
15. Ustavich G. A., Rakhymberdina M. E., Nikonov A. V., & Babasov S. A. Development and improvement of the technology of engineering-geodetic leveling by the trigonometric method. *Geodeziia i kartografiia [Geodesy and Cartography]*, 6, 17–22 [in Russian].
16. Sholomitsky, A. A., Lagutina, E. K., & Soboleva, E. L. (2017). High-precision geodetic measurements in the deformation monitoring of the water park. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(3), 45–59 [in Russian].

Received 05.04.2021

© G. A. Ustavich, N. S. Kosarev, D. A. Barannikov,  
I. A. Mezentsev, D. V. Birukov, 2021