

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
РАЗДЕЛ
ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА
№ 1

Журнал основан в июле 1957 года

Выходит шесть раз в год

ИЗДАНИЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ
МОСКВА 2014

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

РАЗДЕЛ ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА

№ 1

Журнал основан в июле 1957 года
Выходит шесть раз в год

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
чл.-корр. РАН, профессор, доктор техн. наук
В.П. САВИНЫХ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ю.Г. Батраков
Т.В. Верещака
А.П. Гук
В.Б. Дубиновский
И.Г. Журкин
А.П. Карпик
Е.Б. Ключин
В.А. Коугия
А.А. Майоров
(зам. главного редактора)
В.А. Малинников
Ю.И. Маркузе
Ю.М. Нейман
В.И. Павлов
Ю.И. Пимшин
Ю.Г. Якушенков
Х.К. Ямбаев
С.Н. Яшкин

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Зав. редакцией	Е.А. Евтеева
Вед. редактор	К.В. Любомирова
Оригинал-макет	Б.В. Кузнецов
Графика	А.Ю. Боков

105064, Москва,
Гороховский пер., 4
E-mail: redakcia@miigaik.ru
тел. 8 (499) 261-8286
<http://journal.miigaik.ru>
ISSN 0536-101X

Сдано в набор 10.02.2014
Подписано в печать 24.02.2014
Формат 60×90%. Усл. печ. л. 18,0
Тираж 200 экз. Заказ 2
Отпечатано в типографии МИИГАиК
Индекс в каталоге Роспечать 70365

© Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка», 2014

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ РЕФРАКЦИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ КОРОТКИМИ ЛУЧАМИ СПОСОБОМ ИЗ СЕРЕДИНЫ

Аспирант **А.В. Никонов**

Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск

sibte@bk.ru

Аннотация. На основе опытных данных оценивается величина влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими (до 200 м) лучами способом из середины. Вычисляется коэффициент рефракции и даются рекомендации по выполнению нивелирования наклонным лучом.

Ключевые слова: тригонометрическое нивелирование, тахеометр, рефракция, точность

Abstract. The effect of vertical refraction changes on leap-frog trigonometric leveling with short lengths of sight (up to 200 m) is estimated through experimental data. The refractive index is calculated. We give recommendations for leap-frog trigonometric leveling.

Keywords: trigonometric leveling, total station, refractive index, accuracy

На территории нашей страны создание государственной нивелирной сети в соответствии с Инструкцией [1] ведется путем проложения ходов геометрического нивелирования различных классов точности. Несмотря на частичную автоматизацию процесса выполнения нивелирования в связи с внедрением в геодезическое производство цифровых нивелиров, эти работы по-прежнему являются достаточно трудоемкими. Поэтому актуальной является задача по замене классического способа определения превышений другими видами нивелирования. Попытки использования спутниковых методов для развития нивелирных сетей на сегодняшний день не достигли желаемого результата в связи с трудностями перехода от эллипсоидальных высот к нормальным.

Сегодня электронные тахеометры высокой точности активно применяются для решения широкого круга инженерно-геодезических задач. Тем не менее, к тригонометрическому нивелированию по-прежнему сохраняется отношение как к второстепенному способу определения превышений. В действительности же данный метод можно сравнить по точности с III и IV классами геометрического нивелирования [2, 3].

Одним из главных преимуществ тригонометрического нивелирования является возможность увеличения длины визирного луча более чем в два раза, так как в процессе измерений не производится непосредственное взятие отсчетов по рейке. При выполнении геометрического нивелирования в холмистой местности

визирный луч проходит близко к земле (но не ниже, чем указано в [1]), что в солнечную погоду, как правило, приводит к колебанию изображения вследствие влияния короткопериодической составляющей рефракции и снижает точность взятия отсчета. При нивелировании наклонным лучом появляется возможность визирования на цели, установленные на высоте не менее 1,5 м, что позволяет повысить качество изображения. Кроме того, увеличение высоты цели над почвой и более высокое прохождение визирного луча уменьшает ошибку за рефракцию, так как в этом случае визирный луч проходит слои воздуха с меньшими изменениями вертикальных градиентов температуры [4].

Использование тахеометра позволяет просто контролировать неравенство плеч без измерения расстояний тросом или по дальномерным нитям, при этом допуски на неравенство менее строгие. Даже используя при выполнении геометрического нивелирования цифровые нивелиры, невозможно в холмистой местности отказаться от большого количества стоянок прибора из-за большого перепада высот, а при затяжном уклоне – от систематического влияния вертикальной рефракции. Так, при нивелировании на участках с затяжными уклонами (вдоль железных дорог) накопление ошибки может составлять порядка 20 мм на 100 м превышения. Рефракционные ошибки в ходах тригонометрического нивелирования носят случайный характер и не зависят от перепада высот [5].

Таким образом, выполнение нивелирова-

ния наклонным лучом имеет ряд преимуществ перед широко распространенным геометрическим нивелированием:

- увеличение длины визирного луча;
- уменьшение количества стоянок прибора в холмистой местности;
- повышение точности нивелирных работ;
- возможность использования одного тахеометра для развития как плановых, так и высотных геодезических сетей.

Из вышесказанного следует, что тригонометрическое нивелирование при соблюдении определенных условий может стать альтернативой геометрическому нивелированию III, IV классов. Однако это потребует совершенствования методики тригонометрического нивелирования, которая в большей мере определяется влиянием вертикальной рефракции. Задача наших исследований: установить допуски на неравенство плеч на станции и на накопление неравенства по секции; определить минимальную высоту визирного луча над подстилающей поверхностью; выбрать оптимальную длину плеч.

Из работ [4, 6–9] известно, что использование коэффициента рефракции +0,13 при производстве нивелирования в трехметровом приземном слое атмосферы неприемлемо. Вопрос учета рефракционного влияния на передачу высоты для расстояний ~1 км (при визировании через водное препятствие) рассмотрен в [9]. Мы, в свою очередь, провели полевые исследования для определения степени влияния внешней среды на точность тригонометрического нивелирования в высотных ходах с длинами плеч порядка 200 м. Для этого на расстоянии ~400 м друг от друга были установлены два штатива с трегерами и адаптерами фирмы «Leica» (рис. 1).

На начальном этапе исследований было определено превышение между верхними частями адаптеров. Нивелирование выполнялось в прямом и обратном направлении цифровым высокоточным нивелиром DiNi12 (пять станций в одном направлении, длина плеч <40 м). Разность значений превышения из прямого и обратного хода — 0,04 мм. Среднее значение превышения было принято за истинное и составило 714,96 мм.

После этого на адаптеры были установле-

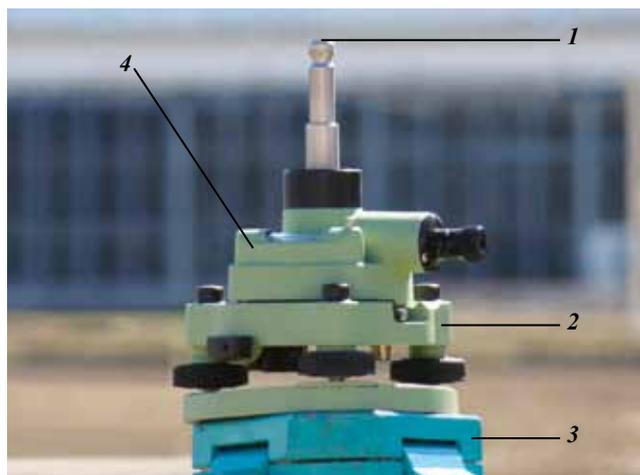


Рис. 1. Трегер и адаптер, установленные на штативе:

1 — место установки рейки; 2 — трегер; 3 — штатив;
4 — адаптер трегера

ны отражатели, превышение между горизонтальными осями которых определялось тахеометром высокой точности (Leica TS-06, $m_z=2''$) с семи разных станций (рис. 2). Данный подход позволил отказаться от использования рулетки для измерения высоты отражателя над нивелирным башмаком, так как нивелирная рейка при передаче высоты устанавливалась непосредственно на адаптер. Измерения выполнялись 21 июня 2013 г. в облачную погоду при температуре +17 °С и слабом ветре в Тюменской области.

При работе на ст. 1, 2 и 3 неравенство плеч не превышало 1 м. На первой станции (ст. 1) прибор устанавливался на обочине асфальтированной дороги; на второй — на травянистом откосе; на третьей — практически внизу откоса таким образом, что при наблюдении цели т. 2 визирный луч проходил над асфальтированной дорогой не выше 1 м. Ст. 5–6 располагались на травянистом откосе, а ст. 7 — на обочине дороги.

Превышение h между двумя целями (т. 1 и т. 2) находилось по известной формуле

$$h = h_n - h_3 = D_n \cos z_n - D_3 \cos z_3, \quad (1)$$

где h_n и h_3 — превышения между осью вращения зрительной трубы и целями; D — наклонное расстояние; z — зенитное расстояние (индексы «п», «з» обозначают переднюю и заднюю цель соответственно).

Результаты измерений и оценки точности

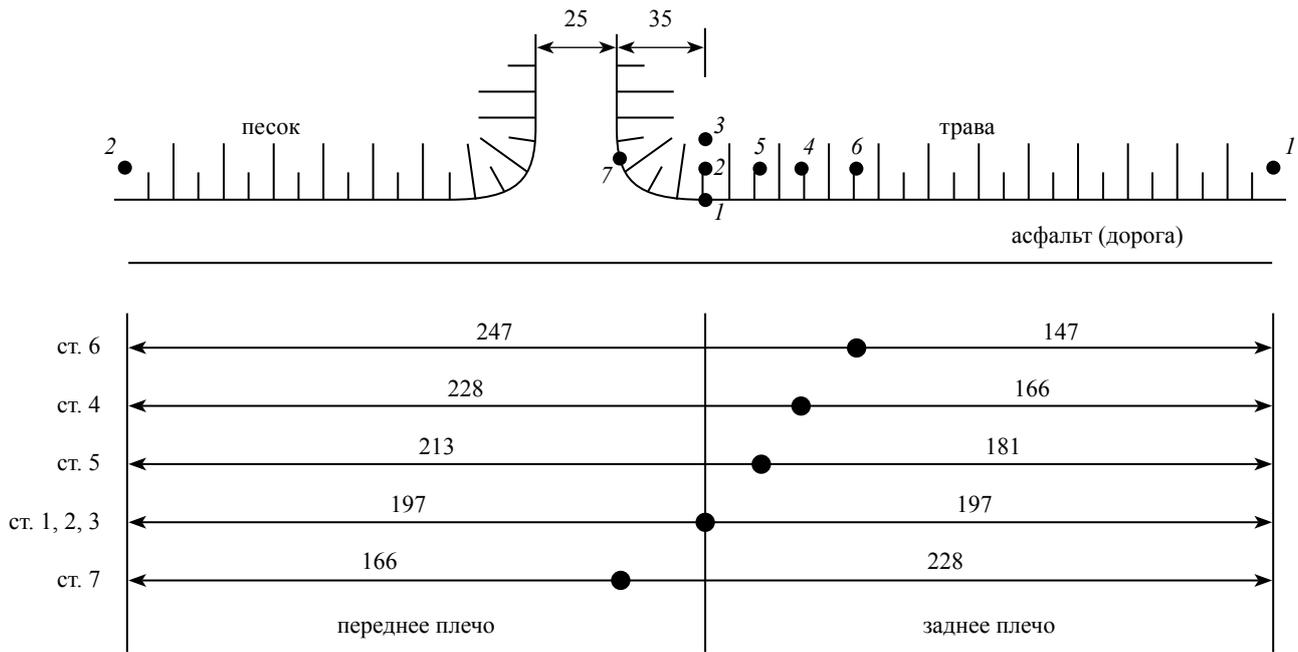


Рис. 2. Схема установки тахеометра при выполнении нивелирования (все расстояния указаны в метрах)

представлены в табл. 1. В табл. 1 приняты следующие обозначения:

m_3 и m_n — средние квадратические ошибки (СКО) измерения превышений h_3 и h_n соответственно; $m_{вн}$ и $m_{ист}$ — СКО определения превышения h между двумя целями. Первая величина найдена по отклонениям от среднего по серии значения превышения (внутренняя сходимость), вторая величина вычислена по отклонениям от значения превышения, принятого за истинное. Все СКО определены по формуле Бесселя; Δh — интервал, в котором находятся превышения по серии ($\Delta h = h_{max} - h_{min}$); h_{cp} — значение превышения, вычисленное как среднее по серии из n приемов; $h_{зем}$ — превышение h_{cp} с учетом поправки за кривизну Земли; $h_{ист} - h_{зем}$ — отличие среднего по серии значения превышения с учетом поправки за кривизну Земли от истинного значения; n — число приемов.

Если перевести m_3 и m_n в угловую величину и найти из них среднее, то $m_z = 1,1''$.

Так как количество добавочных измерений в серии $r < 20$, решим задачу оценки точности и надежности подходящего значения теоретической средней квадратической ошибки σ , используя распределение χ^2 [10]. При $n = 10$, с доверительной вероятностью 0,95 можно утверждать, что стандарт находится в пределах $0,76'' < \sigma < 2,0''$.

Таким образом, фактическая точность измерения зенитного расстояния не превосходит заявленной точности прибора ($m_z = 2,0''$) при использовании стандартных отражателей для длин плеч до 200 м. Аналогичный интервал для расстояния 200 м был получен в работе [11]. Для больших расстояний точное наведение на отражатель затруднено, особенно при размытии изображения, в связи с чем данная

Таблица 1

Результаты оценки точности измеренных превышений, мм

№ ст.	n	Неравенство плеч, м	m_3	m_n	$m_{вн}$	$m_{ист}$	Δh	h_{cp}	$h_{зем}$	$\Delta = h_{ист} - h_{зем}$	$\Delta_{доп} = 3M$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	15	0,2	0,8	0,7	1,0	1,0	3,2	-714,68	-714,69	-0,25	0,8
2	15	0,6	0,8	0,8	1,3	1,9	4,3	-713,58	-713,56	-1,38	1,0
3	15	0,2	2,3	1,8	1,9	4,8	7,4	-719,20	-719,20	4,26	1,5
4	10	61,2	0,6	1,0	1,3	3,9	3,6	-718,42	-716,53	1,59	1,2
5	10	32,3	0,9	1,3	1,3	1,5	4,4	-715,50	-714,50	-0,44	1,2
6	10	99,6	0,6	1,5	1,5	8,9	4,5	-723,28	-720,20	5,26	1,4
7	10	62,3	1,1	0,6	0,9	5,2	2,9	-710,09	-712,02	-2,92	0,8

длина плеч, на наш взгляд, является оптимальной при проложении высотных ходов.

Для правильной интерпретации разностей из графы 11 табл. 1 найдем их СКО и перейдем к предельным ошибкам. При вычислениях будем считать превышение, полученное из геометрического нивелирования, — безошибочным. Тогда СКО среднего по серии превышения равна:

$$M = \frac{m_{\text{вн}}}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

а величина допустимого интервала:

$$\Delta_{\text{доп}} = 3M. \quad (3)$$

Из сравнения полученных разностей Δ с их допустимыми значениями $\Delta_{\text{доп}}$ следует, что для ст. 2, 3, 4, 6, 7 истинные ошибки среднего по серии значения превышения превосходят установленный допуск и, вероятнее всего, вызваны систематическим влиянием вертикальной рефракции. Очевидно на этих станциях $m_{\text{вн}}$ и $m_{\text{ист}}$ не согласуются между собой.

Из табл. 1 можно сделать еще ряд выводов.

1. При нивелировании строго из середины ошибки m_3 и $m_{\text{п}}$ максимальны при прохождении визирного луча низко над подстилающей поверхностью (ст. 3). С этой станции при наведении на цель 1 визирный луч проходил над травой на высоте менее 1,5 м, а при наведении на цель 2 над асфальтированной дорогой — на высоте менее 1 м. В остальных случаях эти ошибки не превысили 1,5".

2. Ошибка определения превышения $h_{\text{зем}}$ между точками 1 и 2 (графа 11) минимальна при расположении прибора на асфальте (большая высота визирного луча над землей, особенно вблизи прибора); больше при расположении прибора на травянистом откосе; максимальна (4,3 мм) при низком прохождении визирного луча над подстилающей поверхностью. Систематические ошибки, превосходящие $\Delta_{\text{доп}}$, на ст. 2 и 3 можно объяснить несимметричностью профиля и небольшой высотой прохождения визирного луча над подстилающей поверхностью.

3. Ошибки $m_{\text{вн}}$ показывают хорошую сходимость выполненных в каждой серии измерений. Эти ошибки минимальны (~1,0 мм) для ст. 1 и 7, когда прибор установлен на обочине дороги (наибольшая высота визирного луча);

не превышают 1,5 мм при установке прибора на откосе и максимальны при наиболее низком прохождении луча над землей (ст. 3). Данные ошибки в основном вызваны влиянием короткопериодической составляющей рефракции и зависят от качества изображения (его расплывчатости и колебаний).

4. Знак разностей в графе 11 определяется величиной рефракционного искажения при взгляде на заднюю и переднюю цели:

если $r_3 - r_{\text{п}} > 0$, то $h_{\text{ист}} - h_{\text{зем}} < 0$;

если $r_3 - r_{\text{п}} < 0$, то $h_{\text{ист}} - h_{\text{зем}} > 0$,

где r_3 и $r_{\text{п}}$ — рефракционные ошибки при взгляде на заднюю и переднюю цели соответственно (взяты по модулю) [5].

Очевидно, что при нивелировании не из середины большему влиянию рефракции подвергнется более длинная сторона. Поэтому для ст. 4 и 6 разности Δ — положительные, а для ст. 7 разность отрицательная.

При нивелировании строго из середины знак разностей определяется особенностями профиля. Для ст. 2 разность Δ отрицательная, то есть абсолютная рефракционная ошибка больше при визировании на заднюю цель, что может быть связано с подстилающей поверхностью вдоль заднего плеча в виде густой травянистой растительности. Для ст. 3 разность Δ — положительная, что вызвано низким прохождением визирного луча (< 1 м) при взгляде вперед, над асфальтированной дорогой.

В работе [5] проводился аналогичный опыт, в котором визирный луч при взгляде на переднюю точку проходил низко над подстилающей поверхностью (также на расстоянии 30 м от прибора). При этом абсолютные рефракционные ошибки на заднюю точку не превысили 0,9 мм, а при визировании на переднюю достигали величины 4,45 мм. Разности Δ в упомянутом эксперименте также положительные и достигают 3,9 мм.

5. Для ст. 4 и 7 (с одинаковым неравенством плеч, но находящихся по разные стороны от середины), ошибки определения превышения $h_{\text{зем}}$, очевидно, имеют разный знак, но по абсолютной величине не совпадают на 1,3 мм. Это может быть связано с несимметричностью профиля, так как условия прохождения визирного луча рядом с прибором резко отличаются (асфальт и трава), а на рефракцию оказывают

Таблица 2

Результаты взаимных неодновременных измерений

№ точки	Количество приемов n	$h_{зем}$, мм	$\Delta = h_{ист} - h_{зем}$, мм	Время измерений (местное)	$\Delta h = h_{max} - h_{min}$, мм/''	$m_{вн}$, мм/''
1	30	-755,0	+40,06	14:47 – 15:08	19/10	4,0/2,1
2	30	+676,4	+38,56	15:23 – 15:43	12/6	2,6/1,4

наибольшее влияние условия прохождения визирного луча вблизи точки установки прибора. Еще одной причиной различия превышений может быть изменение коэффициента рефракции, который в данных погодных условиях, согласно [7], за 10–30 мин может измениться на 0,5. Ошибки m_z и m_n одинаковы и для ближних целей составляют 0,6 мм, а для дальних — 1,0 мм ($m_z < 1''$).

6. При изменении неравенства плеч в два раза с 30 до 60 м (станции 4 и 5) ошибка за рефракцию увеличивается в 4 раза. Это подтверждает квадратичную зависимость рефракционной ошибки от расстояния, что очевидно из формулы для вычисления поправки за рефракцию

$$r = \frac{0,785D^2}{\sin^2 z} k, \quad (4)$$

где поправка за рефракцию r вводится со знаком «минус»; D — расстояние до цели в сотнях метров; z — зенитное расстояние; k — коэффициент рефракции.

Измерения также выполнялись с точек 1 и 2, при этом из трегера вынимался адаптер и устанавливался прибор. После установки прибора в трегер положение подъемных винтов не изменялось, так как прибор располагался достаточно отвесно, в пределах работы компенсатора. Результаты измерений с конечных точек профиля представлены в табл. 2.

Среднее из двух превышений отличается от истинного всего на 0,7 мм несмотря на то, что наведение на стандартный отражатель при расстоянии 394 м затруднено, хотя и возможно в пасмурную погоду.

Из табл. 2 следует, что траектория оптического луча обращена выпуклостью вниз. В соответствии с [12], измерения выполнены в турбулентном подслое атмосферы, когда фактические градиенты температуры превышают градиент автоконвекции $\gamma_A = 0,0342$ К/м. Высота подвижного (турбулентного) подслоя составляет в дневные часы летом 15–25 м.

По данным неодновременных двусторонних измерений с точек 1 и 2 нами были вычис-

лены коэффициенты рефракции по формуле [13]

$$k = 1 - \frac{R(z_1 + z_2) - 180^\circ}{D \rho}. \quad (5)$$

Также коэффициенты k были найдены по данным односторонних измерений с привлечением результатов геометрического нивелирования по формуле [13]:

$$k = 1 - \frac{2R}{D^2}(h - D \cos z), \quad (6)$$

где R — радиус Земли (6371 км); h — превышение из геометрического нивелирования.

По найденным коэффициентам рефракции были вычислены температурные градиенты по формуле А.А. Изотова и Л.П. Пеллинина:

$$\kappa = 668,7 \frac{P}{T^2} \left(0,0342 + \frac{dT}{dh} \right), \quad (7)$$

где κ — точечный коэффициент рефракции; P — давление воздуха, мм рт. ст.; T — абсолютная температура, К; $\frac{dT}{dh}$ — вертикальный градиент температуры, °/м.

Кроме того, были вычислены рефракционные ошибки в угловой мере. Результаты вычислений представлены в табл. 3.

Таблица 3

Опытные значения коэффициентов рефракции

Измерения	k	σ_k	dT/dh , °/м	$\delta\alpha$, угл. секунды
С точки 1	-3,29	—		21,0
С точки 2	-3,32	—	-0,54	21,1
По взаимным наблюдениям	-3,30	0,11*		—

* σ_k найдена из графика рис. 2, представленного в работе [7] для $\sigma_z = 1''$

Коэффициенты рефракции, найденные по формулам (5) и (6), согласуются между собой. Значение коэффициента рефракции -3,3 на высоте ~1,6 м в соответствии с выводами из [4, 6, 7, 14] вполне возможно, однако, не характерно для пасмурной погоды. Вероятно, такое значение коэффициента связано с особенностью установки прибора на откосе (рис. 3). Предположим, что слои воздуха одинаковой плотности (на рисунке показаны пунктиром)

располагаются примерно параллельно скатам земной поверхности. В силу инерционности изменения плотности слоев воздуха вдоль откоса прибор мог оказаться во влиянии слоев воздуха с большими изменениями вертикальных температурных градиентов, чем это ожидалось на высоте 1,6 м.

Если допустить, что коэффициент рефракции одинаков при визировании на заднюю и переднюю цели, то рефракционную ошибку на станции в зависимости от неравенства плеч и величины коэффициента рефракции можно подсчитать, используя формулу (4). Для суммы плеч 400 м и $z = 85^\circ$ результаты вычислений представлены в табл. 4.

Таблица 4

Рефракционные ошибки на станциях для суммы плеч 400 м, мм

Неравенство плеч, м	Коэффициент рефракции k					
	0,13	0,5	1	2	3	4
2	0,01	0,03	0,06	0,13	0,19	0,25
5	0,02	0,08	0,16	0,32	0,47	0,63
10	0,04	0,16	0,32	0,63	0,95	1,27
15	0,06	0,24	0,47	0,95	1,42	1,90
30	0,12	0,47	0,95	1,90	2,85	3,80
60	0,25	0,95	1,90	3,80	5,70	7,59

Очевидно, чем больше коэффициент рефракции, тем более строгие требования предъявляются к установке тахеометра между измеряемыми точками. В работах [4, 14] даются рекомендации о времени, в которое следует выполнять измерения: в течение всего дня при устойчивом влиянии рефракции, за исключением одного-полутора часов после восхода и до захода солнца, а также исключая часы, когда изображение цели сильно колеблющееся и расплывчатое. Как следует из работы [7], в пасмурную погоду в указанный промежуток времени коэффициенты не превосходят -2 , а в солнечную погоду -4 . Если принять за предельную рефракционную ошибку на станции величину 1,5 мм, то в соответствии с табл. 4, при длинах плеч 200 м следует ограничить их неравенство на станции для нивелирования III класса: в пасмурную погоду — 20 м, в солнечную — 10 м. Для нивелирования IV класса эти допуски возможно принять: 30 и 20 м соответственно. Установленные допуски рекомендуются для длин плеч до 300 м.

Однако равенство коэффициентов рефракции при визировании на заднюю и переднюю цели весьма условно. Поэтому желательно

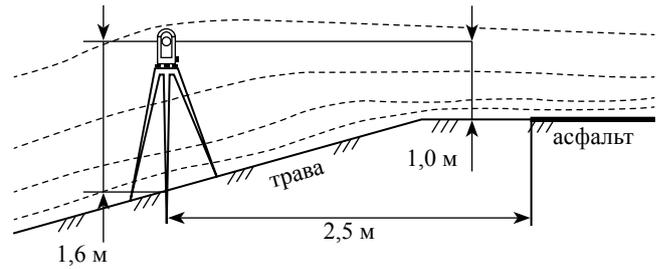


Рис. 3. Схема установки тахеометра

выбирать место установки прибора таким образом, чтобы условия прохождения визирного луча «назад» и «вперед» были однородны. Для этого следует:

избегать разной подстилающей поверхности при взгляде «назад» и «вперед», особенно вблизи прибора;

исключать прохождение визирного луча ниже 1,0 м над подстилающей поверхностью и устанавливать цель не ниже 1,5 м над землей.

Указанные выше допуски на неравенство плеч целесообразно применять, когда необходимо точно определить превышение между смежными точками, например при определении высот пунктов строительной сетки. На участке высотного хода между исходным репером и определяемой точкой из-за условий местности тахеометр может быть установлен с большим значением неравенства плеч. Тогда необходимо произвести компенсацию разницы на последующих станциях с аналогичными длинами плеч до определяемой точки и, по возможности, в течение часа, пока не произошло значительное изменение коэффициента рефракции [7, 8]. Очевидно, как и в геометрическом нивелировании, требуется ограничить накопление неравенства плеч по секции. Если принять за допустимое накопление неравенства плеч по секции величину удвоенного допуска на станции, то для III класса накопление не должно превышать 30 м, для IV класса — 50 м.

Опираясь на [2, 3, 8, 11] и результаты проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Значение коэффициента рефракции в приземном трехметровом слое воздуха может значительно отличаться от общепринятого $+0,13$ и в течение большей части дня имеет знак «минус». Это налагает определенные ограничения на неравенство плеч на станции, которые не должны превышать указанных пределов.

2. Низкое прохождение визирного луча над подстилающей поверхностью может внести значительные искажения в результаты измерений: даже при установке прибора строго по середине между целями и для длин плеч 200 м ошибка может достигать 4–5 мм.

3. Принимая ряд мер по снижению воздействия внешних условий на результаты тригонометрического нивелирования (выгоднейшее время измерений, высота визирного луча над подстилающей поверхностью и пр.), последнее может соответствовать по точности геометрическому нивелированию III и IV классов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. Федеральная служба геодезии и картографии России. –М.: Картогеоцентр-Геодезиздат, 2004. –244 с.
2. Никонов А.В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров // Вестник СГГА. –2013. –Вып. 2(22). –С. 26–35.
3. Никонов А.В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины при визировании над разными подстилающими поверхностями // Вестник СГГА. –2013. –Вып. 3(23). –С. 28–33.
4. Дрок М.К. К вопросу о поправке в превышения за совместное влияние кривизны Земли и вертикальной рефракции при геодезическом нивелировании на малые расстояния // Научные записки ЛПИ. –1962. –№7. –С.3–30.
5. Kharaghani G.A. Propagation of refraction errors in trigonometric height traversing and geodetic levelling. Technical report №132. University of New Brunswick. Canada. 1987.

6. Chrzanowski A. Implementation of trigonometric height traversing in geodetic levelling of high precision. Technical report №142. University of New Brunswick. Canada. 1989.

7. Hirt C., Guillaume S., Wisbar A., Bürki B. and Sternberg H. Monitoring of the refraction coefficient of the lower atmosphere using a controlled set-up of simultaneous reciprocal vertical angle measurements // Journal of Geophysical Research (JGR). –2010. 115, D21102.

8. Никонов А.В., Бабасов С.А. Исследование тригонометрического нивелирования в полевых условиях // 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. 71–78.

9. Вишкова О.В. Учет влияния атмосферы в электронной тахеометрии с использованием геодезического градиентометра // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». –2010. –№ 3. –С. 3–9.

10. Бурмистров Г.А. К вопросу об оценке точности при ограниченном числе измерений // Труды МИИГАиК. –1961. –Вып. 44. –С. 51–58.

11. Никонов А.В., Рахымбердина М.Е. Исследование точности измерения превышений электронным тахеометром высокой точности в полевых условиях // Вестник СГГА. –2013. –Вып. 1(21). –С. 16–26.

12. Мозжухин О.А. Рефракция в нивелировании и способ ее учета. – Н. Новгород., 2010. –32 с.

13. Иордан В., Эггерт О., Кнейсель М. Руководство по высшей геодезии. Прецизионное и тригонометрическое нивелирование. –М.:Госгеолтехиздат, 1963. – 263с.

14. Дрок М.К. Исследование точности определения превышений в ходах геодезического нивелирования на короткие расстояния в равнинной местности // Научные записки ЛПИ. –1961. –№6. –С.183–199.

Принята к печати 3 декабря 2013 г.

Рекомендована кафедрой инженерной геодезии и маркшейдерского дела СГГА

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ НАЗЕМНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СКАНЕРОВ ДЛЯ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Кандидат техн. наук **Н.В. Канашин**¹, кандидат техн. наук **К.П. Виноградов**², инженер **Д.И. Степанов**²

¹Петербургский государственный университет путей сообщения

²ООО «НПП «БЕНТА»

Nikolay_kanashin@mail.ru

Аннотация. Съёмочной сетью при сканерной съёмке служит сканерный ход или сеть. Учитывая возможности современных сканеров, предложено сократить число пунктов в такой сети с целью уменьшения трудоёмкости работ. На основе экспериментальных исследований показано, что точность такой съёмочной сети удовлетворяет требованиям нормативных документов.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, съёмочная сеть

Abstract. There is a need to create a scanner traverse or scanner network for scanner survey. Some points of this network are proposed for ruling out with intent to decrease labor expenditures. The research outcomes show that accuracy of such network satisfies the requirements of normative documents.

Keywords: terrestrial laser scanning, survey network

В настоящее время наземная сканерная съёмка достаточно широко распространена при решении различных задач, в том числе и

в области топографии [1–3]. В посвященной данной тематике литературе [2–6] предложены различные методики выполнения полевых