

Таблица 2
Величины углов рефракции, вычисленные методом рефракционного базиса δ_{A-i} , поправки за рефракцию $-r_i'$.

Время	Направления									
	А-1		А-2		А-3		А-4		А-5	
	δ_{A-1}	r_{mm}'	δ_{A-2}	r_{mm}'	δ_{A-3}	r_{mm}'	δ_{A-4}	r_{mm}'	δ_{A-5}	r_{mm}'
10	-8,2	-41	-8,6	-29	-2,7	-9	-0,3	-1	-2,9	-6
11	-10,3	-52	-10,6	-36	-3,6	-12	-0,9	-4	-3,7	-8
12	-12,2	-61	-12,4	-42	-4,4	-14	-1,5	-7	-4,4	-9
13	-9,3	-47	-9,6	-32	-3,2	-10	-0,6	-3	-3,3	-7
14	-8,1	-41	-8,6	-29	-2,3	-8	-0,3	-1	-2,9	-6
15	-7,1	-36	-7,6	-26	-2,2	-7	-0,1	0	-2,5	-5
16	-8,6	-43	-9,0	-30	-2,9	-10	-0,4	-2	-3,1	-6
17	-7,8	-39	-8,3	-28	-2,6	-9	-0,2	-1	-2,8	-6
18	-2,6	-13	-3,3	-11	-0,3	-1	-1,5	-7	-0,8	-2

Таблица 3
Погрешности тригонометрического нивелирования при учете рефракции методом рефракционного базиса $-\Delta r_i$.

Время	Направления				
	А-1	А-2	А-3	А-4	А-5
	Δr_{mm}	Δr_{mm}	Δr_{mm}	Δr_{mm}	Δr_{mm}
10	+14	0	+5	-3	0
11	+21	+3	+6	0	0
12	+34	+4	+5	+3	+2
13	+15	-8	+1	-1	-3
14	+19	-7	+7	0	-3
15	+8	-9	-2	-1	-3
16	+18	-4	+6	0	-3
17	+17	+3	+2	-1	+1
18	+7	+6	-2	+3	-1

Для обобщенной оценки остаточного действия рефракции вычислим на основании табл. 3 (по величинам Δr_i) среднюю квадратическую погрешность этого остаточного влияния $-m'$

$$m' = \pm \sqrt{\frac{[\Delta r \Delta r]}{n'}} \quad (11)$$

Оказалось: $m' = \pm 9$ мм ($n=54$, $n'=45$). Средняя длина пяти сторон сети (без направления А-В) составляет 771 м. В пересчете на 1 км получим $m_{km}' = \pm 10,3$ мм.

Таким образом: 1) при одностороннем тригонометрическом нивелировании на малые расстояния (до 1 км) учет вертикальной рефракции методом рефракционного базиса уменьшает ее действие не менее чем в два раза;

и поправки в превышения за рефракцию r_i' . В целом углы δ_{A-i} и δ_{A-i} (поправки r_i и r_i'), достаточно хорошо согласуются. Максимальные расхождения оказались по самому длинному направлению А-1.

В табл. 3 приведены разности Δr_i , вычисленные по формуле (8). Величины Δr_i характеризуют точность учета рефракции методом рефракционного базиса. Практически, как уже отмечалось, Δr_i характеризует точность одностороннего тригонометрического нивелирования на малые расстояния, если рефракция учитывается указанным методом.

2) одностороннее тригонометрическое нивелирование высокоточными теодолитами на расстояния до 1 км, если вести учет рефракции методом рефракционного базиса, не уступает по точности геометрическому нивелированию IV класса;

3) при таком учете рефракции нивелирование можно вести не только в периоды утренних и вечерних спокойных изображений, а в течение всего дня между этими периодами.

Список литературы: 1. Дрок М. К. К вопросу о поправке в превышения за совместное влияние кривизны Земли и вертикальной рефракции при геодезическом нивелировании на малые расстояния. — Науч. зап. Львовского политех. ин-та. Сер. геод., 1962, вып. 82, № 7. 2. Джуман Б. М. О точности измерения зенитных расстояний в период спокойных изображений при ветре. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1966, вып. 4. 3. Замираев Н. Н., Богданов Б. Г. Из опыта создания высотного обоснования методом тригонометрического нивелирования. — Геодезия и картография, 1981, № 10. 4. Изотов А. А., Пеллинен Л. П. Исследования земной рефракции и методов геодезического нивелирования. — Тр. ЦНИИГАиК, 1955, вып. 102. 5. Маслич Д. И., Джуман Б. М., Глушак Б. Т., Алексеев А. В. Об учете вертикальной рефракции над морской поверхностью по методу эталонного направления. — V Всесоюзный симпозиум по распространению лазерного излучения в атмосфере. Тезисы докладов. Ч. 2. Томск, 1979. 6. Шевчук П. М., Гнатенко А. Д., Кравецкий В. Н. Точность превышений из тригонометрического нивелирования коротким путем. — Геодезия и картография, 1981, № 3.

Статья поступила в редколлегию 15.04.82

УДК 528.089.6

А. Л. ОСТРОВСКИЙ, И. Н. КМЕТКО, В. О. ЛИТИНСКИЙ

К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРАВИЛЬНОСТИ ХОДА ФОКУСИРУЮЩЕЙ ЛИНЗЫ ВЫСОКОТОЧНЫХ НИВЕЛИРОВ

Анализируя исследования правильности хода фокусирующей линзы нивелиров по литературным источникам [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и др.] нельзя не обратить внимание на то, что у всех авторов методика его выполнения, обработка результатов и, главное, критерии оценки правильности хода различные.

В учебнике [1] изложена теория вопроса и приведен численный пример. Исследование предлагается выполнять, разбивая точки по полуокружности радиуса 50 м. Расстояния точек 1, 2, 3... от точки К равны 10, 20, 30... 100 м (рис. 1).

В численном примере обработка результатов измерений ведется по способу наименьших квадратов. Свободными членами служат разности отсчетов на одни и те же точки из станций А и К.

Критерием однообразности хода (колебания) фокусирующей линзы служит средняя квадратическая погрешность m , а отклонение линии визирования от визирной оси оценивается по углу между ними.

В инструкции [2] это же исследование представлено аналогично, однако свободными членами уравнений поправок здесь служат разности между средним и отдельными значениями горизонта и

струмента. Горизонты инструмента вычислены по превышениям текущих точек над точкой А (рис. 2) и отсчета по рейке в соответствующих точках из станции А.

Характеристикой неправильности хода фокусирующей линзы являются величины v_i , полученные из уравнивания, которые не должны превышать $\pm 0,5$ мм.

Следует заметить, что для получения собственно характеристики хода фокусирующей линзы необходимо исключить из отсчетов по рейке ошибки за остаточное значение угла i нивелира, за кривизну Земли и за рефракцию, а также за деления рейки. Последние должны

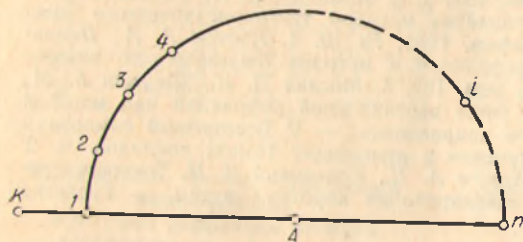


Рис. 1. Схема расположения точек при исследовании, предлагаемая в учебниках.

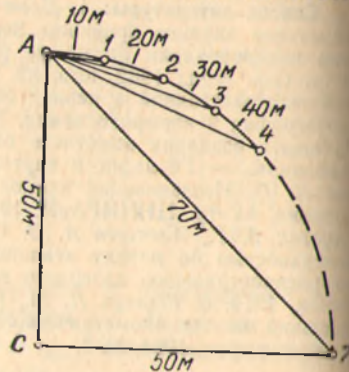


Рис. 2. Схема расположения точек при исследовании согласно действующей инструкции.

быть получены из специального компарирования. Только после этого данные дадут характеристику хода фокусирующей линзы, включая точность нивелирования на станции. Естественно ошибки за перефокусировку трубы обнаружатся, если их значения будут больше погрешностей нивелирования.

В инструкции говорится, что угол i должен быть близок к нулю. Фактически в методике исследований влияние угла i не исключается. Известно, что допустимое значение угла i при нивелировании I, II классов — $20''$. Практически угол i не бывает равным нулю. Если еще не учитывать других названных выше поправок, то величины v_i неверно отобразят ход фокусирующей линзы.

Кроме того, в уравнения погрешностей можно было бы не вводить величину q — разность горизонтов нивелира при двух его постановках. В [1] она исключается при выводе окончательных уравнений погрешностей.

В учебниках [3, 4 и др.] данное исследование представлено следующим образом: на полуокружности радиусом 50 м разбивают точки 1, 2, 3... Последние нивелируют вначале из станции А, не изменяя фокусировки трубы (рис. 1). Вычисляют превышения каждой точки над первой

$$h_1 = v_1 - v_2;$$

$$h_2 = v_1 - v_3;$$

$$\dots\dots\dots$$

$$h_{n-1} = v_1 - v_n.$$

Затем нивелируют все точки из станции К, от которой расстояния до точек различны. По отсчетам с этой станции также вычисляют превышения

$$h'_1 = v'_1 - v'_2;$$

$$h'_2 = v'_1 - v'_3;$$

$$\dots\dots\dots$$

$$h'_{n-1} = v'_1 - v'_n,$$

где v_i и v'_i — отсчеты по рейке. Далее вычисляют разности

$$\Delta_1 = h_1 - h'_1; \quad \Delta_2 = h_2 - h'_2; \quad \dots\dots \quad \Delta_n = h_{n-1} - h'_{n-1}.$$

Устанавливается допустимая величина разностей Δ . Они не должны быть более 2 мм [3]. В [4] тот же допуск равен 5 мм.

Упрощенная методика исследования, приводимая в этих учебниках, а также большие допуски понятны, так как здесь рассматривается техническое нивелирование. Заметим, что в современных нивелирах рассматриваемая ошибка за перефокусировку трубы столь невелика, что ее трудно выявить прецизионным нивелированием с учетом всех поправок (за угол i кривизну Земли, рефракцию, компарирование делений рейки), поэтому изложение данного вопроса в учебниках носит преимущественно теоретический или традиционный характер.

В работе [5] данное исследование выполнено створным методом, в котором исключается остаточное значение угла i . Автор статьи считает, что величины q_k характеризуют ход фокусирующей линзы и точность нивелирования на станции. Приведем некоторые замечания по данной работе:

а) Из величин q_k не полностью исключены ошибки за кривизну Земли и рефракцию, так как

$$q_k = 2\delta_k - 2\delta_{cp}; \quad a \quad 2\delta_{cp} = \frac{\theta_1 - \theta_n}{n-1}; \quad 2\delta_k = \theta_k - \theta_{k+1},$$

где $\theta_k = b_k - a_k$; $\theta_{k+1} = b_{k+1} - a_{k+1}$; a и b — отметки по рейке из станции I и II соответственно. При вычислении θ_1 отсчет b будет максимально искажен вследствие кривизны Земли и рефракции, а отсчет a — практически не искаженный. Соответственно величина θ_1 возрастет на ошибку за кривизну Земли и рефракцию. Рассуждая аналогично, найдем, что θ_n будет на такую же величину уменьшен. Следовательно, $2\delta_{cp}$ будет увеличено, а $2\delta_k$ сначала увеличится, что частично исключит эти ошибки, но ближе к станции II они уменьшатся.

Соответственно величина q_k при указанных в работе расстояниях 60 м и данном количестве точек будет вычислена с ошибкой приблизительно 0,1 мм. Неизвестно также, к каким расстояниям относятся «скачки» q_k (от станции I или от станции II).

Вследствие сказанного выше величина q_k не будет характеризовать ход фокусирующей линзы, так как ошибки за кривизну Земли в $2\delta_k$ не равны тем же ошибкам в $2\delta_{cp}$. Отметим, что данный способ исследования ошибки за перефокусирование может

быть использован при правильном введении в отсчеты по рейке указанных поправок. Однако, как правильно отметил автор, при определении превышений створным методом ошибка за перефокусирование уменьшается в два раза и так же, как и при нивелировании из середины, исключаются ошибки за кривизну Земли и угол i .

б) Расстояния, при которых выполняются исследования, выбранные автором неверно.

в) Автор пишет, что не требуется специально определять угол i . В других способах его также не определяют специально, а вычисляют из измерений, проводимых в процессе исследований.

Этот вопрос обстоятельно излагается в [6]. Рассмотрим некоторые особенности исследования:

1. Авторы правильно отмечают, что искривление визирной линии за счет ошибки механизма фокусировки будет преимущественно иметь место на коротких расстояниях до 15 м. Об этом сказано также в [7].

2. В отсчеты по рейке введены поправки за угол i , за кривизну Земли и рефракцию. Причем угол i вычисляется по данным самих исследований.

3. Уклонения v_i визирной линии от прямой определяются от горизонта прибора ГП, вычисленного по самой удаленной точке (точка 11, расстояние 50 м), где фокусирующая линза при изменении расстояний передвигается уже незначительно.

4. Средняя квадратическая ошибка определения уклонений визирной линии от прямой вычисляется по v_i отклонениям горизонта прибора (ГП), вычисленного на все точки от ГП 11-й точки, без решения задачи по способу наименьших квадратов.

5. Приведен пример обработки результатов исследований нивелира $N_i 007$, а также результаты исследований ряда отечественных и зарубежных нивелиров.

В заключение отмечается, что точность измерений недостаточно высока, чтобы выявить ошибки, обусловленные перефокусировкой зрительной трубы.

Отметим, что указанные особенности исследования выгодно отличают его от работ, рассмотренных ранее. По этой работе сделаем лишь уточнения:

а) в отсчеты по рейкам вводились суммарные поправки за кривизну Земли и рефракцию по формуле (72); причем, как легко определить, коэффициент рефракции принимался равным 0,14. Считаем, что ошибку за рефракцию можно вводить в отсчеты только по данным специальных исследований приземного слоя атмосферы во время выполнения измерений. Без таких исследований лучше ее не вводить;

б) ничего не сказано по поводу введения поправок в отсчеты за компарирование делений рейки (поправки не вводились). Как известно, согласно инструкции, ошибки дециметровых делений шкал реек допускаются для нивелирования I класса 0,10 мм, а для нивелирования II класса — 0,20 мм.

При выполнении данных исследований необходимо или компарировать все деления, используемые при измерениях, или забивать костыли таким образом, чтобы все отсчеты были на одном делении рейки. Тогда можно вообще не компарировать рейки при длинных исследованиях;

в) превышение между точками А и 1 можно не определять, а принимать равным любому числу.

Как видно, методика выполнения данного исследования и допуски у разных авторов различные. Учитывая изложенное выше, нами в 1979 и 1981 гг. были проведены экспериментальные наблюдения с целью изучения правильности хода фокусирующей линзы нивелиров типа НА—1.

В 1979 г. (до опубликования статьи [5]) были выполнены работы с целью обосновать взаимозаменяемость методики исследования по окружности и створным методом.

В экспериментировании участвовало два нивелира НА—1 № 01022, 01184. На каждом из них было выполнено по две программы наблюдений действующим и предлагаемым методами. Наблюдения и обработка результатов осуществлены по программе, рекомендованной [2]. По результатам исследований можно заключить, что оба метода являются равноценными, так как величины v_i , полученные этими способами, имеют одинаковый порядок, а их разности не превышают 0,20 мм.

Приведем некоторые замечания, вытекающие из выполненных экспериментов:

1. Подготовка и выбор трассы для исследований по прямой линии намного проще, чем по окружности, а сама разбивка точек занимает в несколько раз меньше времени. Кроме того, трассу длиной 50...70 м по прямой можно найти в подвалах и коридорах крупных зданий, а сами исследования в этом случае будут практически свободны от влияния внешних условий.

2. При наблюдениях рейки по прямой линии пузырек цилиндрического уровня все время находится в нульпункте, так как труба не вращается по азимуту и наблюдатель не передвигается вокруг нивелира. Исключаются также возможные погрешности, связанные с поворотом трубы; кроме того, при данном способе время для наведения трубы по рейке значительно меньше, так как последняя всегда находится в створе.

3. Превышения между соседними точками, определяемые короткими лупами, измеряются точнее, чем при нивелировании из одной точки, а время, затрачиваемое на их определение, примерно одинаковое в обоих случаях.

Учитывая приведенные выше замечания, можно заключить, что створный способ исследования правильности хода фокусирующей линзы во многих случаях является более целесообразным.

В 1981 г. были выполнены исследования двух нивелиров типа НА—1 № 01022 и 01343 створным методом. Рассмотрим подробно полученные результаты. На ровном месте по прямой линии были разбиты точки (рис. 3) на расстояниях от станции 1; 3,6; 4,6; 5,6;

6,6; 7,6; 8,6; 9,6; 10,6; 11,6; 12,6; 15,6; 18,6; 21,6; 24,6; 34,6; 44,6; 54,6; 64,6 м.

Все точки нивелировались один раз из середины для получения наиболее вероятных значений превышений и второй раз прямо и обратно из ст. 1. Это составило одну серию наблюдений. Для каждого нивелира выполнено по восемь таких серий. Наблюдения выполнялись в утреннюю и вечернюю видимость. Погода была

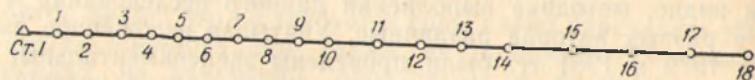


Рис. 3. Схема расположения точек согласно методики исследований, предложенной авторами.

преимущественно пасмурной, а нивелирование из ст. 1 выполнялось вблизи моментов изотермии приземного слоя воздуха.

Обработка результатов наблюдений. 1. Вычислены средние превышения между точками из всех приемов нивелирования равными плечами.

2. Вычислены средние отсчеты по рейке из всех приемов при наблюдениях точек из станции 1 по каждому нивелиру в отдельности.

3. Далее, в усредненные отсчеты по рейке были введены поправки за кривизну Земли (q) и за угол i (δ_i). Поправки за компарирование штрихов рейки, используемой в наблюдениях, не вводились, т. к. они оказались меньше 0,01 мм. Углы i нивелиров определялись многократно, используя данные настоящих экспериментальных наблюдений по методике, приведенной в [6]. Средние значения углов i для нивелиров № 01022, 01343 равны соответственно $-15'',25$ и $-0'',36$.

4. По исправленным отсчетам и эталонным превышениям каждой текущей точки над первой точкой (как бы по абсолютным высотам точек) вычислены горизонты прибора (ГП).

5. Приняв за эталонное значение $ГП_{18}$, вычисленный по измерениям на наиболее удаленную точку № 18, вычислены уклонения

$$\Delta_i = ГП_i - ГП_{18}.$$

Как видно из таблиц, величины Δ_i не подчиняются параболическому закону. Полагая линейную зависимость между Δ_i и ΔS_i , составим уравнения погрешностей

$$\Delta S_i \cdot K - \Delta_i = v_i$$

и нормальные уравнения

$$[\Delta S_i \cdot \Delta S_i] K - [\Delta S \cdot \Delta_i] = 0.$$

Затем было составлено 17 уравнений погрешностей и после решения нормальных уравнений получены значения v_i , по которым выполнена оценка точности наблюдений. Средние квадрати-

ческие ошибки определения уклонений визирной линии от прямой (линия визирования на точку 18) равны для нивелиров № 01022 и 01343 $\pm 0,12$ и $\pm 0,10$ мм соответственно.

Результаты исследований данных нивелиров приведены в таблице. Они дают возможность заключить, что полученные уклонения визирной линии от прямой являются соизмеримыми с погрешностями измерений. Это свидетельствует о том, что ошибки от перефокусировки зрительной трубы данных нивелиров невелики, находятся в пределах точности измерений превышений и практически не влияют на точность нивелирования. Аналогичные выводы сделаны в [6].

По данным настоящих исследований вычислены средние квадратические ошибки превышений в зависимости от расстояний от нивелира до рейки по формуле

$$m_i = \sqrt{\frac{[v_i' v_i']}{n-1}},$$

где v_i' — вероятнейшие погрешности превышений.

Как видно из полученных результатов (таблица), средние квадратические погрешности определения превышения, зависящие от расстояния, минимальны для расстояний от 6...18 м.

При выполнении рассматриваемых исследований необходимо:

а) экспериментальные точки располагать примерно так, как предложено в [6] либо настоящими исследованиями;

б) обязательно в отсчеты по рейке вводить поправки за компарирование штрихов рейки, кривизну Земли и угол i . Последний необходимо вычислять многократно из результатов наблюдений и учитывать среднее его значение;

в) поправку за рефракцию не вводить, если не делалось специальных для этой цели метеонаблюдений. В этих случаях исследования выполнять в пасмурную погоду при спокойных изображениях штрихов рейки в утреннюю и вечернюю изотермии, когда действие рефракции близкое к нулю. При введении поправки за рефракцию огульно с каким-то принятым коэффициентом рефракции можно исказить результаты наблюдений;

г) нет смысла брать отсчеты по барабану микрометра до 0,1 наименьшего деления барабана, как это рекомендовано [2]; лучше брать отсчеты в целых делениях барабана, но выполнять по 2—3 наведения;

д) отсчеты можно производить по основной и дополнительной шкале, что увеличит затраты времени на производство наблюдений незначительно, но существенно увеличит точность и тем самым сократит количество серий при исследованиях;

е) учитывая возрастание погрешностей нивелирования на станции с увеличением длины плеч, можно рекомендовать ограничиваться при исследовании расстояниями до 30—40 м;

ж) более детальные исследования вопроса движения фокусирующей линзы могут быть выполнены только в лабораторных условиях;

Результаты исследования нивелиров
НИВЕЛИР № 01343

№ точек	S (м)	l средн. мм	Поправки		l средн. (исправленные) мм	h	ГП	Δ_i	Уравнения погрешностей	v_i	m_{n_s}
			q	δ_i							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3,6	2909,08	0	+0,01	2909,09	0,00	2909,09	-0,07	61к+0,07= v_1	+0,13	
2	4,6	2912,70	0	+0,01	2912,71	-3,42	2909,29	+0,13	60к-0,13= v_2	-0,07	0,16
3	5,6	2903,74	0	+0,01	2903,75	+5,45	2909,20	+0,04	59к-0,04= v_3	+0,01	0,09
4	6,6	2885,95	0	+0,01	2885,96	23,17	2909,13	-0,03	58к+0,03= v_4	+0,08	0,08
5	7,6	2891,94	0	+0,01	2891,95	17,38	2909,33	+0,17	57к-0,17= v_5	-0,12	0,09
6	8,6	2898,90	-0,01	+0,02	2878,91	30,23	2909,14	-0,02	56к+0,02= v_6	+0,07	0,06
7	9,6	2886,26	-0,01	+0,02	2886,26	22,94	2909,20	+0,04	55к-0,04= v_7	+0,01	0,09
8	10,6	2886,26	-0,01	+0,02	2886,27	22,94	2909,21	+0,05	54к-0,05= v_8	0,00	0,05
9	11,6	2895,03	-0,01	+0,02	2895,04	14,29	2909,33	+0,17	53к-0,17= v_9	-0,12	0,08
10	12,6	2885,52	-0,01	+0,02	2885,53	23,51	2909,04	-0,12	52к+0,12= v_{10}	+0,17	0,04
11	15,6	2884,64	-0,02	+0,03	2884,65	24,52	2909,17	+0,01	49к-0,01= v_{11}	+0,04	0,04
12	18,6	2866,76	-0,03	+0,03	2866,76	42,42	2909,18	+0,02	46к-0,02= v_{12}	+0,02	0,09
13	21,6	2846,35	-0,04	+0,04	2846,85	62,42	2909,27	+0,11	43к-0,11= v_{13}	-0,07	0,12
14	24,6	2833,59	-0,05	+0,04	2833,58	75,79	2909,37	+0,21	40к-0,21= v_{14}	-0,17	0,17
15	34,6	2801,01	-0,09	+0,06	2800,98	108,17	2909,15	-0,01	30к+0,01= v_{15}	+0,04	0,17
16	44,6	2758,37	-0,16	+0,08	2758,29	151,05	2909,34	+0,18	20к-0,18= v_{16}	-0,16	0,21
17	54,6	2771,30	-0,23	+0,10	2771,17	137,97	2909,14	-0,02	10к+0,02= v_{17}	+0,03	0,21
18	64,6	2755,64	-0,34	+0,11	2755,41	153,75	2909,16				0,42

$$41371K-38,03=0; [vv]=0,1549$$

$$K=0,00092$$

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \frac{0,1549}{16} = \pm 0,10 \text{ мм}$$

НИВЕЛИР № 01022

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3,6	2908,88	0	+0,27	2909,15	0,00	2909,15	+0,14	61к-0,14= v_1	-0,04	
2	4,6	2912,32	0	+0,34	2912,66	-3,42	2909,24	+0,23	60к-0,23= v_2	-0,13	0,14
3	5,6	2903,24	0	+0,41	2903,65	+5,45	2909,10	+0,09	59к-0,09= v_3	+0,01	0,11
4	6,6	2885,40	0	+0,49	2885,89	+23,17	2909,06	+0,05	58к-0,05= v_4	+0,05	0,09
5	7,6	2891,30	0	+0,56	2891,86	+17,38	2909,24	+0,23	57к-0,23= v_5	-0,13	0,08
6	8,6	2878,12	-0,01	+0,64	2878,75	+30,23	2908,98	-0,03	56к+0,03= v_6	+0,12	0,07
7	9,6	2885,40	-0,01	+0,71	2886,10	+22,94	2909,04	+0,03	55к-0,03= v_7	+0,06	0,08
8	10,6	2885,36	-0,01	+0,78	2886,13	+22,94	2909,07	+0,06	54к-0,06= v_8	+0,03	0,12
9	11,6	2894,04	-0,01	+0,86	2894,89	+14,29	2909,18	+0,17	53к-0,17= v_9	-0,08	0,11
10	12,6	2884,46	-0,01	+0,93	2885,39	+23,51	2908,89	-0,12	52к+0,12= v_{10}	+0,21	0,12
11	15,6	2883,40	-0,02	+1,15	2884,33	+24,52	2909,05	+0,04	49к-0,04= v_{11}	+0,04	0,13
12	18,6	2865,32	-0,03	+1,38	2866,67	+42,42	2909,09	+0,08	46к-0,08= v_{12}	0,00	0,11
13	21,6	2845,00	-0,04	+1,60	2846,56	+62,42	2908,98	-0,03	43к+0,03= v_{13}	+0,10	0,18
14	24,6	2831,66	-0,05	+1,82	2833,43	+75,79	2909,22	+0,21	40к-0,21= v_{14}	-0,14	0,15
15	34,6	2798,47	-0,09	+2,56	2800,94	+108,17	2909,11	+0,10	30к-0,10= v_{15}	-0,05	0,17
16	44,6	2755,10	-0,16	+3,30	2758,24	+151,05	2909,29	+0,28	20к-0,28= v_{16}	-0,25	0,13
17	54,6	2767,10	-0,23	+4,04	2770,01	+137,97	2908,88	-0,13	10к+0,13= v_{17}	+0,15	0,22
18	64,6	2750,82	-0,34	+4,78	2755,26	+153,75	2909,01				0,23

В таблице l — усредненные отсчеты по рейке на все точки из ст. I;

h — превышения текущих точек над первой точкой;

ГП — горизонт прибора;

Δ_i — ГП_i — ГП₁₈;

v_i — поправки, полученные из уравнивания;

m_{n_s} — ср. кв. ошибки превышения в зависимости от расстояния;

$$41371K-69,69=0; [vv]=0,2261;$$

$$K=0,0017;$$

$$m = \frac{0,2261}{16} \pm 0,12.$$

з) трубы большинства современных нивелиров достаточно совершенны и исследования будут носить лишь контрольный характер.

Список литературы: 1. Ганьшин В. Н. Измерение вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов. — М.: Недра, 1981. 2. Гириберг М. А. Геодезия. — М.: Недра, 1967. 3. Деймлик Ф. Геодезическое инструментоведение. — М.: Недра, 1970. 4. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. 5. Камнев А. В. Исследование хода фокусирующей линзы нивелира створным методом. — Геодезия и картография, № 5, 1979. 6. Маслов А. Н. Геодезия, ч. I. М., 1958. 7. Чеботарев А. С. Геодезия, ч. II. М., 1949. 8. Чернысин М. С. Нивелиры с компенсаторами. — М.: Недра, 1970.

Статья поступила в редколлегию 16.04.82

УДК 528.482

В. И. РУДСКИЙ, Г. П. ХОХЛОВ

ОПЫТ ЗАКЛАДКИ НИВЕЛИРНЫХ ЗНАКОВ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСАДКАМИ ФУНДАМЕНТОВ СООРУЖЕНИЙ В ОСОБО СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

В период с 1976 по 1980 г. кафедра геодезии Полтавского инженерно-строительного института выполняла наблюдения за осадками фундаментов газоперекачивающих агрегатов (ГПА) и разводки труб высокого давления на одной из крупных компрессорных станций (КС) мощного газопровода. КС была построена в 1973 г. Проектом не предусматривалось проводить наблюдения за осадками фундаментов ГПА и разводки труб высокого давления, вследствие чего при строительстве осадочные марки заложены не были. Однако современные ГПА, работающие при оборотах свыше трех тысяч в минуту, очень чувствительны к осадкам фундаментов.

Также весьма чувствительны к перемещениям фундаментов трубы разводки газа от ГПА к магистральному газопроводу, работающие под давлением до 7 МПа. Поэтому уже в процессе эксплуатации возникает необходимость проверить устойчивость фундаментов. Для обеспечения надежной работы ГПА эксплуатационники требуют, чтобы предельная ошибка измерения осадок фундаментов не превышала 1 мм. Это обусловило выбор класса нивелирования. Такую точность можно было бы обеспечить только нивелированием I класса. Приняв предельную ошибку определения превышения из нивелирования I класса на одной станции равной 0,3 мм [1], можно определить из неравенства

$$0,3\text{ мм} \sqrt{\frac{n}{2}} \leq 1\text{ мм}$$

максимальное количество n станций в нивелирном ходе с тем, чтобы наиболее слабая (средняя) марка имела ошибку не более 1 мм. Как видно, $n \approx 20$.

Корпус КС имеет длину 300 м и состоит из двух отдельных цехов. Внутри каждого цеха расположено по шесть ГПА. Было установлено, что для нивелирования фундаментов этих агрегатов в каждом цехе необходимо минимум 15 станций. Если учесть, что для перехода с улицы внутрь цехов требуется еще несколько станций, то это составит нивелирный ход между реперами с предельно допустимым количеством станций (20).

Условия нивелирования осадочных марок фундаментов разводки труб высокого давления за пределами каждого цеха требовали

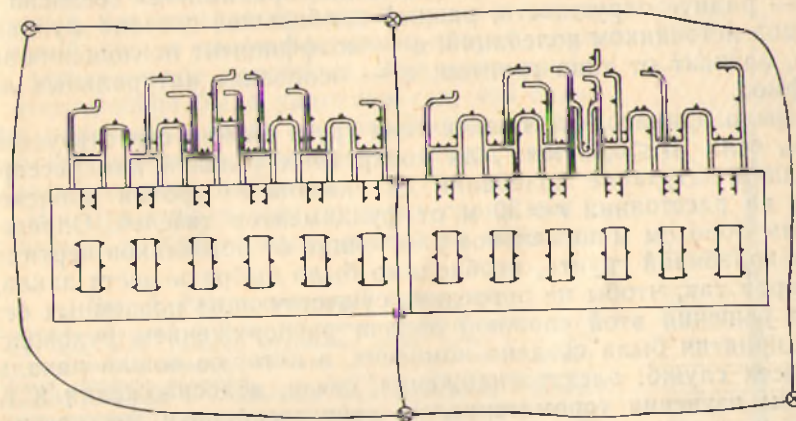


Рис. 1. Высотная опорная сеть и осадочные марки в корпусе КС и на разводке трубопровода.

включения этих марок в отдельные нивелирные ходы. Таким образом, для обеспечения необходимой точности измерений требовалось заложить по периметру КС четыре глубинных репера (рис. 1).

ГПА, включающие газовые турбины и нагнетатели, установлены на несущих железобетонных колоннах в сечении $1,0 \times 0,6$ м, заключенных в металлические каркасы и составляющие с ними единое целое. Колонны передают нагрузки на фундаменты, представляющие собой железобетонные плиты, заложенные на глубине 1,5 м. Размер плит $4,2 \times 12,2 \times 1,15$ м. Разводка труб высокого давления, выходящих из цехов, отдельными точками опирается на железобетонные колонны сечением $0,7 \times 0,7$ м, установленные на фундамент-стаканы размером $1,6 \times 1,6$ м.

Сложность условий работы при закладке реперов и осадочных марок характеризуется следующими факторами.

1. Большая насыщенность территории компрессорной станции подземными коммуникациями;
2. Наличие рядом с новыми старых цехов, в которых в качестве приводов служат дизели, вызывающие во время работы вертикальные колебания грунта;
3. Тяжелые геологические условия;
4. Повышенная пожаро- и взрывоопасность.

Первые два фактора значительно осложняли выбор мест для закладки глубинных реперов. Прежде всего необходимо было убе-