

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Геодезия»

ОБРАБОТКА НИВЕЛИРНЫХ ХОДОВ И СЕТЕЙ 3 КЛАССА

Методические указания

Ростов-на-Дону
ДГТУ
2022

УДК 528.3

Составители: Г.К. Туполева, О.В. Гермак

Методические указания для выполнения лабораторной работы по теме «Обработка нивелирных ходов и сетей 3 класса» / сост. Г.К. Туполева, О.В. Гермак - Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2022. - 39 с.

Даны задания и варианты к выполнению лабораторных работ по геодезии по теме нивелирования, изучаемой в третьем семестре 2-го курса, а также вопросы к их защите.

Предназначены для обучающихся направления укрупненной группы 21.00.00 Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия.

УДК 528.3

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор д-р мед. наук, профессор В.М. Евстропов

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Геодезия»
к.т.н., доцент М.А. Николенко

В печать _____ . ____ .2022 г.

Формат 60х84/16. Объем _____ усл. п. л.

Тираж _____ экз. Заказ № _____

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный
технический университет, 2022

ЗАДАНИЕ 1

Математическая обработка результатов измерений при нивелировании 3-го класса

Выполнить обработку журнала нивелирования 3 класса, согласно своего варианта.

Исходные данные. Результаты нивелирования в секции по вариантам приведены в приложении 1.

Рассмотрим обработку журнала результатов измерений при нивелировании 3 класса, приведенного в таблице 1.

Обработка журнала заключается в выполнении всех, предписываемых инструкцией [1], вычислений.

Порядок вычислений на каждой станции следующий:

1. Подсчитывают расстояния от нивелира до реек, называемые плечами, как разность отсчетов по дальномерным нитям, записанным в графах 2 и 3. Например, на станции 1 плечи будут равны:

$0415 - 0204 = 211$ до задней рейки и $2449 - 2257 = 192$ до передней рейки. Полученные значения записывают в соответствующие графы третьей строкой.

2. Вычисляют контрольные превышения, как разность отсчетов по задней и передней рейкам, и записывают в графу 4:

$2257 - 204 = -2053$ по черной стороне и $2449 - 0415 = -2034$ по красной стороне.

3. Вычисляют разности в расстояниях (разности плеч):

$211 - 192 = +19$ и разности контрольных превышений:

$-2034 - (-2053) = +19$, которые должны быть равны.

Полученное число (+19), представляющее собой неравенство плеч на станции, записывают в числитель графы 4. Если ход только начался, это же число повторяют в знаменателе. На каждой последующей станции к нему прибавляют величину неравенства плеч этой станции, таким образом вычисляют накопление разности плеч по секции; (в табл. 1 накопление разности плеч в секции равно +23).

4. Величины неравенства плеч на станции и накопление разности плеч в секции, контролируются требованиями инструкции [1]: они не должны превышать 2м и 5м соответственно.

5. Вычисляют значения превышений и пяточных разностей по отсчетам в графах 6 – 7 журнала. На первой станции превышение по черной стороне равно: $0310 - 2353 = -2043$ мм; по красной стороне равно $4993 - 7153 = -2160$ мм; пяточные разности соответственно для задней и передней реек равны: $4993 - 0310 = 4683$ и $7153 - 2353 = 4800$.

Полученные значения превышений записывают в графу 8.

6. Выполняют контроль превышений. Разность превышений, полученных по красной и черной сторонам должна дать расхождение d_n нулей (разность пятков) на задней и передней рейках. Уклонение полученной величины от найденной при исследовании допускается до 3мм.

Кроме того, разность превышений и разность высот нулей пары реек должны быть равны, т.е. $d_n = h_{\text{ч}} - h_{\text{к}} = \text{Пп} - \text{Пз}$.

В нашем примере разность превышений - $2043 - (2160) = 4800 - 4683 = +117$. Эта величина записывается в графе 8. Разность нулей реек, полученная при исследовании равна $d_n = 116$ мм. Следовательно, требования инструкции соблюдены.

7. Вычисляют окончательное значение превышения как среднее из превышений по черной $h_{\text{ч}}$ и красной $h_{\text{к}}$ сторонам реек с учетом разности нулей пары реек. Среднее превышение записывают в графу 9.

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_{\text{ч}} + (h_{\text{к}} \pm d_n)}{2}$$

8. Проводится окончательный контроль определения превышений. При нивелировании 3 класса должны соблюдаться следующие контрольные допуски:

- разность между значениями превышений, полученными по черным и красным сторонам реек с учетом разности нулей сторон пары реек не должна быть более 3мм.

$$|h_{\text{ч}} - h_{\text{к}} \pm d_n| \leq 3\text{мм}$$

$$2043 + 117 - 2160 = 0$$

- среднее из отсчетов по дальномерным нитям не должно отличаться от отсчетов по средней нити той же рейки больше, чем на 3мм. Т.е.

$$(0204 + 415) / 2 - 310 = 309.5 \leq 3\text{мм}, (2257 + 2449) / 2 - 2353 = 0$$

9. Выполнив указанные вычисления на всех станциях на странице, в конце ее производят постраничный контроль. Он преследует цель проверки правильности произведенных вычислений на странице и заключается в следующем.

В графах 2,3, 4, 6, 7, 8, 9 вычисляют суммы Σ отсчетов по столбцам страницы:

- суммы отсчетов по дальномерным нитям задней $\Sigma\text{Дз}$ и передней $\Sigma\text{Дп}$ реек, - сумму контрольных превышений $\Sigma h_{\text{контр}}$,
- суммы отсчетов по средней нити задней $\Sigma\text{З}$ и передней $\Sigma\text{П}$ реек,
- суммы превышений Σh и суммы средних превышений $\Sigma h_{\text{ср}}$ и записывают их в соответствующие столбцы горизонтальной графы «Постраничный контроль». Далее проверяют выполнение равенств:

$$\Sigma\text{З} - \Sigma\text{П} = \Sigma h,$$

$$\Sigma h : 2 = \Sigma h_{\text{ср}},$$

$$\Sigma h_{\text{контр}} - \Sigma h \leq 3\text{мм},$$

В таблице 1: $\Sigma h = 26150 - 32970 = - 6820$,

$\Sigma h_{\text{ср}} = -3410, \Sigma h : 2 = - 6820 : 2 = - 3410$.

Таким образом, постраничный контроль показал правильность выполненных вычислений на данной странице.

Журнал нивелирования 3 класса

Ход от гр. Реп. 3 до гр. Реп. 4

Дата: 12.09. 2022. Начало: 8¹⁵. Конец: 10³⁰

Погода: ясно

Наблюдатель: Петров И.К.

Изображение: отчетливое

Вычислитель: Иванов С.П.

№ Штатива № реек	Отсчеты по дальномерным нитям		Контр превы шения	Отсчеты по средней нити			Превыше ния, мм	Среднее превыше ние, мм
	Задняя рейка	Передняя рейка			Задняя рейка	Передняя рейка		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0204	2257	-2053	ч	0310	2353	-2043	
1-2	0415	2449	-2034	к	4993	7153	-2160	-2043.5
Гр. Реп.3	211	192	+19/+19		4683	4800	+117	
2	0524	1980	-1456	ч	0588	2044	-1456	
2-1	0653	2109	-1456	к	5389	6729	-1340	-1456
	129	129	0/+19		4801	4685	-116	
3	0221	2250	-2029	ч	0307	2340	-2033	
1-2	0392	2431	-2039	к	4991	7140	-2149	-2033
	171	181	-10/+9		4684	4800	+116	
4	2280	0165	2115	ч	2386	0264	+2122	+2122.5
2-1	2490	0361	2129	к	7186	4947	+2239	
	210	196	+14/+23		4800	4683	-117	
Постранич ный контроль					26510	32970	-6820	
	721	628	-6823		32970		-3410	-3410
			-3411.5		-6820			

Вопросы к защите лабораторной работы.

1. Что вычисляют на станции нивелирования 3 класса?
2. Для чего берутся отсчеты по дальномерным нитям?
3. Как вычисляются превышения на станции?
4. Как и в каком случае вычисляется среднее превышение?
5. Что такое разность высот нулей пары реек? Как она учитывается при вычислении превышений?
6. Как выполняется контроль превышений на станции?
7. Как участвуют отсчеты по дальномерным нитям в контроле превышений?

ЗАДАНИЕ 2

Уравнивание одиночного нивелирного хода 3 класса

1. Выполнить уравнивание одиночного нивелирного хода 3 класса, проложенного между реперами Rp3 и Rp8 2-го класса.
2. Произвести оценку точности результатов полевых наблюдений.
3. Вычислить средние квадратические ошибки уравненных отметок реперов.

Исходные данные.

1. Схема нивелирного хода от репера 3 до репера 8.
2. Данные первой секции от Rp3 до Rp4 индивидуальные: превышение, длину секции берут из задания 2; обратное превышение взять равным прямому ($h_{4-3} = h_{3-4}$).

3. Превышения и длины остальных секций являются общими и приведены на рис.1.

4. Отметка Rp3 является общей. а отметку Rp8 взять из таблицы вариантов приложения 2.

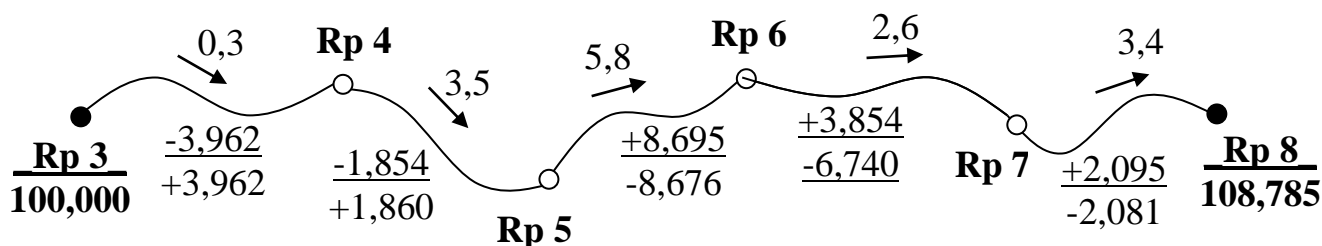


Рис.1 Схема одиночного нивелирного хода

На схеме показаны значения превышений (в метрах) в секциях по прямому (числитель) и обратному (знаменатель) ходам. Длины секций указаны в километрах.

Уравнивание нивелирного хода производится на стандартном бланке - ведомости уравнивания. Покажем порядок вычислений на примере, приведенном в таблице 2.

1. Заполняют графы 1-4, выписывая превышения прямого и обратного ходов и длины в секциях.

2. Вычисляют разности превышений d в прямом и обратном ходах:

$$d_i = h_{пр\ i} + h_{обр\ i}, \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, 5$ – номера секций, и выписывают в графу 6.

3. Вычисляют предельно допустимые значения этих разностей по формуле

$$f_{h\ пред\ i} = 10\text{мм} \sqrt{L_{км}} \quad (2)$$

и записывают в графу 7.

4. Если выполняется условие

$$d_i \leq d\ пред\ i, \quad (3)$$

то вычисляются средние превышения $h_{ср\ i}$ по каждой секции в графе 5.

Например, разность превышений во второй секции (от Rp4 до Rp5) $d = -1.854 + 1.860 = + 6\text{мм}$, а допустимое значение $f_{h\ пред} = 10\text{мм} \sqrt{3.5} = \pm 18\text{мм}$. Так как $6\text{мм} < 18\text{мм}$, то можно вычислить среднее превышение $h_{ср\ i} = -1.857$; при этом берется знак прямого превышения.

5. Вычисляется сумма средних превышений по всему ходу $\sum h_{ср} = + 9.367$.

6. Вычисляется невязка хода

$$f_h = \sum h_{ср} - (H_k - H_n), \quad (4)$$

которая сравнивается с допустимой, определяемой по формуле (2):

$$f_h = +9.367 - 9.355 = +12\text{мм},$$

$$f_{h\ пред} = 10\text{мм} \sqrt{16.0_{км}} = \pm 40\text{мм}$$

7. Так как $f_h \leq f_{h \text{ пред}}$, то выполняется распределение невязки (уравнивание) в виде поправок v_i в средние превышения секций пропорционально их длинам L_i :

$$v_i = -\frac{f_h}{[L]} L_i, \quad (5)$$

которые записывают в графу 10 и подсчитывают их сумму.

8. Контролем правильности вычисления поправок v_i служит выполнение равенства:

$$[v_i] = -f_h \quad (6)$$

9. Вычисляют исправленные (уравненные) превышения

$$h_{\text{исп } i} = h_{\text{ср } i} + v_i \quad (7)$$

и сумму $\sum h_{\text{исп}}$, которые записывают в графу 11. Например, к среднему превышению $h_{3-4} = -3.410$ м прибавляют поправку $v_{3-4} = -1$ мм и получают исправленное превышение $h_{\text{исп } 3-4} = -3.411$ м.

10. Контролем выполненного уравнивания служит равенство суммы исправленных превышений, которая должна быть равна разности отметок исходных реперов (теоретическая сумма), т.е. должно выполняться равенство:

$$h_{\text{исп } i} = h_{\text{ср } i} + v_i \quad (8)$$

В нашем примере $\sum h_{\text{исп}} = H_8 - H_3 = +9.355$ м.

11. Уравненные отметки реперов вычисляются в графе 12:

$$H_{i+1} = H_i + h_{\text{исп } i} \quad (9)$$

Контролем правильности их вычислений служит выполнение равенства

$$H_{n-1} + h_{\text{исп } n-1} = H_k, \quad (10)$$

т.е. прибавив к отметке последнего определяемого репера последнее исправленное превышение, должны получить исходную отметку конечного репера.

Например, $107.269 \text{ м} + 2.086 \text{ м} = 109.355 \text{ м}$, что является исходной отметкой Рр8 в данном варианте.

На этом заканчивается выполнение 1-го пункта задания.

Таблица 2

**Ведомость уравнивания превышений и вычисления отметок реперов
одиночного нивелирного хода**

№ Рр	L _i км	Превышения h, м			Разности d, мм		d ²	d ² /L	V, мм	h _{испр} м	Отм H, м	Вес P _{Hi}	M _{Hi} м
		h _{пр}	h _{обр}	h _{ср}	d _i	d _{пре}							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Rp3											100.000		
	0.7	-3.410	+3.410	-3.410	0	±8	0	0	-1	-3.411			
Rp4											95.589	1.5	2.5
	3.5	-1.854	+1.860	-1.857	+6	±18	36	10.3	-3	-1.860			
Rp5											94.729	0.3	5.7
	5.8	+8.695	-8.676	+8.686	+19	±24	361	62.2	-4	+8.682			
Rp6											103.411	0.3	5.7
	2.6	+3.854	-3.866	+3.860	-12	±16	144	55.4	-2	+3.858			
Rp7											107.269	0.4	4.9
	3.4	+2.095	-2.081	+2.088	+14	±18	196	57.6	-2	+2.086			
Rp8											109.355		
Ито го	16.0	+9.380	-9.353	+9.367	+27		737	185.5	-12	+9.355			

$$f_h = \sum h_{ср} - (H_k - H_n) = + 9.367 - 9.355 = +12\text{мм}$$

$$f_{h \text{ пред}} = 10 \text{ мм} \sqrt{L \text{ км}} = \pm 40\text{мм}$$

Оценка точности полевых измерений выполняется по разностям d_i двойных измерений, для этого вычисляют величины d_i² и d_i²/2 в графах 8 и 9 соответственно.

Среднюю квадратическую ошибку превышения на 1 км хода вычисляют по формуле

$$m_{km} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\left[\frac{d}{L} \right]}{n}}, \quad (11)$$

где n – число разностей d.

Для контроля применяют формулу

$$m_{km} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]}{[L]}} \quad (12)$$

Оценку точности уравненных отметок реперов выполняют по формуле

$$M_{Hi} = \frac{m_{km}}{\sqrt{P_H}}, \quad (13)$$

где P_{Hi} – вес i-го репера, вычисляемого по формуле

$$P_{Hi} = \frac{1}{[L]_i} + \frac{1}{[L]_{n+1}}, \quad (14)$$

[L]_i – длина хода до репера с номером i от начального репера,

а $[L]_{i+1}^n$ – от конечного репера.

Вычисленные веса и средние квадратические ошибки записывают в графы 13 и 14 соответственно.

Вопросы к защите лабораторной работы.

1. Для чего прокладываются нивелирные ходы 3 и 4 классов?
2. Как прокладывается нивелирный ход 3 класса?
3. Для чего и как вычисляется невязка в нивелирном ходе?
4. Как контролируются превышения при двойном нивелировании?
5. Как вычисляются поправки в превышения и как они контролируются?
6. Как контролируются уравненные превышения?
7. Как вычисляются отметки реперов и как контролируются?
8. Что вычисляют при оценке точности полевых измерений?
9. Для чего вычисляют величины d ?
10. Как производят оценку точности отметок реперов?

ЗАДАНИЕ 3

Уравнивание нивелирной сети с одной узловой точкой

1. Выполнить уравнивание нивелирной сети 3 класса, приведенной на рис.2.
2. Определить вероятнейшую отметку узлового репера 1.
3. Выполнить оценку точности результатов полевых наблюдений.
4. Определить среднюю квадратическую ошибку отметки репера 1.

Исходные данные

1. Схема нивелирной сети (рис. 2).
2. Отметки исходных марок приведены в таблице и являются общими для всех студентов.
3. Средние превышения и длины ходов выбираются по варианту из приложения 3.

На рис. 2 приведена нивелирная сеть из четырех ходов, сходящихся в одной точке (Рр. 1). Каждый ход опирается на исходную марку (М) высшего по точности класса.

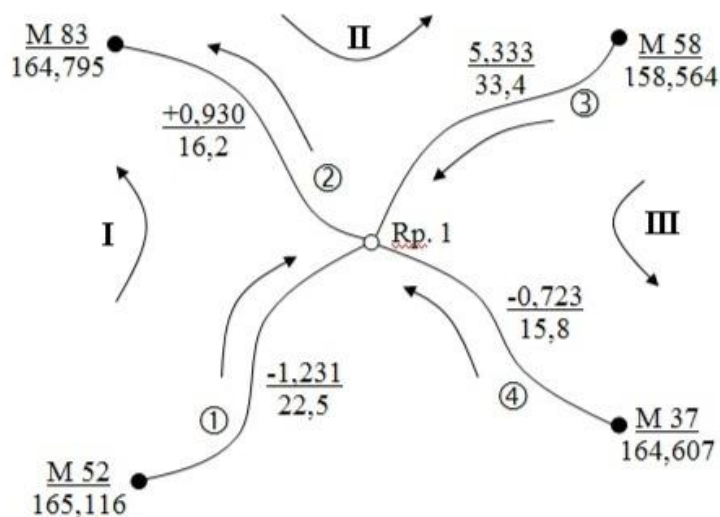


Рис.2 Схема нивелирной сети с одной узловой точкой

На схеме стрелками показано направление превышений по каждому из четырех ходов. Римскими цифрами со стрелками показан обход по соответствующим полигонам.

Работа по уравниванию приведенной нивелирной сети состоит из четырех этапов:

1. Оценка качества полевых измерений.
2. Уравнивание превышений и вычисление вероятнейшей отметки узлового репера.
3. Оценка точности полевых измерений.
4. Оценка точности уравненных значений.

Рассмотрим каждый из этапов на примере сети, приведенной на рис. 2.

1. Оценка качества полевых измерений.

Оценка качества полевых измерений заключается в сравнении вычисленных невязок f_h (4), сравнении с их допустимыми значениями $f_{h \text{ пред } i}$ (2) и выполняется в таблице 3.

2. Уравнивание превышений и вычисление отметки узлового репера.

Вероятнейшую (уравненную) отметку узлового репера (Rp 1), согласно теории ошибок измерений, определяют, как среднее весовое из отметок этого репера, полученных по ходам от исходных марок

$$H_1 = \frac{H_{1-1}p_1 + H_{1-2}p_2 + H_{1-3}p_3 + H_{1-4}p_4}{p_1 + p_2 + p_3 + p_4} = \frac{[pH]}{[p]}, \quad (15)$$

где H_{1-1} , H_{1-2} , H_{1-3} , H_{1-4} – отметки репера 1, вычисленные по четырем ходам; p_1 , p_2 , p_3 , p_4 – веса измеренных превышений по этим же ходам.

Таблица 3

Ведомость сравнения вычисленных невязок по полигонам с их допустимыми значениями (оценка качества нивелирования)

№ полигона	Порядок обхода полигона	№ ходов входящих в полигон	Сумма превышений по полигону Σh , мм	$H_k - H_n$, м	Невязка f_h мм	Длина полигона L , км	Пред. f_h мм	Сумма поправок по полигону Σv , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	M52 – M83	1--2	- 0.301	-0.321	+20	38.7	±61	-20
11	M83 – M58	2 --3	- 6.263	-6.231	-32	49.6	±70	+32
111	M58 - M37	3--4	+ 6.056	+6.043	+13	49.2	±70	-13

Вычисления выполняют в ведомости уравнивания (табл.5). В графы 1 - 6 выписывают со схемы сети исходные данные (отметки марок) и измеренные величины (превышения и длины ходов).

Высоту узлового репера по каждому ходу вычисляют как алгебраическую сумму высоты исходной марки и измеренного превышения (складывают величины отметок из графы 3 с величинами превышений из графы 6).

Необходимо учитывать знак превышения и направление хода:

$$H_{1-1} = H_{Rp52} + h_1 = 165.116\text{м} - 1.231\text{м} = 163,885\text{м}, H_{1-2} = H_{Rp83} + h_2 = 164.795\text{м} - 0.930\text{м} = 163.865\text{м}, \text{ и т.д.}$$

Полученные значения отметок записывают в графу 7 таблицы 4. Веса ходов вычисляют по формуле (16) и записывают в графу 9

$$P_i = \frac{c}{L_i}, \quad (16)$$

L_i – длины ходов, $i = 1, 2, 3, 4$. Произвольное число c выбирается таким образом, чтобы веса ходов были близки к единице. Обычно его принимают равным среднему из наибольшей и наименьшей длин ходов:

$$c = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2}.$$

В данном примере $c = (15.8 + 33.4) : 2 = 24.6 \approx 25$.

Вероятнейшую отметку репера 1 вычисляют, используя формулу (15). Для простоты вычислений ее преобразуют в более удобный вид:

$$H_1 = H_0 + \frac{[\varepsilon p]}{[p]}, \quad (17)$$

где H_0 – приближенное значение отметки;

$\varepsilon_i = H_{1-i} - H_0$,

H_{1-i} – отметка репера 1, полученная по каждому (i -му) ходу.

За приближенное значение H_0 принимают обычно наименьшую из отметок. В нашем примере она равна 163.865. Значения ε_i записывают в графу 8;

Величины ϵp записывают в графу 10, подсчитывают их сумму $[\epsilon p] = +76.1$ и записывают под чертой ведомости. Вычисляют сумму весов $[p]$ и так же записывают под чертой (4.98).

Таким образом, значение уравненной высоты репера 1 будет равно: $H_1 = 163.865\text{м} + (76.1\text{мм} / 4.98) = 163.865\text{м} + 15.3\text{мм} = 163.880_3 \text{ м}$. Под чертой выписывают значения H_0 , $([\epsilon p]/[p])$ и искомое значение высоты узлового репера H_1 , которое вычисляют с округлением до 0.0001м.

Для нахождения уравненных значений превышений по ходам выполняют следующие действия:

- вычисляют поправки v_i в превышения отдельных ходов как разность между вероятнейшим значением высоты узлового репера H_1 и его значениями, полученными по этим ходам H_{1-i}

$$v_i = H_1 - H_{i'}, \quad (18)$$

где $i = 1, 2, 3, 4$. Полученные таким образом поправки записывают в графу 11. Например, $v_1 = 163.8803\text{м} - 163.885 = 0.0047\text{м} = 4.7\text{мм}$ и т.д.;

- контролируют вычисления поправок получением суммы $[pv]$ равной нулю:

$$[pv] = 0 \quad (19)$$

- суммируют в каждом полигоне соответствующие поправки v . По каждому полигону должно выполняться равенство

$$\sum v = -f_h \quad (20)$$

Вычисленные значения $\sum v$ записывают в графу 9 таблицы 4.

3. Оценка точности полевых измерений.

Она заключается в вычислении средних квадратических ошибок:

- единицы веса μ
- превышения по ходу в 1 км m_{km}

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-k}} \quad (21)$$

$$m_{km} = \frac{\mu}{\sqrt{c}} \quad (22)$$

где n – число всех ходов; k – число узловых точек; c – постоянная, принятая для вычисления весов в формуле (16).

Величины pv^2 вычисляют и записывают в графу 13 ведомости (таблица 5), там же записывают и их сумму $[pv^2]$. В нашем примере $[pv^2] = 615.7$ и $\mu = \sqrt{(615.7) / (4-1)} = 14.3 \text{ мм}$. Поскольку $c = 25$, следовательно, $\mu = 14.3\text{мм}$ представляет собой среднюю квадратическую ошибку хода длиной 25 км.

Тогда средняя квадратическая ошибка превышения по ходу в 1 км

$$m_{km} = 14.3 / \sqrt{25} = 2.9 \text{ мм.}$$

4. Оценка точности уравненных значений.

Для нивелирной сети на рис. 2 оценка точности уравненных значений заключается в вычислении средней квадратической ошибки высоты узлового репера 1, определяемой по формуле

$$M_{H_i} = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}}, \quad (23)$$

где $[p] = P_{H_i} = p_1 + p_2 + \dots + p_n$

Таблица 4

Ведомость уравнивания нивелирной сети 3-го класса
с одной узловой точкой

№ узел Rp	№ исх мар ок	Отметки марок H _i , м	№ ход	L _i км	h _i м	Отметки узел. репера H, м	ε _i мм	p _i	P _i ε _i	V _i мм	p _i v _i	P _i v _i ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	52	165.116	1	22.5	-1.231	163.885	+20	1.11	22.2	-4.7	-5.2	24.4
	83	164.795	2	16.2	-0.930	163.865	0	1.54	0	+15.3	+23.6	361.1
	58	158.564	3	33.4	+5.333	163.897	+32	0.75	23.9	-16.7	-12.5	208.8
	37	164.607	4	15.8	-0.723	163.884	+19	1.59	30.0	-3.7	-5.8	21.5
								4.98	76.1		+0.1	615.8

$$H_0 = 163.865$$

$$H_1 = 163.880_3$$

$$\mu_{25} = \sqrt{\frac{615.7}{4-1}} = 14.3 \text{ мм}$$

$$m_{\mu} = \frac{14.3}{\sqrt{2(4-1)}} = 5.8 \text{ мм}$$

$$m_{km} = \frac{14.3}{\sqrt{25}} = 2.9 \text{ мм}$$

$$M_{H1} = \frac{14.3}{\sqrt{4.98}} = 6.4 \text{ мм} \quad m_M = \frac{5.8}{\sqrt{4/98}} = 2.6 \text{ мм}$$

Ответ: $H_1 = 163.880 \text{ м} \pm 6.4 \text{ мм}$

Вопросы к защите лабораторной работы.

1. Как вычисляются невязки в нивелирной сети?
2. Как контролируются невязки?
3. Как определяется вероятнейшее значение отметки узлового репера?
4. Как вычисляются поправки в превышения и как они контролируются?
5. Как контролируются уравненные превышения?
6. Что вычисляют при оценке точности полевых измерений?
7. Как производят оценку точности уравненных отметок реперов?

ЗАДАНИЕ 4

Уравнивание нивелирной сети методом последовательных приближений

1. Уравнять нивелирную сеть с тремя узловыми точками, приведенную на рис.3.
2. Выполнить оценку точности результатов полевых наблюдений.
3. Произвести оценку точности уравненных значений.

Исходные данные

- схема нивелирной сети с тремя узловыми точками (рис.3) и двумя исходными марками М 50 и М 51;
- отметки исходных марок, приведенные на схеме - общие для всех вариантов;
- измеренные величины – превышения и длины ходов выбираются по варианту из приложения 4.

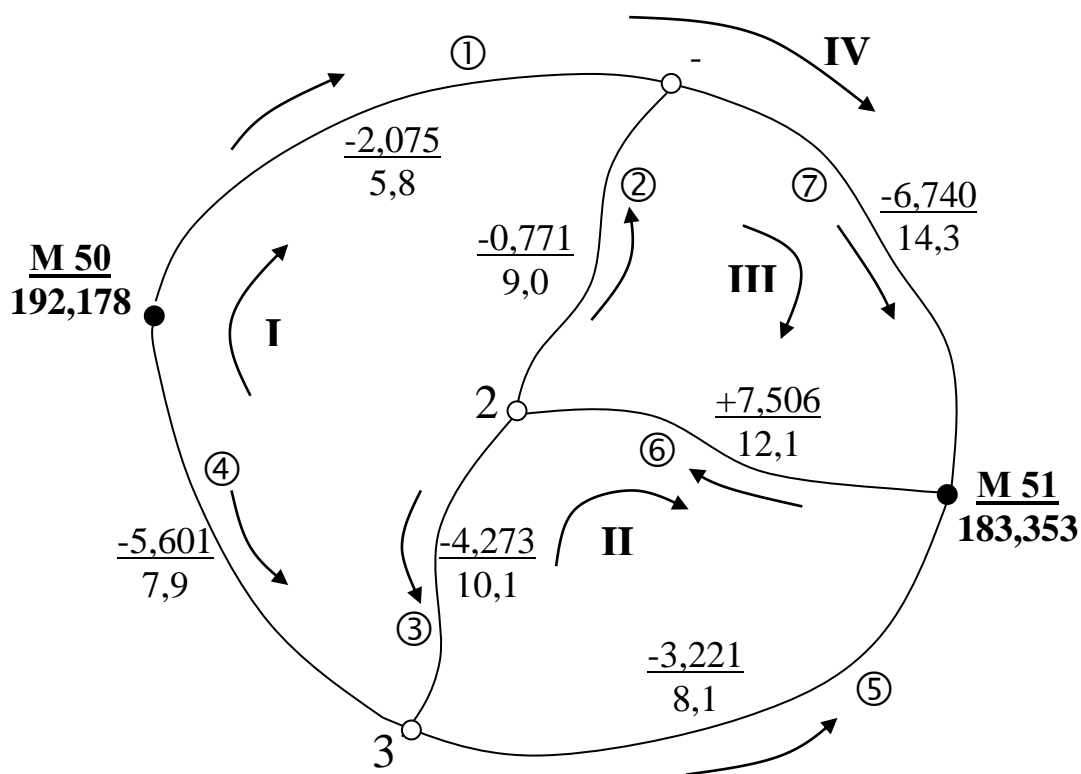


Рис. 3 Схема нивелирной сети с тремя узловыми точками

Процесс уравнивания состоит из двух этапов:

1. Оценка качества полевых работ.
2. Уравнивание превышений и вычисление отметок реперов.

Рассмотрим каждый из этапов на примере уравнивания сети, изображенной на рис. 3.

Оценка качества нивелирования состоит в вычислении невязок по полигонам f_h по формуле (4) и сравнении их с допустимыми f_h пред, определяемыми по формуле (2). Для уравнивания нивелирную сеть разбивают на четыре полигона: три замкнутых и один разомкнутый. На схеме римскими

цифрами со стрелками показан обход по соответствующим полигонам; стрелками показано направление превышений по каждому ходу. Все вычисления выполняют в стандартной [3] форме (табл. 5).

Таблица 5

Оценка качества нивелирования

№ полигона	Порядок обхода полигона	№ ходов, входящих в полигон	Невязка f_h , мм	Длина полигона L , км	Предельная невязка f_h , мм	Сумма поправок по полигонам v_i , мм
1	2	3	4	5	6	7
I	От Rp1 до Rp1	1,2,3,4	+24	32,8	57	-24
II	От Rp3 до Rp3	3,5,6	-12	30,3	55	+12
III	От Rp2 до Rp2	2,6,7	-5	35,4	59	+5
IV	От M50 до M51	1,7	+10	20,1	45	-10

Например, в первом полигоне сумма измеренных превышений $\sum h_{cp} = +0.771 - 4.273 + 5.601 - 2.075 = +0.024$ м. Поскольку теоретическая сумма превышений в замкнутом нивелирном ходе равна нулю, то невязка равна полученной сумме превышений:

$$f_h = \sum h_{cp} - (H_k - H_n) = +0.024 - 0 = +0.024 \text{ м} = 24 \text{ мм.}$$

$$f_{h \text{ пред}} = 10 \text{ мм} \sqrt{L \text{ км}} = \pm 10 \text{ мм} \sqrt{32.8 \text{ км}} = 57 \text{ мм.}$$

Второй этап уравнивания заключается в вычислении наиболее надежных отметок узловых реперов и уравнивании превышений. Получим уравненные значения отметок реперов путем последовательных приближений. Суть этого метода в том, что значение высоты каждого узлового репера получают как среднее весовое из значений отметок, полученных по всем ходам, непосредственно примыкающим к узловой точке (исключение может составлять первое приближение).

В нашем примере сеть имеет три узловые точки. Первая – Rp. 3, к которой примыкают 1, 2 и 7 ходы; вторая – Rp. 2 с примыкающими ходами 3, 2 и 6; третья – Rp. 3 с ходами 4, 3 и 5. Эти данные вносят в графы 1-3 ведомости для уравнивания (табл. 7).

В графы 4-6 выписывают со схемы исходные данные (отметки марок) и измеренные величины (превышения и длины ходов) для каждой узловой точки.

В графе 7 вычисляют веса превышений p_i (24) и сумму весов $[p]$ для каждой узловой точки. За единицу веса принят ход, длиной 10 км ($c = 10$).

Для упрощения вычислений вычисляют приведенные веса p'_i по формуле

$$p'_i = \frac{p_i}{[p]}, \quad (24)$$

контролем вычислений служит равенство

$$[p'] = 1 \quad (25)$$

Как уже было отмечено ранее, отметки узловых реперов получают как среднее весовое по формуле (17). Подставляя в нее соотношение (24) получим преобразованную формулу

$$H_{\text{узн}} = H_0 + \quad = H_0 + [\epsilon p'] \quad (26)$$

которую используют для вычисления отметок узловых реперов в приближениях. Эти высоты могут быть получены двумя путями: или по одному из ходов, или как среднее весовое из отметок по нескольким ходам. В первом случае их вычисляют по формуле (15), во втором – по формуле (26).

Первое приближение высот реперов записывают в графах 8-9.

Так, в нашем примере отметка репера 1 в первом приближении получена по формуле (17) как среднее весовое из отметок, полученных по двум ходам 1 и 7 ($H_1 = 190.1002$).

Высоту репера 2 вычисляют по формуле (17) как среднее весовое из отметок, полученных по ходам 2 и 6. При вычислении отметки по ходу 2 за исходную принимается отметка репера 1, полученная в первом приближении: $H_2' = H_1' + h_2 = 190.1002 + 0.771 = 190.8712$; затем, применяя формулу (15), получаем $H_2' = 190.866$.

Высоту репера 3 получаем по формуле (26) как среднее весовое из отметок, вычисленных по трем ходам 4, 3 и 5. Отметка по третьему ходу вычисляется от ранее полученной отметки репера 2 в первом приближении: $H_3 = 190.866 + (-4.273) = 186.593$. Для вычисления ε' в графе 9 выбираем в качестве приближенной отметки $H_0 = 186.574$ (наименьшую); тогда величина $[\varepsilon']$ будет: $3 \cdot 0.37 + 19 \cdot 0.28 + 0 \cdot 0.35 = 1.1 + 5.3 + 0 = 6.4$ (мм); прибавив ее к приближенной отметке получим $H_0 = 186.5804$. На этом заканчивается первое приближение.

Второе приближение (графы 10-11) производят в том же порядке, что и первое. Находят отметки узловых реперов по формуле (26), используя все три хода для каждого репера. За исходные при каждом последующем приближении принимают отметки точек, полученные в предыдущем. Например, для вычисления высоты репера 1 по ходу 2 во втором приближении за исходную принимают отметку репера 3 в первом приближении 190.866, а для вычисления высоты репера 3 по ходу 3 – высоту репера 2, вычисленную во втором приближении 190.8611 и т.д.

Процесс приближений заканчивается, когда значения двух последних приближений высот будут отличаться друг от друга в пределах точности вычислений (на 1 – 3 единицы последнего знака).

Получив окончательные (уравненные) значения отметок узловых реперов из последнего приближения, находят поправки в превышения по ходам по формуле

$$V_j = H_{\text{узн } i} - H'_i,$$

где $i = 1, 2, 3$; $j = 1, 2, \dots, 7$. Вычисленные поправки v_i записывают в графу 15. Они контролируются по формулам (19) и (20).

Оценка точности полевых измерений.

Она производится по формулам (21) и (22), как и в работе 4. Вычисленные значения μ и $m_{\text{км}}$ выписываются под чертой таблицы 6.

Оценка точности уравненных значений.

Она заключается в вычислении средних квадратических ошибок высот узловых реперов, определяемых по формуле

$$M_{H_j} = \frac{\mu}{\sqrt{P_{H_j}}} \quad (27)$$

где P_{H_j} – вес отметки репера.

Веса отметок реперов определяют по формулам Козлова [2], которые для сети, изображенной на рис.3 приобрели вид

$$\begin{aligned} P_{H_1} &= [p]_1 - \frac{p_2^2}{[p]_2}, \\ P_{H_2} &= [p]_2 - \frac{p_2^2}{[p]_1} - \frac{p_3^2}{[p]_3}, \\ P_{H_3} &= [p]_3 - \frac{p_3^2}{[p]_2}, \end{aligned} \quad (28)$$

где $[p]_1 = p_1 + p_2 + p_7$; $[p]_2 = p_3 + p_2 + p_6$; $[p]_3 = p_4 + p_3 + p_5$.

Так, в нашем примере веса отметок узловых реперов, вычисленные по формулам (28) будут равны

$$P_{H_1} = 3.53 - \frac{1.11^2}{2.93} = 3.11; \quad P_{H_2} = 2.93 - \frac{1.11^2}{3.53} - \frac{0.99^2}{3.49} = 2.30; \quad P_{H_3} = 3.49 - \frac{0.99^2}{2.93} = 3.13.$$

Средние квадратические ошибки отметок реперов, вычисленные по формуле (27), и их веса записываются в таблицу 7.

Вопросы к защите лабораторной работы.

1. На чем основан способ последовательных приближений.
2. Какие формулы используются для вычисления отметки узловой точки?
3. Как вычисляются поправки в превышения и как они контролируются?
4. Что вычисляют при оценке точности полевых измерений?
5. Как производят оценку точности уравненных отметок реперов?

Таблица 6

Уравнивание нивелирной сети способом последовательных приближений

№ ХОД ОВ	№ ИСХ ТОЧК И	Н _{исх} М	h _i М	L _i КМ	Р		ПРИБЛИЖЕНИЯ							V, ММ	pv	pvv
					P _i	P' _i	1		2		3		4			
							Н, М	εр', ММ	Н, М	εр', ММ	Н, М	εр', ММ	...			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
							РЕПЕР 1									
1	50	192.178	-2.075	5.8	1.72	0.49	190.103	17.2	190.103	4.9	190.103	6.3	...	-6.5	-11.2	72.9
2	2		-0.771	9.0	1.11	0.31			190.095	0.6	190.090 ₁	0		+7.7	+8.6	66.0
7	51	183.353	6.740	14.3	0.70	0.20	190.093	0	190.093	0	190.093	0.6		+3.5	+2.5	8.7
					3.53	1.00	190.100 ₂	17.2	190.098 ₅	5.5	190.097 ₀	6.9	...		-0.1	
							РЕПЕР 2									
3	3		4.273	10.1	0.99	0.34			190.853 ₄	0	190.852 ₀	0		+8.0	+7.9	63.4
2	1		0.771	9.0	1.11	0.38	190.871 ₂	7.0	190.869 ₅	6.1	190.868 ₀	6.1		-7.7	-8.6	-
6	51	183.353	7.506	12.1	0.83	0.28	190.859	0	190.859	1.6	190.859	2.0		+0.8	+0.7	0.6
					2.93	1.00	190.866	7.0	190.861 ₁	7.7	190.860 ₁	8.1	...		0	
							РЕПЕР 3									
4	50	192.178	-5.601	7.9	1.26	0.37	186.577	1.1	186.577	1.1	186.577	1.1		+1.7	+2.1	3.6
3	2		-4.273	10.1	0.99	0.28	186.593	5.3	186.588 ₁	4.0	186.587 ₁	3.7		-8.1	-8.0	-
5	51	183.353	3.221	8.1	1.23	0.35	186.574	0	186.574	0	186.574	0		+4.7	+5.8	27.4
					3.48	1.00	186.580 ₄	6.4	186.579 ₁	5.1	186.578 ₈	4.8	...		-0.1	242.6

Оценка точности урвненных значений
 $\mu = 7.8 \text{ мм}$ и $m_{\text{км}} = 2.5 \text{ мм}$

№ узлового репера i	Вес отметки узлового репера P_{Hi}	Средняя квадратическая ошибка отметки узлового репера $M_{Hi}, \text{ мм}$
1	3.11	4.4
2	2.30	5.1
3	3.13	4.4

ЗАДАНИЕ 5

Уравнивание нивелирной сети методом эквивалентной замены

Произвести уравнивание нивелирной сети, приведенной на рис.3, методом эквивалентной замены и оценить точность полевых измерений и урвненных значений высот узловых реперов.

Исходные данные:

1. Отметки исходных марок (приведены на рис.3) являются общими.
2. Измеренные величины (средние превышения и длины ходов) выбираются по варианту из прил. 4.

1. Оценка качества полевых работ

Производится путем сравнения вычисленных невязок f_h с их допустимыми значениями. Вычисления располагают в таблице (см. табл. 8). Невязки по ходам определяются по формуле (1), а их допустимые значения – по (2).

Для уравнивания нивелирная сеть, приведенная на рис. 3, разбивается на четыре полигона: три замкнутых и один разомкнутый; полигоны обозначаются римскими цифрами, а направление их обхода указывают стрелками.

Таблица 8

Оценка качества нивелирования

№ полигонов	Порядок обхода полигона	№ ходов, входящих в полигон	Невязка f_h , мм	Длина полигона L , км	Предельная невязка $\text{пред}f_h$ мм	Сумма поправок по полигону
1	2	3	4	5	6	7
1	От реп.3 до реп.3	4,1,2,3	+24	32.8	57	-24
II	От реп.2 до реп.2	6,5,3	-12	30.3	55	+12
III	От реп.1 до реп. 1	7,6,2	-5	35.4	60	+5
IV	От М50 до М 51	1,7	+10	20.1	45	-10

Поскольку, как следует из таблицы 8, выполняется условие $f_h \leq \text{пред} f_h$, делаем вывод, что точность полевых измерений соответствует 3 классу нивелирования и можно приступать к уравниванию данной сети.

2. Уравнивание превышений и вычисление отметок реперов.

Способ эквивалентной замены заключается в том, что, основываясь на принципе общей арифметической середины, заменяют несколько ходов одним эквивалентным им ходом, по которому отметка будет получена с таким же весом, с каким бы она была получена по действительным ходам.

Применительно к данной сети с тремя узловыми точками (реп. 1, реп. 2 и реп. 3) действительные ходы 1 и 7, 4 и 5 заменяются эквивалентными (1.7) и (4.5).

После такой замены нивелирная сеть примет вид сети с одной узловой точкой (реп. 2)), в которую сходятся три хода: простой ход 6, и два сложных (1,7+2) и (4.5+3).

Сложный ход (1,7+2) состоит из эквивалентного (1.7) и действительного 2; сложный ход (4.5+3) состоит из эквивалентного (4.5) и действительного 3 (см. рис. 4).

Таким образом, ходы 1 и 7 заменяют одним эквивалентным ходом с весом, равным сумме весов по ходам 1 и 7. Аналогично ходы 4 и 5 – эквивалентным ходом с весом, равным сумме весов по ходам 4 и 5.

Веса измеренных превышений вычисляют по формуле (16), где C удобно принять равным 10.

Длину эквивалентного хода определяют по формуле

$$L_{1,2...i} = \frac{C}{P_{1,2...i}} \quad (29)$$

где $P_{1,2,i}$ – вес превышения по эквивалентному ходу

$$P_{1,2,i} = P_1 + P_2 + \dots + P_i \quad (30)$$

P_1, P_2, \dots, P_i – веса превышений по ходам, составляющим эквивалентный ход и вычисленные по формуле (16).

Вычисления весов и длин эквивалентных ходов по вышеприведенным формулам выполняют в таблице 9.

Так, длина эквивалентного хода 1,7, вычисленная по формуле (29) будет

$$L_{1,7} = \frac{10}{p_{1,7}} = \frac{10}{2,42} = 4,13 \text{ км}$$

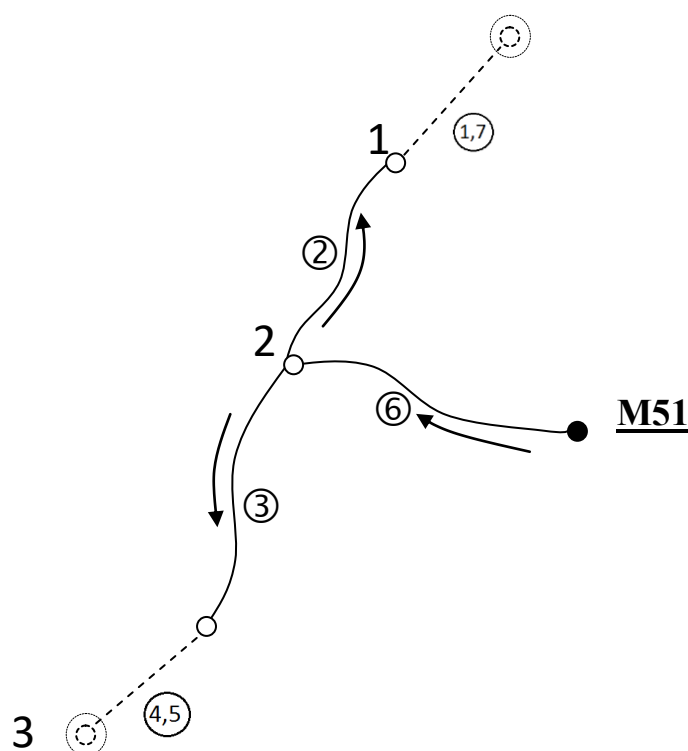


Рис. 4 Способ эквивалентной замены

Длина сложного хода 1,7+2 равна сумме ходов, его составляющих

$$L_{1,7} + L_2 = 4,13 + 9,0 = 13,13 \text{ км, а его вес } P = \frac{10}{13,13} = 0,76.$$

Аналогично вычисляются длины и веса остальных ходов.

Уравнивание превышений и вычисление высот узловых точек производят в специальной ведомости (таблица 10).

Сначала определяют предварительную высоту репера 1.

Высоту репера 1 получают как среднее весовое из отметок по ходам 1 и 7 по формуле

$$H_1 = H_0 + \frac{[\varepsilon p]}{[p]}$$

Для этого заполняют строки 1, 2 и 3 в графах 1-8 таблицы 3. Значения длин ходов и весов выбирают из таблицы 2.

Таблица 9

Ведомость вычисления весов высот узловых реперов

№ хода	L _i , км	$P_i = \frac{10}{L_i}$	№ хода	L _i , км	$P_i = \frac{10}{L_i}$
1	5.8	1.72	4	7.9	1.26
7	14.3	0.70	5	8.1	1.24
1,7	4.13	2.42	4,5	4,00	2.50
2	9.0	1,11	3	10.1	0.99
1.7+2	13.13	0.76	4,5+3	14.10	0.71
6	12.1	0.83	6	12.1	0.83
(1.7+2),6	6.30	1.59	(4,5+3),6	6.50	1.54
3	10.1	0.99	2	9.0	1.11
(1,7+2), 6+3	16.40	0.61	(4,5+3),6+2	15.50	0.64
4	7.9	1.26	1	5.8	1.72
5	8.1	1.24	7	14.3	0.70
	P _{НЗ} =3.11			P _{НЛ} =3.06	

Вычисляют отметку репера 1 по этим ходам. Так, отметка репера 1 по ходу 1 будет равна

$$H_1' = H_{M50} + h_1 = 192,178 - 2.075 = 190,103 \text{ м}$$

Это значение записывают во второй строке 5-й графы.

Отметка репера 1 один по ходу 7 будет

$$H_1'' = H_{M51} + h_7 = 183,353 + 6,740 = 190,093 \text{ м}$$

Это значение также записывают в третьей строке 5-й графы.

Далее из двух значений отметки репера 1 вычисляют среднее весовое

$$H_1 = H_0 + \frac{[ep]}{[p]} = 190.093 + \frac{17.2}{2.42} = 190.093 \text{ м} + 7.1 \text{ мм} = 190.100 \text{ м},$$

где $H_0 = 190.093$ выбирают как наименьшее значение, и вычисляют остатки ε_i по формуле

$$\varepsilon_i = H_i - H_0 \quad (31)$$

Величины ε_i будут равны: $\varepsilon_1 = 190.103 \text{ м} - 190.093 \text{ м} = 10 \text{ мм}$, $\varepsilon_7 = 0$. Эти значения записывают в строки 2 и 3 графы 6. Далее вычисляют величины p_i , ε_i (графа 8) и их сумму (строка 5).

Полученное значение высоты репера 1 записывают в строке 5 графы 5. В этой же строке в графу 4 выписывают длину и вес эквивалентного хода 1,7 из таблицы 9.

Далее вычисляют предварительную высоту репера 3.

Высоту репера 3 вычисляют по эквивалентному ходу 4, 5 и действительному ходу 3, заполняя строки 7-12 аналогично.

Вычисленные высоты реперов 1 и 3 являются предварительными, т. к. при их вычислении использовали только по два хода из семи.

Далее вычисляют высоту репера 2.

Высоту репера 2 определяют, как среднее весовое из отметок, полученных по трем ходам: (1,7+2), (4,5+3) и 6.

Так, высоту репера 2 по сложному ходу (1,7+2) получают, прибавив к предварительной высоте репера 1 превышение по ходу 2

$$H_2' = H_1' + h_2 = 190.100_1 + 0.771 = 190.871_1 \text{ м}$$

Это значение записывают в строке 14 графы 5.

Аналогично получают высоту репера 2 по сложному ходу (4,5+3)

$$H_2'' = H_3' + h_3 = 186.575_5 + 4.273 = 190.848_5 \text{ м}$$

Это значение высоты записывают в строку 15 графы 5.

Отметку репера 2 вычисляют также по действительному ходу 6

$$H_2''' = H_{M51} + h_6 = 183.353 + 7.506 = 190.859 \text{ м}$$

Полученное значение отметки записывают в строку 16 графы 5.

Среднее весовое из трех значений отметок репера 2 будет равно

$$H_1 = H_0 + \frac{[ep]}{[p]} = 190.848_5 + \frac{25.9}{2.30} = 190.859_8 \text{ м}$$

Это значение отметки репера 2 записывают в строку 17 графы 5. Оно будет окончательным и наиболее надежным (вероятнейшим), т.к. в его образовании участвовали все семь ходов.

Далее определяют вероятнейшие значения отметок реперов 1 и 3 следующим образом.

1. Вычисляют поправки V_i на сложные ходы (1,7+2), (4,5+3) и 6 по формуле

$$V_i = H_i - H_i' \quad (32)$$

2. Полученные поправки на сложные ходы v_i распределяют пропорционально длинам ходов, их составляющих.

Так, поправки по сложному ходу (1,7+2), ходам 1,7 и 2 будут равны.

Таблица 10

Ведомость уравнивания превышений и вычисления высот узловых реперов

№ п/п	№ хода в	№ Исх. точек и узл. репер ов	$h_{изм\ i}$ м	L_i км	H'_i м	$\dot{\epsilon}$ мм	p_i	$p_i \dot{\epsilon}_i$	H_i м	V_i мм	P_i V_i^2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1					Репер 1						
2	1	50	-2.075	5.8	190.103	10	1.72	17.2	190.096 ₅	- 6.5	72.9
3	7	51	+6.740	14.3	190.093	0	0.70	0		+3.3	8.7
4											
5	1,7			4,13	190,100 ₁		2.42	17,2		-3.6	
6	2		+0.771	9.0			1.11			-7.7	66.0
7					Репер 3						
8	4	50	-5.601	7.9	186.577	3	1.26	3.8	186.578 ₇	+1.7	3.6
9	5	51	+3.221	8.1	186.574	0	1.24	0		+4.7	27.4
10											
11	4,5			4.0	186.575 ₅		2.50	3.8		+3.2	
12	3		+4.273	10.1			0.99			+8.1	65.0
13					Репер 2						
14	1,7+ 2			13.13	190.871 ₁	22.6	0.76	17.2	190.859 ₈	-11.3	
15	4.5+ 3			14.10	190.848 ₅	0	0.71	0		+11.3	
16	6	51	+7.506	12.1	190.859	10.5	0.83	8.7		+0.8	0.5
17					190.859 ₈		2.30	25.9			244. 1

$$V_{1,7+2} = 190.859_8 - 190.871_1 = -11.3 \text{ мм}$$

$$V_{1,7} = \frac{v_{1,7+2} \cdot L_{1,7}}{L_{1,7+2}} = \frac{-11.3 \cdot 4.13}{13.13} = -3.6 \text{ мм}$$

$$V_2 = \frac{v_{1,7+2} \cdot L_2}{L_{1,7+2}} = \frac{-11.3 \cdot 9.0}{13.13} = -7.7 \text{ мм}$$

Контролем вычислений служит равенство

$$V_{1,7+2} = V_{1,7} + V_2 = -3,6 - 7.7 = -11.3 \text{ мм}$$

Полученные значения поправок выписывают в строки 14, 5 и 6 графы 10.

3. Вероятнейшее значение высоты репера 1 получают, прибавив к его предварительной высоте поправку на ход 1.7

$$H_1 = H_1' + V_{1.7} = 190.100_1 \text{ м} + (-3.6 \text{ мм}) = 190.096_5 \text{ м}.$$

Это значение выписывают в строке 2 графы 9.

4. Вычисляют поправки по ходам 1 и 7, вычитая отметки репера 1, полученные по этим ходам из его найденного вероятнейшего значения

$$V_1 = H_1 - H_1' = 190.096_5 \text{ м} - 190.103 \text{ м} = -6.5 \text{ мм}$$

$$V_7 = H_1 - H_1'' = 190.096_5 \text{ м} - 190.093 \text{ м} = +3.5 \text{ мм}$$

Вычисленные значения поправок выписывают в строках 2 и 3 в граф 10.

Аналогично вычисляют поправки $V_{4.5}$, V_3

$$V_{4.5+3} = 190.859_8 - 190.848_5 = +11.3 \text{ мм}$$

$$V_{4.5} = (11.3 \cdot 4.0) : 14.10 = +3.2 \text{ мм}$$

$$V_3 = (11.3 \cdot 10.1) : 14.10 = +8.1 \text{ мм}$$

$$\text{Контроль: } 3.3 + 8.1 = +11.3 \text{ мм}$$

и вероятнейшее значение отметки репера 3:

$$H_3 = H_3' + V_{4.5} = 186.575_5 + 0.0032 = 186.578_7 \text{ м},$$

которые заносят в соответствующие строки таблицы 3.

Поправки по ходам 4 и 5:

$$V_4 = 186.578_7 \text{ м} - 186.577 \text{ м} = 1.7 \text{ мм}$$

$$V_5 = 186.578_7 \text{ м} - 186.574 \text{ м} = 4.7 \text{ мм},$$

которые также заносят в таблицы 3.

Заключительный контроль уравнивания сети выполняют суммированием поправок в ходах по полигонам, заполняя графу 7 таблицы 8.

Оценку точности полевых измерений выполняют по формулам (21) и (22); оценку точности уравненных значений отметок реперов – по формуле (27).

Вопросы к защите лабораторной работы.

1. В чем суть метода эквивалентной замены?
2. Что такое эквивалентный ход?
3. Как вычисляется длина эквивалентного хода?
4. Как вычисляются вес эквивалентного хода?
5. Как вычисляются поправки в сложный ход?
6. Как вычисляются вероятнейшие значения отметок?

ЗАДАНИЕ 6

Уравнивание нивелирной сети методом полигонов проф. Попова В. В.

Произвести уравнивание нивелирной сети, приведенной на рис. 3, методом полигонов проф. Попова В.В. непосредственно на чертеже сети и оценить точность полевых измерений и уравненных значений высот узловых реперов.

Исходные данные:

1. Отметки исходных марок (приведены на рис.3) являются общими.
2. Измеренные величины (средние превышения и длины ходов) выбираются по варианту из прил. 4.

Суть способа полигонов, предложенного проф. Поповым В.В., заключается в следующем:

- вычисленные невязки по полигонам (см. рис. 5) распределяют пропорционально обратным весам отдельных ходов, входящих в полигон;
- распределение невязок производят способом последовательных приближений;
- распределив невязку в одном полигоне, переходят в соседние, невязки которых изменяют на величину поправок, приходящихся на общие полигонам ходы;
- выполняют вычисления во всех полигонах в первом приближении, затем переходят к следующему приближению;
- заканчивают распределение невязок в полигонах тогда, когда они становятся равными нулю.

Все указанные выше вычисления выполняют непосредственно на чертеже сети в специальных табличках (см. рис.6).

Порядок уравнительных вычислений способом полигонов проф. Попова В.В.

1. Оценка качества нивелирования

Для уравнивания рассматриваемым способом необходимо наметить независимые полигоны. Оценка качества нивелирования производится путем сравнения вычисленных невязок f_h в этих полигонах с их допустимыми значениями.

Для сети, изображенной на рис.3, намечают четыре полигона и составляют схематический чертеж сети полигонов, на котором указывают номера полигонов, марок и узловых реперов, номера ходов (рис. 5).

Вначале нумеруют сомкнутые полигоны (I, II, III), затем разомкнутый – IV. По намеченным полигонам подсчитывают невязки в сумме превышений. Направление обхода полигона выбирают обычно по ходу часовой стрелки.

Невязки, длины полигонов и предельные невязки выписывают на чертеже сети внутри каждого полигона.

Убедившись, что невязки по всем полигонам допустимы, начинают выполнять уравнивание превышений.

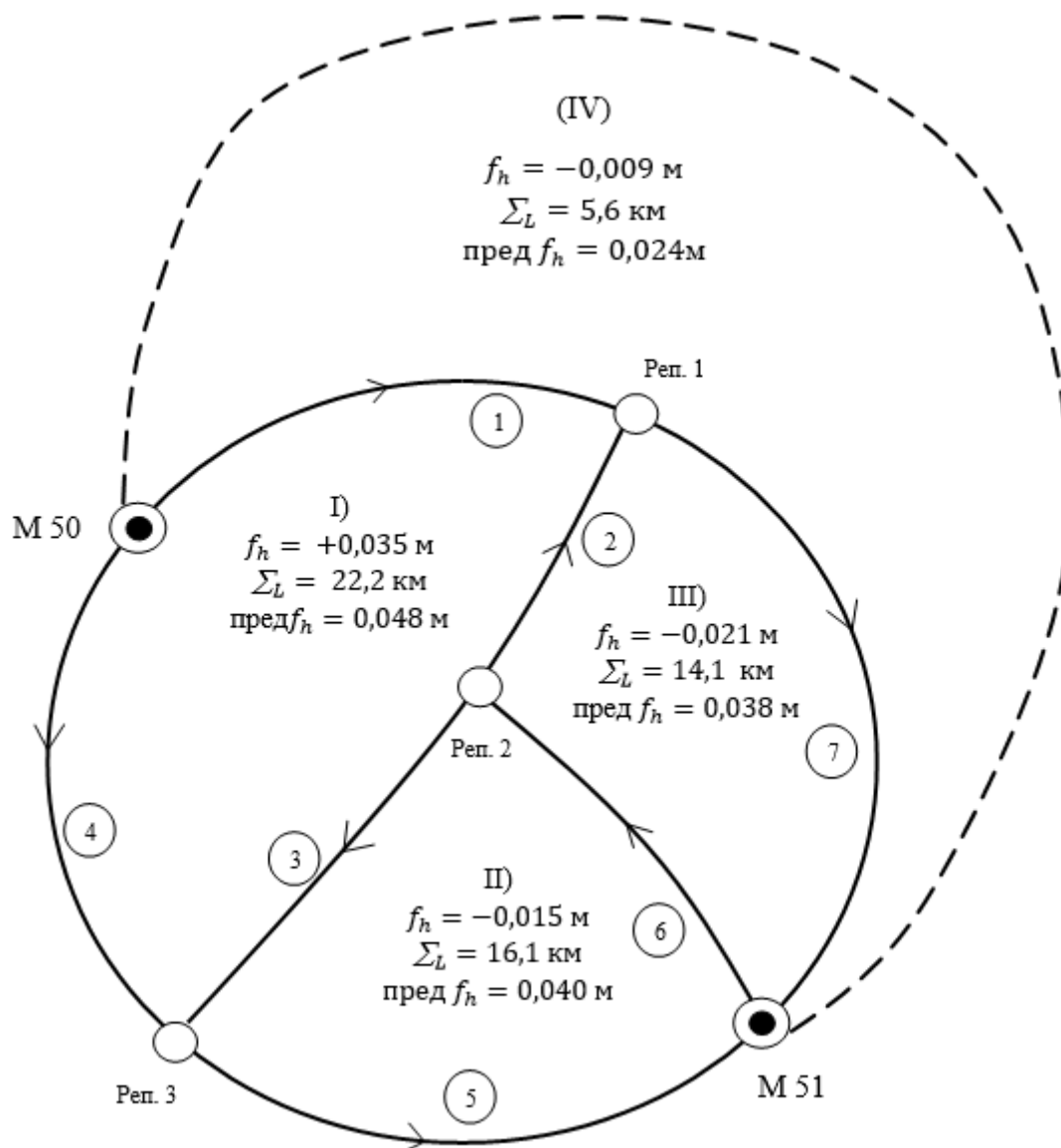


Рис. 5 Схематический чертеж полигонов

2. Уравнивание превышений и вычисление вероятнейших значений высот узловых реперов

Для уравнивания превышений составляют схему уравнивания, предложенную Поповым В.В. (рис.6).

На схеме внутри каждого полигона под его номером вычерчивают табличку невязок, а с внешней стороны полигона около каждого хода – табличку поправок.

Работу выполняют в следующей последовательности:

1. Распределение невязок в каждом полигоне по ходам;
2. Вычисление поправок в суммы превышений по ходам;
3. Вычисление уравненных превышений и вероятнейших значений отметок узловых реперов.

$$t_i = \frac{f_h}{[L]} L_i \quad (33)$$

Величины

$$\frac{L_i}{[L]} = k_i \quad (34)$$

называют «красными числами» вычисляют для всех ходов и записывают красными чернилами над соответствующими табличками поправок с внешней стороны полигона.

Контроль вычисления красных чисел: сумма красных чисел в каждом полигоне должна быть равна единице.

Так, для полигона I, состоящего из ходов 1, 2, 3, 4 красные числа и их сумма будут

$$0,11 + 0,21 + 0,32 + 0,36 = 1$$

Для полигона II, состоящего из ходов 3, 6, 5:

$$0,45 + 0,39 + 0,16 = 1$$

Для полигона III, состоящего из ходов 2, 7, 6:

$$0,45 + 0,33 + 0,22 = 1$$

Для полигона IV, состоящего из ходов 1 и 7:

$$0,45 + 0,55 = 1$$

Затем приступают к распределению невязок. Это распределение можно начинать с любого полигона. Обычно начинают с полигона, имеющего наибольшую по абсолютной величине невязку. В нашем примере это первый полигон.

Для этого невязку полигона, равную +35, последовательно умножают на красное число его ходов и полученные значения, округленные до целых миллиметров, записывают в таблички поправок под соответствующими красными числами. Знаки у полученных значений будут одинаковы со знаками невязки.

В результате получим

$$+35 \cdot 0,11 = +4; 35 \cdot 0,21 = +7; 35 \cdot 0,32 = +11; 35 \cdot 0,36 = +13$$

Контроль:

Сумма полученных поправок по ходам в полигоне должна быть равна невязке полигона:

$$4 + 7 + 11 + 13 = 35$$

Следовательно, в первом приближении невязка в первом полигоне полностью распределена. Подчеркнув распределенную невязку в табличке невязок первого полигона, переходят в следующий полигон, например, полигон II.

Невязка в полигоне II стала равной алгебраической сумме первоначальной невязки -15 и поправки +11, полученной на ход 2 из распределения невязки в полигоне I, т.е. новая невязка стала равна

$$f_h = -15 + 11 = -4.$$

Это значение записывают в табличку невязок второго полигона и распределяют соответственно красным числам ходов 3, 6 и 5:

$$\begin{aligned} -4 \cdot 0.45 &= -2; -4 \cdot 0.39 = -2; -4 \cdot 0.16 = 0 \\ f_h &= -2 - 2 = -4 \end{aligned}$$

Далее переходят в III и IV полигоны, подсчитывают новые невязки и распределяют их пропорционально красным числам.

Закончив первое приближение, переходят снова в первый полигон (начальный). Теперь его невязка будет складываться из поправок, полученных по ходам 1, 2 и 3 при распределении невязок в полигонах IV, III и II:

$$f_h = -4 - 5 - 2 = -11$$

Полученную невязку распределяют по красным числам полигона и полученные поправки записывают в соответствующие таблички.

Далее переходят к следующим полигонам, производя аналогичные действия до тех пор, пока невязки всех полигонов не будут равными нулю. Затем подсчитывают алгебраическую сумму поправок по каждой табличке и подписывают ее под двойной чертой.

2. Вычисление поправок в суммы превышений по ходам.

Поправки в суммах превышений по каждому ходу вычисляют по следующему правилу:

- поправка в сумме превышений хода, принадлежащего двум смежным полигонам, равна алгебраической сумме чисел внутренней и внешней табличек, причем сумма поправок внешней таблички берется с обратным знаком;

- поправка в суммы превышений хода, принадлежащего только одному полигону, равна сумме чисел внешней таблички с обратным знаком.

Так, поправка в сумме превышений по ходу 1 равна $-8 - 0 = -8$ для первого полигона и $0 - (-8) = +8$ для полигона IV. Поправка для хода 2 равна $-16 - 0 = -16$ для первого полигона и $0 - (-16) = +16$ для полигона II и т.д.

Контролем правильности вычисления поправок по каждому полигону служит выполнение равенства

$$\sum v_i = - f_h$$

Так, сумма поправок по полигону I равна: $-8 - 16 - 15 + 4 = -35$,

по полигону II: $+15 - 6 + 6 = +15$,

по полигону III: $+16 - 1 + 6 = +21$,

по полигону IV: $+8 + 1 = +9$,

что свидетельствует о том, все невязки распределены, т.е. стали равны нулю, и нивелирная сеть уравнена.

3. Вычисление уравненных превышений и вероятнейших значений отметок узловых реперов.

Определив поправки в суммы превышений по ходам, вычисляют их уравненные значения (см. табл. 11)

$$h_{ypi} = h_i + v_i \quad (35)$$

где h_i – суммы измеренных превышений по ходам, v_i – поправки, полученные указанным выше способом.

При этом поправки v_i выписывают по правилу:

- если направление хода при вычислении высот совпадает с направлением полигона, в который входит ход, поправка выписывается с тем знаком, с которым получена из уравнивания;

- если направление хода при вычислении отметки не совпадает с направлением полигона, в который входит ход, поправка выписывается с обратным знаком.

Например, при вычислении отметки репера 1 (первая строка табл.11) направление хода 1 берется от марки М50 к реперу 1, т.е. совпадает с направлением первого полигона, в который входит этот ход, поэтому поправка выписывается со знаком минус (-8), с которым получена из уравнивания; ее значения записывают в колонку 6.

Направление хода 7 от марки М51 к реперу 1 (строка 2) не совпадает с направлением полигона III и поправка будет +1 – колонка 6 и т.д.

Таким образом, согласно формулы (35), вычисляют уравненные превышения (колонка 7), по которым находят вероятнейшие отметки всех узловых реперов сети.

Контроль: Уравненные отметки репера, полученные по разным ходам должны быть одинаковы.

Таблица 11

Ведомость вычисления уравненных значений превышений и отметок узловых реперов

№ Реп.	№ хода	№ точ	Высоты исх. точек	Изм. прев. h_i м	v_i мм	Уравн Прев $h_{ур}$ м	Высоты H_i м	Длины Ходов L_i км	P_i	рвв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	50	192.178	-5.623	-8	-5.631	186.547	2.5	4.00	256.0
	7	51	183.353	+3.193	+1	+3.194	186.547	3.1	2.23	2.2
2	2	1	186.547	-1.287	-16	-1.303	185.244	4.7	2.13	510.2
	6	51	183.353	+1.885	+6	+1.891	185.244	6.3	1.59	52.4
3	4	50	192.178	-7.929	-4	-7.933	184.245	8.1	1.23	15.2
	3	2	185.244	-0.984	-15	-0.999	184.245	7.2	1.38	305.3
	5	51	183.353	+0.886	+6	+0.892	184.245	2.6	1.85	64.2
										1205.5

Оценку точности полевых измерений и уравненных значений высот выполняют так же как в задании 4.

Вопросы к защите лабораторной работы.

1. Что положено в основу способа уравнивания проф. Попова?
2. Что такое красные числа и зачем их вычисляют?
3. Как распределяется невязка в полигонах?

4. Как вычисляются поправки в превышениях по ходам в полигонах и как они контролируются?
5. Как вычисляются уравненные отметки узловых точек и как они контролируются?

ЛИТЕРАТУРА

1. ГКИНП (ГНТА)-03-010-02 Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М.: Картгеоцентр-Геодиздат, 2004. – 244с.
2. Селиханович В.Г. Геодезия. Учебник для вузов. - М.: Недра, 2000. – 544с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Отсчеты для журнала нивелирования III класса

№ ст. № реек	Отсчеты по дальномерным нитям		Отсчеты по средней нити		№ ст. № реек	Отсчеты по дальномерным нитям		Отсчеты по средней нити	
	задней рейки	передней рейки	задней рейки	передней рейки		задней рейки	передней рейки	задней рейки	передней рейки
	Вариант 1					Вариант 2			
1	1712	0535	1952	0771	1	1718	0832	1940	1050
1-2	2190	1005	6635	5570	1-2	2163	1271	6741	5734
2	2206	0265	2368	0435	2	1870	0583	2090	0800
2-1	2534	0610	7168	5118	2-1	2310	1021	6774	5600
3	0253	2180	0416	2348	3	2115	0560	2204	0645
1-2	0579	2511	5099	7148	1-2	2294	0731	7005	5329
4	0435	1930	0680	2186	4	1233	1900	1419	2090
2-1	0930	2440	5480	6870	2-1	1603	2282	6104	6892
	Вариант 3					Вариант 4			
1	1233	1900	1419	2090	1	1408	0216	1675	0480
1-2	1603	2282	6104	6892	1-2	1940	0745	6360	5280
2	0435	1930	0680	2186	2	1290	0608	1484	0801
2-1	0930	2440	5480	6870	2-1	1679	0999	6288	5490
3	1870	0583	2090	0800	3	0418	1158	0625	1365
1-2	2310	1021	6774	5600	1-2	0835	1570	5308	6165
4	2115	0560	2204	0645	4	0230	1359	0483	1617
2-1	2294	0731	7005	5329	2-1	0735	1871	5286	6304
	Вариант 5					Вариант 6			
1	1764	0615	1862	0705	1	2430	0515	2553	0634
1-2	1964	0795	6546	5504	1-2	2672	0750	7234	5432
2	2200	0490	2393	0685	2	0315	2614	0480	2776
2-1	2584	0880	7195	5370	2-1	0644	2938	5280	7460
3	0637	1795	0730	1889	3	0618	2502	0763	2649
1-2	0823	1983	5414	6690	1-2	0907	2796	5448	7450
4	0531	2240	0727	2435	4	2613	0315	2771	0476
2-1	0921	2628	5525	7116	2-1	2930	0635	7573	5162
	Вариант 7					Вариант 8			
1	0982	2184	1144	2352	1	2267	1054	2436	1221
1-2	1306	2519	5828	7152	1-2	2607	1389	7120	6022
2	0673	1978	0842	2148	2	0354	2212	0627	2481
2-1	1007	2318	5641	6831	2-1	0900	2750	5426	7164
3	2267	1054	2436	1221	3	0054	2170	0332	2441
1-2	2607	1389	7120	6022	1-2	0609	2718	5016	7242
4	1846	0548	2015	0717	4	1118	1646	1233	1754
2-1	2184	0882	6815	5400	2-1	1345	1861	6033	6438
	Вариант 9					Вариант 10			
1	1738	0141	1995	0400	1	1408	0216	1675	0480
1-2	2250	0659	6679	5200	1-2	1940	0745	6360	5280
2	1951	0495	2150	0693	2	2270	0220	2362	0308
2-1	2344	0892	6950	5376	2-1	2452	0395	7162	4991
3	2151	0720	2392	0958	3	1903	0505	1964	0565
1-2	2633	1197	7075	5758	1-2	2021	0626	6647	5365
4	0354	2212	0627	2481	4	2270	0184	2372	0290
2-1	0900	2750	5426	7164	2-1	2473	0396	7172	4973

Продолжение прил. 1

№ ст. № реек	Отсчеты по дальномерным нитям		Отсчеты по средней нити		№ ст. № реек	Отсчеты по дальномерным нитям		Отсчеты по средней нити	
	задней рейки	передней рейки	задней рейки	передней рейки		задней рейки	передней рейки	задней рейки	передней рейки
	Вариант 11					Вариант 12			
1	0204	2257	0310	2353	1	2448	0150	2610	0315
1-2	0415	2449	4993	7153	1-2	2771	0480	7293	5115
2	0524	1980	0588	2044	2	1915	0768	2018	0875
2-1	0653	2109	5389	6729	2-1	2126	0977	6818	5558
3	0221	2250	0307	2340	3	0760	1878	0862	1981
1-2	0392	2431	4991	7140	1-2	0964	2084	5546	6782
4	2280	0165	2386	0264	4	0192	2525	0357	2690
2-1	2490	0361	7186	4947	2-1	0519	2855	5158	7375
	Вариант 13					Вариант 14			
1	0078	2187	0178	2290	1	2186	0510	2500	0820
1-2	0278	2388	4861	7090	1-2	2814	1132	7186	5622
2	0670	0148	0763	0238	2	2409	0216	2630	0437
2-1	0855	0328	5563	4921	2-1	2851	0658	7430	5120
3	0130	0650	0219	0743	3	2468	0056	2716	0298
1-2	0310	0836	4903	5544	1-2	2964	0540	7400	5099
4	1118	1646	1233	1754	4	0762	0330	0925	0495
2-1	1345	1861	6033	6438	2-1	1087	0659	5725	5178
	Вариант 15					Вариант 16			
1	2325	0316	2485	0478	1	0050	2370	0292	2605
1-2	2650	0638	7168	5277	1-2	0534	2840	5092	7289
2	1925	0680	2117	0876	2	0060	2450	0308	2696
2-1	2308	1052	6918	5560	2-1	0556	2939	4992	7496
3	0666	1857	0850	2050	3	0365	2009	0660	2302
1-2	1033	2242	5533	6850	1-2	0953	2595	5460	6987
4	0050	2370	0292	2605	4	0618	2502	0763	2649
2-1	534	2840	5092	7289	2-1	0907	2796	5448	7450
	Вариант 17					Вариант 18			
1	1951	0495	2150	0693	1	0670	0148	0763	0238
1-2	2344	0892	6950	5376	1-2	0855	0328	5563	4921
2	2151	0720	2392	0958	2	0130	0650	0219	0743
2-1	2633	1197	7075	5758	2-1	0310	0836	4903	5544
3	0435	1930	0680	2186	3	0354	2212	0627	2481
1-2	0930	2440	5480	6870	1-2	0900	2750	5426	7164
4	1870	0583	2090	0800	4	0054	2170	0332	2441
2-1	2310	1021	6774	5600	2-1	0609	2718	5016	7242
	Вариант 19					Вариант 20			
1	1925	0680	2117	0876	1	0524	1980	0588	2044
1-2	2308	1066	6918	5560	1-2	0653	2109	5389	6729
2	0666	1857	0850	2050	2	0221	2250	0307	2340
2-1	1033	2242	5533	6850	2-1	0392	2431	4991	7140
3	1118	1646	1233	1754	3	2115	0560	2204	0645
1-2	1345	1861	6033	6438	1-2	2294	0731	7005	5329
4	0637	1795	0730	1889	4	1233	1900	1419	2090
2-1	0823	1983	5414	6690	2-1	1603	2282	6104	6892

Окончание прил. 1

№ ст. № реек	Отсчеты по дальномерным нитям		Отсчеты по средней нити		№ ст. № реек	Отсчеты по дальномерным нитям		Отсчеты по средней нити	
	задней рейки	передней рейки	задней рейки	передней рейки		задней рейки	передней рейки	задней рейки	передней рейки
	Вариант 21					Вариант 22			
1	0315	2614	0480	2776	1	0524	1980	0588	2044
1-2	0644	2938	5280	7460	1-2	0653	2109	5389	6729
2	0204	2257	0310	2353	2	0221	2250	0307	2340
2-1	0415	2449	4993	7153	2-1	0392	2431	4991	7140
3	1911	0768	2018	0875	3	2409	0216	2630	0437
1-2	2130	0977	6818	5558	1-2	2851	0658	7430	5120
4	0760	1878	0862	1981	4	1870	0583	2090	0800
2-1	964	2084	5546	6782	2-1	2310	1021	6774	5600
	Вариант 23					Вариант 24			
1	0762	0330	0925	0495	1	2270	0184	2372	0290
1-2	1087	0659	5725	5178	1-2	2473	0396	7172	4973
2	0618	2502	0763	2649	2	0418	1158	0625	1365
2-1	0907	2796	5448	7450	2-1	0835	1570	5308	6165
3	2613	0315	2771	0476	3	0230	1359	0483	1617
1-2	2930	0635	7573	5162	1-2	0735	1871	5286	6304
4	0204	2257	0310	2353	4	0165	2280	0264	2386
2-1	0415	2449	4993	7153	2-1	0361	2490	4947	7186
	Вариант 25					Вариант 26			
1	1718	0832	1940	1050	1	0531	2240	0727	2435
1-2	2163	1271	6741	5734	1-2	0921	2628	5525	7116
2	1712	0535	1952	0771	2	0060	2450	0308	2696
2-1	2190	1005	6635	5570	2-1	0556	2939	4992	7496
3	2200	0490	2393	0685	3	0435	1930	0680	2186
1-2	2584	0880	7195	5370	1-2	0930	2440	5480	6870
4	0637	1795	0730	1889	4	0204	2257	0310	2353
2-1	0823	1983	5414	6690	2-1	0415	2449	4993	7153
	Вариант 27					Вариант 28			
1	0192	2525	0357	2690	1	0315	2614	0480	2776
1-2	0519	2855	5158	7375	1-2	0644	2938	5280	7460
2	0666	1857	0850	2050	2	0618	2502	0763	2649
2-1	1033	2242	5533	6850	2-1	0907	2796	5448	7450
3	0050	2370	0292	2605	3	2206	0260	2368	0433
1-2	0534	2840	5092	7289	1-2	2534	0600	7168	5118
4	1870	0583	2090	0800	4	0253	2180	0416	2348
2-1	2310	1021	6774	5600	2-1	0579	2511	5099	7148
	Вариант 29					Вариант 30			
1	0435	1930	0680	2186	1	2270	0184	2372	0290
1-2	0930	2440	5480	6870	1-2	2473	0396	7172	4973
2	1870	0583	2090	0800	2	2151	0720	2392	0958
2-1	2310	1021	6774	5600	2-1	2633	1197	7075	5758
3	0435	1930	0680	2186	3	0354	2212	0627	2481
1-2	0930	2440	5480	6870	1-2	0900	2750	5426	7164
4	2325	0316	2486	0478	4	0054	2170	0332	2441
2-1	2652	0638	7168	5277	2-1	0609	2718	5016	7242

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

№ варианта	Отметка Rp 8, м	№ варианта	Отметка Rp 8, м	№ варианта	Отметка Rp 8, м
1	112,437	21	108,451	41	106,218
2	115,823	22	112,759	42	107,642
3	113,413	23	111,554	43	106,036
4	112,755	24	115,079	44	106,502
5	117,856	25	115,379	45	107,133
6	112,789	26	105,123	46	107,487
7	112,763	27	108,214	47	112,289
8	109,499	28	108,589	48	118,581
9	115,392	29	113,046	49	115,732
10	119,494	30	112,291	50	119,868
11	109,355	31	113,836	51	117,810
12	112,753	32	105,686	52	114,361
13	110,121	33	110,102	53	106,417
14	119,474	34	118,728	54	112,378
15	112,492	35	119,338	55	115,866
16	104,514	36	117,960	56	106,023
17	115,418	37	116,620	57	107,071
18	108,785	38	118,820	58	114,471
19	111,106	39	115,390	59	113,249
20	110,139	40	108,806	60	118,431

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

В числителе дроби - среднее превышение (м), в знаменателе - длина хода (км)

№вар.	Номер хода				№вар.	Номер хода			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	<u>3,025</u> 25,7	<u>-3,384</u> 21,3	<u>9,641</u> 25,6	<u>3,647</u> 24,3	11	<u>-2,026</u> 32,6	<u>1,729</u> 14,8	<u>4,531</u> 32,1	<u>-1,491</u> 21,4
2	<u>-3,484</u> 32,5	<u>3,132</u> 15,9	<u>3,111</u> 21,6	<u>-2,975</u> 9,8	12	<u>1,481</u> 27,9	<u>-1,768</u> 13,9	<u>7,987</u> 20,1	<u>1,967</u> 7,2
3	<u>-1,02</u> 36,9	<u>0,664</u> 12,3	<u>5,592</u> 39,7	<u>-0,483</u> 10,5	13	<u>2,875</u> 28,3	<u>-3,173</u> 14,2	<u>9,379</u> 29,4	<u>3,362</u> 12,3
4	<u>0,386</u> 23,6	<u>-0,733</u> 14,9	<u>6,987</u> 36,2	<u>0,908</u> 6,3	14	<u>-4,386</u> 21	<u>4,047</u> 14,6	<u>2,162</u> 26,4	<u>-3,853</u> 2,8
5	<u>2,041</u> 14,5	<u>-2,39</u> 32,9	<u>8,635</u> 12,5	<u>2,558</u> 4,5	15	<u>-2,764</u> 25,3	<u>2,464</u> 16,3	<u>3,755</u> 21,4	<u>-2,273</u> 7,4
6	<u>-3,001</u> 16,3	<u>2,666</u> 36,8	<u>3,588</u> 10,4	<u>-2,488</u> 7,2	16	<u>2,167</u> 32,5	<u>-2,472</u> 17,8	<u>8,661</u> 28,6	<u>2,632</u> 2,4
7	<u>-0,25</u> 38,6	<u>-0,102</u> 34,7	<u>6,357</u> 11,3	<u>0,278</u> 10,8	17	<u>5,976</u> 12,3	<u>-6,339</u> 16,8	<u>12,552</u> 25,4	<u>6,528</u> 4,7
8	<u>3,475</u> 17,8	<u>-3,824</u> 24,6	<u>10,068</u> 17,2	<u>3,986</u> 11,3	18	<u>2,716</u> 10,5	<u>-3,001</u> 12,3	<u>9,196</u> 31,2	<u>3,17</u> 6,3
9	<u>4,562</u> 16,9	<u>-4,899</u> 26,7	<u>11,166</u> 11,2	<u>5,085</u> 10,9	19	<u>-1,587</u> 10,9	<u>1,239</u> 21,7	<u>4,966</u> 20,3	<u>-1,105</u> 8,1
10	<u>-3,995</u> 25,9	<u>3,647</u> 12,3	<u>2,621</u> 9,7	<u>-3,382</u> 11,9	20	<u>-1,311</u> 10,4	<u>0,971</u> 23,5	<u>5,278</u> 30,6	<u>-0,792</u> 6,4

В числителе дроби - среднее превышение (м), в знаменателе - длина хода (км)

№вар.	Номер хода				№вар.	Номер хода			
	1	2	3	4		1	2	3	4
21	<u>-0,856</u> 13,4	<u>0,522</u> 21,3	<u>5,726</u> 14,6	<u>-0,346</u> 5,1	41	<u>1,714</u> 39,7	<u>-2,006</u> 14,8	<u>8,251</u> 33,6	<u>2,169</u> 8,1
22	<u>3,617</u> 13,2	<u>-3,896</u> 28,9	<u>10,155</u> 2,9	<u>4,096</u> 4,9	42	<u>2,821</u> 21,4	<u>-3,121</u> 10,8	<u>9,32</u> 22,5	<u>3,239</u> 10,3
23	<u>2,013</u> 15,2	<u>-2,36</u> 24,3	<u>8,632</u> 8,6	<u>2,574</u> 7,1	43	<u>-4,293</u> 26,8	<u>3,983</u> 10,6	<u>2,229</u> 39,2	<u>-3,845</u> 14,2
24	<u>-2,279</u> 14,7	<u>1,989</u> 21,5	<u>4,277</u> 9,4	<u>-1,78</u> 6,8	44	<u>4,358</u> 24,7	<u>-4,643</u> 10,5	<u>10,852</u> 31	<u>4,823</u> 17,6
25	<u>4,566</u> 17,6	<u>-4,859</u> 11,3	<u>11,129</u> 21,4	<u>5,074</u> 6,5	45	<u>1,023</u> 23,8	<u>-1,36</u> 17,4	<u>7,576</u> 37,4	<u>1,56</u> 10,8
26	<u>4,111</u> 16,6	<u>-4,469</u> 25,6	<u>10,668</u> 9,4	<u>4,615</u> 11,2	46	<u>-3,059</u> 32,5	<u>2,709</u> 11,2	<u>3,495</u> 27,6	<u>-2,528</u> 11,6
27	<u>0,489</u> 13,6	<u>-0,789</u> 14,7	<u>7,001</u> 10,2	<u>0,928</u> 14,3	47	<u>4,126</u> 44,1	<u>-4,419</u> 10,6	<u>10,618</u> 10,8	<u>4,549</u> 12,7
28	<u>-4,216</u> 15,8	<u>3,906</u> 31,4	<u>2,283</u> 6,3	<u>-3,792</u> 10,8	48	<u>0,251</u> 42,6	<u>-0,541</u> 14,3	<u>6,757</u> 10,4	<u>0,687</u> 21,5
29	<u>-2,189</u> 14,5	<u>1,882</u> 33,4	<u>4,312</u> 7,5	<u>-1,691</u> 17,9	49	<u>0,367</u> 32,8	<u>-0,659</u> 10,8	<u>6,858</u> 15,2	<u>0,795</u> 22,1
30	<u>3,415</u> 12,9	<u>-3,765</u> 22,4	<u>10,008</u> 10,7	<u>3,991</u> 17,8	50	<u>-0,025</u> 17,5	<u>-0,327</u> 10,5	<u>6,568</u> 10,9	<u>0,512</u> 23,9
31	<u>1,386</u> 19,6	<u>-1,731</u> 26,8	<u>7,94</u> 9,7	<u>1,921</u> 22,1	51	<u>1,221</u> 16,3	<u>-1,571</u> 10,2	<u>7,822</u> 5,3	<u>1,739</u> 24,5
32	<u>-4,501</u> 15,7	<u>4,162</u> 24,6	<u>2,051</u> 6,9	<u>-4,01</u> 21,3	52	<u>-2,354</u> 9,1	<u>2,008</u> 25,6	<u>4,246</u> 20,1	<u>-1,843</u> 10,6
33	<u>1,684</u> 21	<u>-2,059</u> 15,2	<u>8,254</u> 9,7	<u>2,191</u> 15,8	53	<u>2,351</u> 22,1	<u>-2,696</u> 37,1	<u>8,956</u> 10,9	<u>2,881</u> 25,4
34	<u>-2,351</u> 21,6	<u>1,983</u> 14,8	<u>4,231</u> 24,1	<u>-1,835</u> 9,7	54	<u>1,204</u> 24	<u>-1,537</u> 21	<u>7,799</u> 9,1	<u>1,721</u> 18,9
35	<u>-4,319</u> 21,7	<u>4,029</u> 16,9	<u>2,237</u> 38,1	<u>-3,792</u> 6,4	55	<u>1,204</u> 24	<u>-1,537</u> 21	<u>7,799</u> 9,1	<u>1,721</u> 18,9
36	<u>0,191</u> 21,9	<u>-0,474</u> 17,5	<u>6,746</u> 39,4	<u>0,743</u> 7,5	56	<u>1,204</u> 18,3	<u>-1,539</u> 12,1	<u>7,788</u> 10,1	<u>1,706</u> 12,5
37	<u>4,601</u> 32,5	<u>-4,946</u> 17,6	<u>11,213</u> 30,2	<u>5,118</u> 8,1	57	<u>1,025</u> 41,8	<u>-1,398</u> 54,2	<u>7,676</u> 41,7	<u>1,678</u> 45,6
38	<u>-3,359</u> 34,1	<u>3,012</u> 12,4	<u>3,245</u> 27,9	<u>-2,844</u> 4,9	58	<u>0,254</u> 10,5	<u>-0,552</u> 26,7	<u>6,834</u> 10,4	<u>0,82</u> 12,3
39	<u>2,062</u> 32,8	<u>-2,406</u> 17,6	<u>8,663</u> 27,1	<u>2,576</u> 6,7	59	<u>-1,204</u> 29,3	<u>0,922</u> 31,4	<u>5,343</u> 25,6	<u>-0,652</u> 18,2
40	<u>-1,082</u> 36,2	<u>0,742</u> 12	<u>5,546</u> 36,2	<u>-0,538</u> 6,7	60	<u>-2,304</u> 14,7	<u>2,002</u> 24,1	<u>4,263</u> 10,2	<u>-1,763</u> 16,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

В числителе дроби - среднее превышение (м), в знаменателе - длина хода (км)

№ вар.	Номер хода						
	1	2	3	4	5	6	7
1	<u>-1,255</u> 1,6	<u>-0,902</u> 6,3	<u>-5,632</u> 5,4	<u>-6,009</u> 3,9	<u>-2,813</u> 5,2	<u>8,461</u> 7,1	<u>-7,563</u> 6,3
2	<u>-9,604</u> 8,1	<u>-3,664</u> 7,4	<u>2,657</u> 6,7	<u>-3,322</u> 9,5	<u>-5,5</u> 8,5	<u>2,808</u> 5,4	<u>0,814</u> 7,2
3	<u>-3,201</u> 2,5	<u>-1,238</u> 4,1	<u>0,609</u> 7,9	<u>-1,369</u> 3,6	<u>-7,448</u> 4,5	<u>6,857</u> 1,9	<u>-5,605</u> 3,9
4	<u>-3,504</u> 3,6	<u>4,207</u> 4,1	<u>-1,268</u> 2,9	<u>-9,006</u> 1,7	<u>0,19</u> 2,5	<u>1,09</u> 1,9	<u>-5,306</u> 3,4
5	<u>-5,623</u> 2,5	<u>1,287</u> 4,7	<u>-0,984</u> 7,2	<u>-7,929</u> 8,1	<u>-0,886</u> 2,6	<u>1,885</u> 6,3	<u>-3,193</u> 3,1
6	<u>-10,205</u> 3,6	<u>5,412</u> 4,1	<u>5,607</u> 4,6	<u>-10,051</u> 6,7	<u>1,229</u> 9,1	<u>-6,826</u> 3,6	<u>1,393</u> 5,2
7	<u>-4,235</u> 3,6	<u>-2,114</u> 4,1	<u>-0,507</u> 2,8	<u>-2,604</u> 8,1	<u>-6,218</u> 4,5	<u>6,738</u> 6,4	<u>-4,605</u> 5,2
8	<u>-0,289</u> 5,1	<u>-2,567</u> 4,2	<u>-7,602</u> 7,6	<u>-5,353</u> 6,5	<u>-3,469</u> 3,2	<u>11,089</u> 8,1	<u>-8,517</u> 7,4
9	<u>-8,507</u> 2,3	<u>5,607</u> 10,7	<u>9,504</u> 5,9	<u>-4,634</u> 6,7	<u>-4,188</u> 5,2	<u>-5,331</u> 9,1	<u>-0,328</u> 10,7
10	<u>-8,541</u> 2,6	<u>6,578</u> 4,7	<u>4,312</u> 5,2	<u>-10,846</u> 7,8	<u>2,024</u> 4,9	<u>-6,322</u> 6,3	<u>-0,271</u> 7,1
11	<u>-3,697</u> 3,2	<u>3,458</u> 5,7	<u>-2,037</u> 8,1	<u>-9,158</u> 4,9	<u>0,336</u> 1,6	<u>1,677</u> 7,2	<u>-5,11</u> 3,9
12	<u>-5,602</u> 3,9	<u>-5,214</u> 4,8	<u>5,321</u> 5,1	<u>4,907</u> 7,2	<u>-13,729</u> 1,9	<u>8,424</u> 10,4	<u>-3,209</u> 5,9
13	<u>-8,457</u> 6,2	<u>9,832</u> 8,7	<u>9,014</u> 6,7	<u>-9,316</u> 8,6	<u>0,494</u> 7,2	<u>-9,478</u> 4,9	<u>-0,378</u> 10,8
14	<u>-9,602</u> 9,4	<u>-5,836</u> 5,6	<u>8,056</u> 11,2	<u>4,259</u> 4,7	<u>-13,081</u> 3,9	<u>5,04</u> 8,1	<u>0,765</u> 5,7
15	<u>-10,522</u> 6,2	<u>-1,257</u> 7,4	<u>-7,053</u> 9,2	<u>-16,288</u> 10,6	<u>7,466</u> 4,7	<u>-0,403</u> 8,2	<u>1,682</u> 4,9
16	<u>-6,347</u> 11,7	<u>2,654</u> 2,6	<u>6,214</u> 7,9	<u>-2,816</u> 4,5	<u>-6,006</u> 6,8	<u>-0,197</u> 4,3	<u>-2,462</u> 8,1
17	<u>-7,225</u> 10,2	<u>7,321</u> 2,3	<u>-8,245</u> 5,9	<u>-22,811</u> 4,7	<u>13,989</u> 6,1	<u>-5,718</u> 2,8	<u>-1,576</u> 6,3
18	<u>-6,334</u> 5,9	<u>4,982</u> 4,7	<u>3,245</u> 8,1	<u>-8,093</u> 6,3	<u>-0,729</u> 4,2	<u>-2,493</u> 6	<u>-2,47</u> 4,5
19	<u>-8,557</u> 6,3	<u>-7,621</u> 10,8	<u>4,012</u> 9,8	<u>3,05</u> 7,1	<u>-11,872</u> 4,7	<u>7,848</u> 16,3	<u>-0,284</u> 6,4
20	<u>-8,507</u> 2,3	<u>5,607</u> 10,7	<u>9,504</u> 5,9	<u>-4,634</u> 6,7	<u>-4,188</u> 5,2	<u>-5,331</u> 9,1	<u>-0,328</u> 10,7
21	<u>7,551</u> 12,7	<u>2,032</u> 10,4	<u>0,954</u> 9,6	<u>6,439</u> 7,5	<u>-15,261</u> 18,2	<u>14,317</u> 10,6	<u>-16,397</u> 6,7
22	<u>-3,229</u> 8,9	<u>-9,002</u> 9,7	<u>-0,245</u> 9,7	<u>5,492</u> 5,2	<u>-14,314</u> 4,1	<u>14,564</u> 10,8	<u>-5,61</u> 11,7
23	<u>-9,668</u> 10,1	<u>6,108</u> 12,9	<u>5,254</u> 12,3	<u>-10,561</u> 11,8	<u>1,739</u> 12,3	<u>-6,987</u> 12,7	<u>0,83</u> 10,4

Продолжение прил. 4

В числителе дроби - среднее превышение (м), в знаменателе - длина хода (км)

№ вар.	Номер хода						
	1	2	3	4	5	6	7
24	<u>-10,228</u> 9,7	<u>5,157</u> 6,5	<u>6,124</u> 7,1	<u>-9,302</u> 8,5	<u>0,48</u> 9,3	<u>-6,596</u> 10,4	<u>1,419</u> 7,4
25	<u>-6,338</u> 3,5	<u>-9,013</u> 7,1	<u>-8,541</u> 4,8	<u>-5,885</u> 5,1	<u>-2,934</u> 3,9	<u>11,48</u> 5,2	<u>-2,469</u> 4,3
26	<u>-7,445</u> 5,6	<u>5,346</u> 8,1	<u>-7,127</u> 3,7	<u>-19,94</u> 4,2	<u>11,124</u> 5,1	<u>-3,987</u> 6,3	<u>-1,363</u> 4,9
27	<u>-8,227</u> 12,3	<u>3,488</u> 11,1	<u>0,573</u> 10,4	<u>-11,174</u> 9,5	<u>2,352</u> 6,1	<u>-2,927</u> 4,3	<u>-0,584</u> 9,2
28	<u>-11,228</u> 16,4	<u>-5,173</u> 12,3	<u>-1,045</u> 10,6	<u>-7,139</u> 9,8	<u>-1,683</u> 11,3	<u>2,706</u> 12,4	<u>2,424</u> 9,4
29	<u>-5,227</u> 6,5	<u>6,148</u> 11,4	<u>7,014</u> 5,7	<u>-4,347</u> 3,9	<u>-4,475</u> 7,1	<u>-2,517</u> 10,4	<u>-3,576</u> 10,2
30	<u>-3,669</u> 6,9	<u>0,486</u> 4,2	<u>6,017</u> 8,8	<u>1,898</u> 7,4	<u>-10,72</u> 6,3	<u>4,686</u> 8,1	<u>-5,181</u> 9,2
31	<u>-10,561</u> 6,8	<u>5,479</u> 5,2	<u>-2,337</u> 4,1	<u>-18,333</u> 6,3	<u>9,511</u> 7,4	<u>-7,189</u> 6,1	<u>1,711</u> 4,9
32	<u>-6,328</u> 5,1	<u>8,452</u> 6,3	<u>5,249</u> 4,2	<u>-9,564</u> 3,9	<u>0,742</u> 7,4	<u>-5,975</u> 8,2	<u>-2,507</u> 9,4
33	<u>-5,419</u> 6,2	<u>-0,548</u> 4,8	<u>-2,045</u> 7,2	<u>-6,951</u> 6,3	<u>-1,871</u> 6,2	<u>3,935</u> 7,1	<u>-3,39</u> 9,5
34	<u>-9,011</u> 6,3	<u>1,572</u> 7,5	<u>3,457</u> 8,1	<u>-7,154</u> 9,4	<u>-1,668</u> 6,7	<u>-1,769</u> 8,1	<u>0,218</u> 6,7
35	<u>-4,382</u> 6,3	<u>-1,065</u> 5,6	<u>-4,012</u> 5,7	<u>-7,355</u> 3,9	<u>-1,467</u> 4,1	<u>5,488</u> 5,6	<u>-4,408</u> 7,1
36	<u>-8,625</u> 8,7	<u>5,124</u> 5,4	<u>8,361</u> 7,8	<u>-5,413</u> 4,7	<u>-3,409</u> 6,3	<u>-4,944</u> 6,3	<u>-0,161</u> 9,7
37	<u>-6,327</u> 6,1	<u>6,123</u> 6,7	<u>5,098</u> 7,9	<u>-7,386</u> 6,8	<u>-1,436</u> 5,2	<u>-3,679</u> 6,9	<u>-2,486</u> 8,1
38	<u>-5,059</u> 5,2	<u>0,285</u> 9,1	<u>-4,016</u> 7,8	<u>-9,401</u> 8,6	<u>0,579</u> 9,4	<u>3,424</u> 10,2	<u>-3,728</u> 6,3
39	<u>-9,108</u> 9,1	<u>-8,924</u> 8,2	<u>6,059</u> 4,6	<u>5,913</u> 9,2	<u>-14,735</u> 7,4	<u>8,644</u> 6,7	<u>0,244</u> 8,1
40	<u>-7,804</u> 6,3	<u>5,671</u> 4,8	<u>-8,567</u> 7,1	<u>-21,998</u> 6,9	<u>13,176</u> 8,5	<u>-4,641</u> 6,6	<u>-1,011</u> 7,1
41	<u>-5,214</u> 5,2	<u>0,257</u> 4,9	<u>1,225</u> 7,1	<u>-4,26</u> 6,3	<u>-4,562</u> 3,9	<u>3,373</u> 5,8	<u>-3,627</u> 5,6
42	<u>-6,328</u> 9,6	<u>5,321</u> 8,1	<u>-5,556</u> 4,2	<u>-17,221</u> 6,3	<u>8,399</u> 7,1	<u>-2,821</u> 8,5	<u>-2,461</u> 9,4
43	<u>-4,309</u> 5,2	<u>6,389</u> 4,9	<u>-3,222</u> 3,8	<u>-13,938</u> 6,1	<u>5,116</u> 3,5	<u>-1,878</u> 4,8	<u>-4,485</u> 6,9
44	<u>-8,601</u> 6,3	<u>1,227</u> 6,2	<u>-5,447</u> 5,9	<u>-15,241</u> 6,3	<u>6,419</u> 7,1	<u>-0,955</u> 5,2	<u>-0,26</u> 7,8
45	<u>-1,807</u> 6,3	<u>-6,521</u> 7,1	<u>3,557</u> 5,9	<u>8,306</u> 7,4	<u>-17,128</u> 6,3	<u>13,59</u> 8,1	<u>-7,028</u> 4,9
46	<u>-6,328</u> 6,3	<u>4,127</u> 4,8	<u>0,889</u> 5,2	<u>-9,527</u> 7,2	<u>0,705</u> 6,9	<u>-1,572</u> 8,1	<u>-2,515</u> 4,8

В числителе дроби - среднее превышение (м), в знаменателе - длина хода (км)

№ вар.	Номер хода						
	1	2	3	4	5	6	7
47	$\frac{-4,562}{6,3}$	$\frac{2,337}{5,2}$	$\frac{2,557}{4,1}$	$\frac{-4,305}{7,3}$	$\frac{-4,517}{6,1}$	$\frac{1,984}{5,8}$	$\frac{-4,282}{6,9}$
48	$\frac{-10,227}{5,2}$	$\frac{1,228}{11,6}$	$\frac{6,557}{6,9}$	$\frac{-4,854}{7,2}$	$\frac{-3,968}{8,5}$	$\frac{-2,562}{11,2}$	$\frac{1,39}{10,5}$
49	$\frac{-11,256}{9,6}$	$\frac{5,204}{8,3}$	$\frac{4,128}{7,5}$	$\frac{-12,312}{6,2}$	$\frac{3,49}{5,1}$	$\frac{-7,647}{4,8}$	$\frac{2,452}{5,2}$
50	$\frac{-2,367}{5,2}$	$\frac{9,663}{8,3}$	$\frac{2,667}{7,4}$	$\frac{-9,329}{6,3}$	$\frac{0,507}{9,4}$	$\frac{-3,148}{5,9}$	$\frac{-6,479}{7,4}$
51	$\frac{-6,327}{5,9}$	$\frac{8,221}{5,1}$	$\frac{9,881}{7,2}$	$\frac{-4,648}{6,3}$	$\frac{-4,174}{4,9}$	$\frac{-5,719}{5,2}$	$\frac{-2,488}{7,6}$
52	$\frac{-8,529}{3,9}$	$\frac{-5,307}{4,1}$	$\frac{4,671}{5,2}$	$\frac{1,475}{6,1}$	$\frac{-10,297}{5,3}$	$\frac{5,59}{5,7}$	$\frac{-0,28}{4,7}$
53	$\frac{-9,637}{5,2}$	$\frac{-6,058}{4,1}$	$\frac{0,507}{3,7}$	$\frac{-3,049}{5,4}$	$\frac{-5,773}{6,6}$	$\frac{5,233}{8,1}$	$\frac{0,794}{2,7}$
54	$\frac{-7,241}{3,2}$	$\frac{4,028}{9,4}$	$\frac{6,701}{5,2}$	$\frac{-4,604}{7,4}$	$\frac{-4,218}{6,7}$	$\frac{-2,515}{9,7}$	$\frac{-1,563}{8,4}$
55	$\frac{-2,068}{6,7}$	$\frac{1,257}{6,2}$	$\frac{4,987}{3,9}$	$\frac{1,634}{2,7}$	$\frac{-10,456}{4,8}$	$\frac{5,435}{6,7}$	$\frac{-6,726}{5,1}$
56	$\frac{-6,328}{3,9}$	$\frac{5,222}{4,1}$	$\frac{-6,328}{4,1}$	$\frac{-17,893}{5,1}$	$\frac{9,071}{3,7}$	$\frac{-2,724}{4,4}$	$\frac{-2,461}{6,7}$
57	$\frac{-7,209}{6,9}$	$\frac{-5,607}{6,3}$	$\frac{10,257}{4,1}$	$\frac{8,626}{8,2}$	$\frac{-17,448}{6,3}$	$\frac{7,169}{5,9}$	$\frac{-1,583}{8,2}$
58	$\frac{-2,336}{6,2}$	$\frac{-1,205}{1,5}$	$\frac{-3,261}{2,4}$	$\frac{-4,428}{3,6}$	$\frac{-4,39}{2,9}$	$\frac{7,663}{5,2}$	$\frac{-6,481}{4,7}$
59	$\frac{-7,258}{2,6}$	$\frac{-3,204}{4,8}$	$\frac{0,127}{1,3}$	$\frac{-3,963}{9,7}$	$\frac{-4,859}{4,6}$	$\frac{4,752}{5,2}$	$\frac{-1,556}{1,5}$
60	$\frac{-5,668}{10,2}$	$\frac{-4,238}{6,2}$	$\frac{-1,024}{2,4}$	$\frac{-2,481}{4,8}$	$\frac{-6,341}{6,7}$	$\frac{7,353}{11,4}$	$\frac{-3,168}{13,5}$

Таблицы вариантов взяты из «Практикум к выполнению лабораторных работ по теме «Нивелирование III класса» по дисциплине «Геодезия» для обучающихся по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» Калачева Н.А., Гугуева О.А., Гермак О.В. – Ростов – на – дону: ДГТУ, 2017. – 31с.»