Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет
Факультет транспортных коммуникаций
Кафедра «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»

Отчет
по лабораторной работе №3(часть1)
«Уравнивание минимально-ограниченной и свободной нивелирных сетей»
Вариант №3

Выполнил: ст.гр. 11405118
Авхутский Н.Г.
Проверил: старший преподаватель
Будо А.Ю.

Цель: выполнить уравнивание минимально-ограниченной и свободной нивелирных сетей. Произвести оценку точности полученных результатов, выполнить статистический тест на наличие грубых ошибок в результатах измерений.

Исходные данные, использованные в ходе лабораторной работы, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

От	до	h, м	S,км	Класс
M01	Rp1	0,543	3,4	IV
Rp1	Rp2	-1,418	5,6	IV
Rp2	Rp3	2,336	2,7	IV
Rp3	M02	-2,479	5,2	IV
Rp4	Rp1	0,762	5	IV
Rp2	Rp4	0,691	2,7	IV
Rp4	Rp3	1,665	2,6	IV
M02	Rp4	0,806	5,4	IV
Высотные отметки исходных точек H, м				
H_{M01}=			102,566	

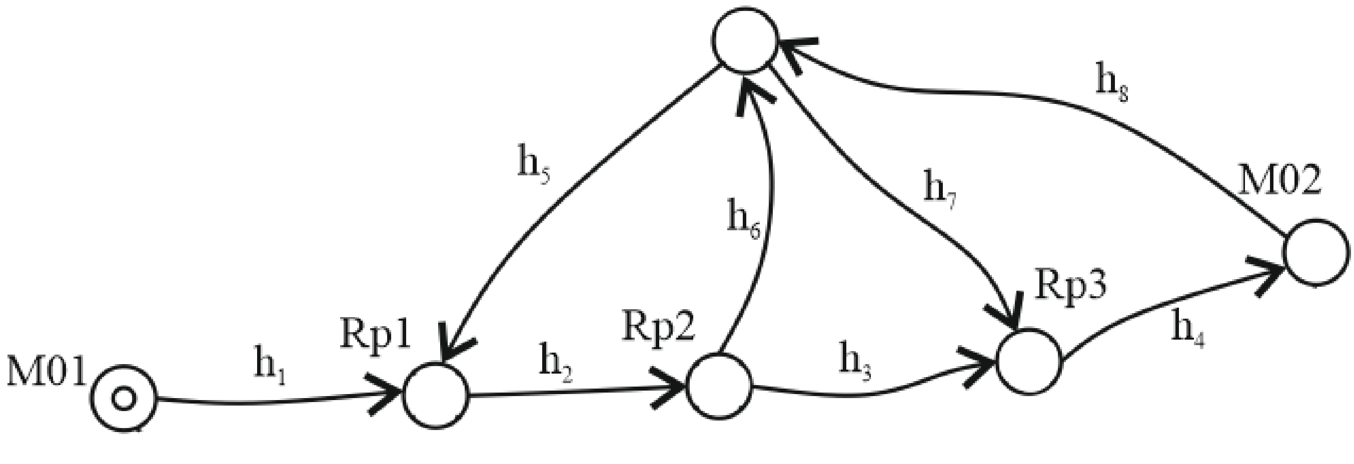

Рисунок 1 – Схема нивелирной сети

1.УРАВНИВАНИЕ МИНИМАЛЬНО-ОГРАНИЧЕННОЙ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ

Назначим параметры

$$z_1 = H^0_{Rp1} = H_{M\,01} + h_1$$
$$z_2 = H^0_{Rp2} = H_{M\,01} + h_1 + h_2$$
$$z_3 = H^0_{Rp3} = H_{M\,01} + h_1 + h_2 + h_3$$
$$z_4 = H^0_{M\,02} = H_{M\,01} + h_1 + h_2 + h_3 + h_4$$
$$z_5 = H^0_{Rp4} = H_{M\,01} + h_1 - h_5$$
$$z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = z_5 = 0$$

где z – приближенное значение параметра.

Составим параметрические уравнения связи и вычислим приближенные значения измерений

$$h^0_1 = z_1 - H_{M1} \qquad h^0_5 = z_1 - z_5$$
$$h^0_2 = z_2 - z_1 \qquad h^0_6 = z_5 - z_2$$
$$h^0_3 = z_3 - z_2 \qquad h^0_7 = z_3 - z_5$$
$$h^0_4 = z_4 - z_3 \qquad h^0_8 = z_5 - z_4$$

Найдем элементы вектора свободных членов по формуле:

$$l_n = (h_{выч} - h_{изм}) \tag{1.1}$$

№	$h_{выч}$, м	$h_{изм}$, м	l, м
1	-102,566	0,543	-103,109
2	0	-1,418	1,418
3	0	2,336	-2,336
4	0	-2,479	2,479
5	0	0,762	-0,762
6	0	0,691	-0,691
7	0	1,665	-1,665
8	0	0,806	-0,806

Создадим матрицу коэффициентов параметрических уравнений поправок *A*

Для составления матрицы *A* используем формулу переноса ошибок

$$F = f(a,b)$$

$$m_F^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial a}\right)^2 \cdot m_a^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial b}\right)^2 \cdot m_b^2$$

В нашем случае дифференцируем параметрические уравнения связи по каждому параметру. Например, третья строка матрицы А рассчитывается следующим образом:

$h_3 = z_3 - z_2$

$$m_{h_3}^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial z_1}\right)^2 \cdot m_{z_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z_2}\right)^2 \cdot m_{z_2}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z_3}\right)^2 \cdot m_{z_3}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z_4}\right)^2 \cdot m_{z_4}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z_5}\right)^2 \cdot m_{z_5}^2$$

$$= 0^2 \cdot m_{z_1}^2 + (-1)^2 \cdot m_{z_2}^2 + 1^2 \cdot m_{z_3}^2 + 0^2 \cdot m_{z_4}^2 + 0^2 \cdot m_{z_5}^2$$

$0 \quad -1 \quad 1 \quad 0 \quad 0$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

Создадим диагональную матрицу весов P
Где вес рассчитывается по формуле:

$$P = \left(\frac{1}{\sigma_0 \cdot \sqrt{L}}\right)^2 \tag{1.2}$$

где L – длина хода, км.

$$P = \begin{pmatrix} 735 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 446 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 926 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 481 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 500 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 926 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 962 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 463 \end{pmatrix}$$

Контрольные суммы S находим по формуле:

$$S_n = a_{n1} + a_{n2} + a_{n3} + a_{n4} + l_n \tag{1.3}$$

Таблица 2 – Контрольные суммы S

№	S	№	S
1	-102,109	5	-0,762
2	1,418	6	-0,691
3	-2,336	7	-1,665
4	2,479	8	-0,806

Составим матрицу коэффициентов нормальных уравнений N и найдем ее элементы. Матрица коэффициентов нормальных уравнений N имеет вид:

	$a_1]$	$a_2]$	$a_3]$	$a_4]$	$a_5]$	l]	S]	C
$[pa_1$	N_{11}	N_{12}	N_{13}	N_{14}	N_{15}	B_1	S_1	C_1
$[pa_2$	N_{21}	N_{22}	N_{23}	N_{24}	N_{25}	B_2	S_2	C_2
$[pa_3$	N_{31}	N_{32}	N_{33}	N_{34}	N_{35}	B_3	S_3	C_3
$[pa_4$	N_{41}	N_{42}	N_{43}	N_{44}	N_{45}	B_4	S_4	C_4
$[pa_5$	N_{51}	N_{52}	N_{53}	N_{54}	N_{55}	B_5	S_5	C_5

Расчёт матрицы коэффициентов нормальных уравнений N в матричном виде

$$N = A^T \cdot P \cdot A \tag{1.4}$$

Расчёт матрицы свободных членов нормальных уравнений B в матричном виде

$$B = A^T \cdot P \cdot l \tag{1.5}$$

Таблица 3 – Коэффициенты нормальных уравнений

	$a_1]$	$a_2]$	$a_3]$	$a_4]$	$a_5]$	l]	S]	C]
$[pa_1$	1681,72	-446,43	0	0	-500,00	-76829,47	-102,109	-102,109
$[pa_2$	-446,43	2298,28	-925,93	0	-925,93	3435,813	1,418	1,418
$[pa_3$	0	-925,93	2368,23	-480,7	-961,54	-4955,751	-2,336	-2,236
$[pa_4$	0	0	-480,77	943,73	-462,96	1564,975	2,479	2,479
$[pa_5$	-500,00	-925,93	-961,54	-462,9	2850,43	968,999	-0,762	-0,762

Расчитаем вектор высот *H* в матричном виде

$$H = -N^{-1} \cdot B \tag{1.6}$$

$$H=\begin{pmatrix}103,109\\101,679\\104,020\\101,547\\102,358\end{pmatrix}$$

Далее вычисляем уравненные превышения

$$h_1^{yp}=H_{Rp1}-H_{M1}\qquad h_5^{yp}=H_{Rp1}-H_{Rp4}$$
$$h_2^{yp}=H_{Rp2}-H_{Rp1}\qquad h_6^{yp}=H_{Rp4}-H_{Rp2}$$
$$h_3^{yp}=H_{Rp3}-H_{Rp2}\qquad h_7^{yp}=H_{Rp3}-H_{Rp4}$$
$$h_4^{yp}=H_{M2}-H_{Rp3}\qquad h_8^{yp}=H_{Rp4}-H_{M2}$$

Вычисляем уравненные поправки

$$v_n=h_n^{yp}-h_n \tag{1.7}$$

$$h^{yp}=\begin{pmatrix}0,543\\-1,430\\2,342\\-2,474\\0,751\\0,679\\1,662\\0,811\end{pmatrix}м\qquad v=\begin{pmatrix}0,000\\-0,012\\0,006\\0,005\\-0,011\\-0,012\\-0,003\\0,005\end{pmatrix}м$$

Проверяем отметки реперов вычислив их несколькими способами, т.е. через разные превышения:

$$\begin{cases}H_{Rp4}=H_{M1}+h_1^{yp}-h_5^{yp}=102,358\text{м}\\H_{Rp4}=H_{M1}+h_1^{yp}+h_2^{yp}+h_6^{yp}=102,358\text{м}\\H_{Rp4}=H_{M1}+h_1^{yp}+h_2^{yp}+h_3^{yp}+h_4^{yp}+h_8^{yp}=102,358\text{м}\end{cases}$$

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МИНИМАЛЬНО-ОГРАНИЧЕННОГО УРАВНИВАНИЯ

Рассчитаем ковариационную матрицу уравненных превышений

$$Q_{yp}^{h}=A\cdot N^{-1}\cdot A^{T} \tag{1.8}$$

$$Q_{yp}^{h}=\begin{pmatrix} 0.0014 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0012 & -0.0003 & -0.0003 & -0.0006 & -0.0006 & 0.0001 & 0.0002 \\ 0 & -0.0003 & 0,0007 & -0.0002 & -0.0001 & 0.0001 & 0.0003 & -0.0001 \\ 0 & -0.0003 & -0.0002 & 0,0012 & 0.0002 & 0.0002 & -0.0003 & -0.0006 \\ 0 & -0.0006 & -0.0001 & 0.0002 & 0,0012 & -0.0008 & 0.0002 & -0.0004 \\ 0 & -0.0004 & 0.0003 & 0.0001 & -0.0002 & 0,0006 & -0.0003 & 0.0002 \\ 0 & 0.0001 & 0.0003 & -0.0003 & 0.0002 & -0.0002 & 0.0006 & -0.0002 \\ 0 & 0.0002 & -0.0001 & -0.0006 & -0.0004 & 0.0004 & -0.0002 & 0,0012 \end{pmatrix}$$

Рассчитаем ковариационную матрицу уравненных отметок реперов

$$Q_{yp}^{H}=N^{-1} \tag{1.9}$$

$$Q_{yp}^{H}=\begin{pmatrix} 0.0014 & 0.0014 & 0.0014 & 0.0014 & 0.0014 \\ 0.0014 & 0.0026 & 0.0024 & 0.0023 & 0.0023 \\ 0.0014 & 0.0024 & 0.0029 & 0.0027 & 0.0024 \\ 0.0014 & 0.0023 & 0.0027 & 0.0036 & 0.0025 \\ 0.0014 & 0.0023 & 0.0024 & 0.0025 & 0.0025 \end{pmatrix}$$

СКП единицы веса

$$\mu=\sqrt{\frac{V^{T}\cdot P\cdot V}{N-t}} \tag{1.10}$$

$V^{T}\cdot P\cdot V=0,318$

$\mu=0,325$

СКП превышений

$$\begin{pmatrix} m_{h_1} \\ m_{h_2} \\ m_{h_3} \\ m_{h_4} \\ m_{h_5} \\ m_{h_6} \\ m_{h_7} \\ m_{h_8} \end{pmatrix}=\mu\cdot\begin{pmatrix} \sqrt{Q_{yp11}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp22}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp33}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp44}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp55}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp66}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp77}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp88}^{h}} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 0,0139 \\ 0,0148 \\ 0,0120 \\ 0,0146 \\ 0,0138 \\ 0,0116 \\ 0,0114 \\ 0,0139 \end{pmatrix}$$

СКП реперов

$$\begin{pmatrix} m_{H_1} \\ m_{H_2} \\ m_{H_3} \\ m_{H_4} \\ m_{H_5} \end{pmatrix} = \mu \cdot \begin{pmatrix} \sqrt{Q^H_{yp11}} \\ \sqrt{Q^H_{yp22}} \\ \sqrt{Q^H_{yp33}} \\ \sqrt{Q^H_{yp44}} \\ \sqrt{Q^H_{yp55}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0{,}0120 \\ 0{,}0165 \\ 0{,}0175 \\ 0{,}0196 \\ 0{,}0164 \end{pmatrix}$$

2.УРАВНИВАНИЕ СВОБОДНОЙ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ

В отличие от минимально-ограниченного уравнивания, в свободном уравнивании нет исходных пунктов.

Таблица 2. Исходные данные

От	до	h, м	S,км	Класс
M01	Rp1	0,543	3,4	IV
Rp1	Rp2	-1,418	5,6	IV
Rp2	Rp3	2,336	2,7	IV
Rp3	M02	-2,479	5,2	IV
Rp4	Rp1	0,762	5	IV
Rp2	Rp4	0,691	2,7	IV
Rp4	Rp3	1,665	2,6	IV
M02	Rp4	0,806	5,4	IV

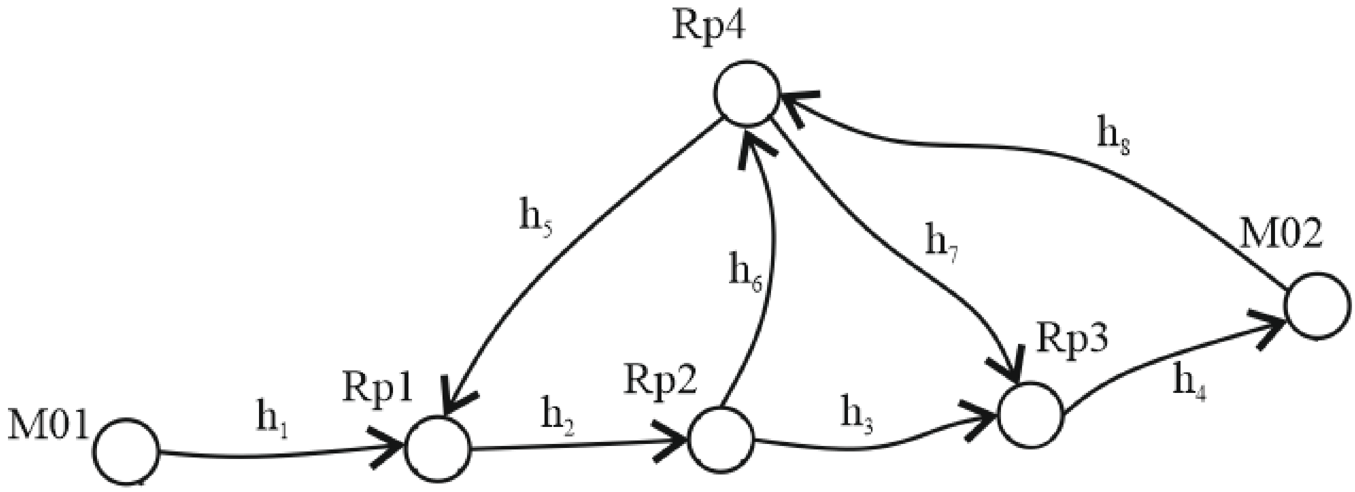

Рисунок 2 – Схема нивелирной сети

Назначим параметр

$$z_1 = H^0_{M01}$$
$$z_2 = H^0_{Rp1}$$
$$z_3 = H^0_{Rp2}$$
$$z_4 = H^0_{Rp3}$$
$$z_5 = H^0_{M02}$$
$$z_6 = H^0_{Rp4}$$
$$z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = z_5 = z_6 = 0$$

где z – приближенное значение параметра.

Составим параметрические уравнения связи и вычислим приближенные значения измерений

$$h^0_1 = z_2 - z_1 \qquad h^0_5 = z_2 - z_6$$
$$h^0_2 = z_3 - z_2 \qquad h^0_6 = z_6 - z_3$$
$$h^0_3 = z_4 - z_3 \qquad h^0_7 = z_4 - z_6$$
$$h^0_4 = z_5 - z_4 \qquad h^0_8 = z_6 - z_5$$

Найдем элементы вектора свободных членов по формуле:

$$l_n = (h_{выч} - h_{изм}) \tag{2.1}$$

№	$h_{выч}$, м	$h_{изм}$, м	l, м
1	0	0,543	-0,543
2	0	-1,418	1,418
3	0	2,336	-2,336
4	0	-2,479	2,479
5	0	0,762	-0,762
6	0	0,691	-0,691
7	0	1,665	-1,665
8	0	0,806	-0,806

Создадим матрицу коэффициентов параметрических уравнений поправок *A*

Для составления матрицы *A* используем формулу переноса ошибок

$$F = f(a,b)$$

$$m_F^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial a}\right)^2 \cdot m_a^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial b}\right)^2 \cdot m_b^2$$

В нашем случае дифференцируем параметрические уравнения связи по каждому параметру. Например, третья строка матрицы А рассчитывается следующим образом:

$h_2 = z_3 - z_2$

$$m_{h_2}^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial z_1}\right)^2 \cdot m_{z_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z_2}\right)^2 \cdot m_{z_2}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z_3}\right)^2 \cdot m_{z_3}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z_4}\right)^2 \cdot m_{z_4}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z_5}\right)^2 \cdot m_{z_5}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z_6}\right)^2 \cdot m_{z_6}^2$$

$$= 0^2 \cdot m_{z_1}^2 + (-1)^2 \cdot m_{z_2}^2 + 1^2 \cdot m_{z_3}^2 + 0^2 \cdot m_{z_4}^2 + 0^2 \cdot m_{z_5}^2 + 0^2 \cdot m_{z_6}^2$$

$0 \quad -1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0$

$$A = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

Создадим диагональную матрицу весов P
Где вес рассчитывается по формуле:

$$P = \left(\frac{1}{\sigma_0 \cdot \sqrt{L}}\right)^2 \tag{2.2}$$

где L – длина хода, км.

$$P = \begin{pmatrix} 735 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 446 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 926 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 481 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 500 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 926 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 962 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 463 \end{pmatrix}$$

Контрольные суммы S находим по формуле:

$$S_n = a_{n1} + a_{n2} + a_{n3} + a_{n4} + l_n \tag{2.3}$$

Таблица 2 – Контрольные суммы S

№	S	№	S
1	-0,543	5	-0,762
2	1,418	6	-0,691
3	-2,336	7	-1,665
4	2,479	8	-0,806

Составим матрицу коэффициентов нормальных уравнений N и найдем ее элементы. Матрица коэффициентов нормальных уравнений N имеет вид:

	a_1]	a_2]	a_3]	a_4]	a_5]	l]	S]	C
[pa_1	N_{11}	N_{12}	N_{13}	N_{14}	N_{15}	B_1	S_1	C_1
[pa_2	N_{21}	N_{22}	N_{23}	N_{24}	N_{25}	B_2	S_2	C_2
[pa_3	N_{31}	N_{32}	N_{33}	N_{34}	N_{35}	B_3	S_3	C_3
[pa_4	N_{41}	N_{42}	N_{43}	N_{44}	N_{45}	B_4	S_4	C_4
[pa_5	N_{51}	N_{52}	N_{53}	N_{54}	N_{55}	B_5	S_5	C_5

Расчёт матрицы коэффициентов нормальных уравнений N в матричном виде

$$N = A^T \cdot P \cdot A \tag{2.4}$$

Расчёт матрицы свободных членов нормальных уравнений B в матричном виде

$$B = A^T \cdot P \cdot l \tag{2.5}$$

Таблица 3 – Коэффициенты нормальных уравнений

	a_1]	a_2]	a_3]	a_4]	a_5]	a_6]	l]	S]	C]
[pa_1	735,29	-735,29	0	0	0	0	399,26	-0,543	-0,543
[pa_2	-735,29	1681,72	-446,43	0	0	-500,00	-1413,30	1,418	1,418
[pa_3	0	-446,43	2298,28	-925,93	0	-925,93	3435,81	-2,336	-2,336
[pa_4	0	0	-925,93	2368,23	-480,77	-961,54	-4955,75	2,479	2,479
[pa_5	0	0	0	-480,77	943,73	-462,96	1564,98	-0,762	-0,762
[pa_6	0	-500,00	-925,93	-961,54	-462,96	2850,43	969,00	-0,691	-0,691

Найдем псевдообратную матрицу N^+

$$N^+ = (A^T \cdot P \cdot A + E^T \cdot E)^{-1} - E^T (E \cdot E^T \cdot E \cdot E^T)^{-1} \cdot E \tag{2.6}$$

$$N^{+} = \begin{pmatrix} 0,0015 & 0,0003 & -0,0004 & -0,0005 & -0,0006 & -0,0004 \\ 0,0003 & 0,0006 & -0,0001 & -0,0003 & -0,0004 & -0,0001 \\ -0,0004 & -0,0001 & 0,0004 & 0,0001 & 0,0001 & 0,0001 \\ -0,0005 & -0,0003 & 0,0001 & 0,0004 & 0,0001 & 0,0001 \\ -0,0006 & -0,0004 & -0,0001 & 0,0001 & 0,0009 & 0,0000 \\ -0,0004 & -0,0001 & 0,0001 & 0,0001 & 0,0000 & 0,0003 \end{pmatrix}$$

Расчитаем поправки к параметрам X:

$$X = N^{+} \cdot A^{T} \cdot P \cdot L \tag{2.7}$$

$$X = \begin{pmatrix} H_{M01} \\ H_{Rp1} \\ H_{Rp2} \\ H_{Rp3} \\ H_{M02} \\ H_{Rp4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0,0196 \\ -0,5626 \\ 0,8678 \\ -1,4738 \\ 0,9999 \\ 0,1884 \end{pmatrix}$$

Далее найдем вектор-столбец поправок в измерения V:

$$AX + L = V \tag{2.8}$$

$$V = \begin{pmatrix} 0,0000 \\ 0,0124 \\ -0,0056 \\ -0,0053 \\ 0,0110 \\ 0,0116 \\ 0,0028 \\ -0,0055 \end{pmatrix}$$

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СПОСОБА УРАВНИВАНИЯ

СКП единицы веса

$$\mu = \sqrt{\frac{V^{T} \cdot P \cdot V}{N - t + 1}} \tag{2.9}$$

$V^{T} \cdot P \cdot V = 0,318$

$\mu = 0,325$

Рассчитаем ковариационную матрицу уравненных превышений

$$Q^{h}_{yp} = A \cdot N^{+} \cdot A^{T} \tag{2.10}$$

$$Q_{yp}^{h} = \begin{pmatrix} 0.0014 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0012 & -0.0003 & -0.0003 & -0.0006 & -0.0006 & 0.0001 & 0.0002 \\ 0 & -0.0003 & 0,0007 & -0.0002 & -0.0001 & 0.0001 & 0.0003 & -0.0001 \\ 0 & -0.0003 & -0.0002 & 0,0012 & 0.0002 & 0.0002 & -0.0003 & -0.0006 \\ 0 & -0.0006 & -0.0001 & 0.0002 & 0,0012 & -0.0008 & 0.0002 & -0.0001 \\ 0 & -0.0004 & 0.0003 & 0.0001 & -0.0002 & 0,0006 & -0.0003 & 0.0001 \\ 0 & 0.0001 & 0.0003 & -0.0003 & 0.0002 & -0.0002 & 0.0006 & -0.0003 \\ 0 & -0.0001 & -0.0002 & -0.0006 & -0.0001 & 0.0001 & -0.0003 & 0,0012 \end{pmatrix}$$

Рассчитаем ковариационную матрицу уравненных отметок реперов

$$Q_{yp}^{H} = N^{+} \tag{2.11}$$

$$Q_{yp}^{H} = \begin{pmatrix} 0,0015 & 0,0003 & -0,0004 & -0,0005 & -0,0006 & -0,0004 \\ 0,0003 & 0,0006 & -0,0001 & -0,0003 & -0,0004 & -0,0001 \\ -0,0004 & -0,0001 & 0,0004 & 0,0001 & 0,0001 & 0,0001 \\ -0,0005 & -0,0003 & 0,0001 & 0,0004 & 0,0001 & 0,0001 \\ -0,0006 & -0,0004 & -0,0001 & 0,0001 & 0,0009 & 0,0000 \\ -0,0004 & -0,0001 & 0,0001 & 0,0001 & 0,0000 & 0,0003 \end{pmatrix}$$

СКП превышений

$$\begin{pmatrix} m_{h_1} \\ m_{h_2} \\ m_{h_3} \\ m_{h_4} \\ m_{h_5} \\ m_{h_6} \\ m_{h_7} \\ m_{h_8} \end{pmatrix} = \mu \cdot \begin{pmatrix} \sqrt{Q_{yp11}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp22}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp33}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp44}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp55}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp66}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp77}^{h}} \\ \sqrt{Q_{yp88}^{h}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,012 \\ 0,011 \\ 0,008 \\ 0,011 \\ 0,011 \\ 0,008 \\ 0,008 \\ 0,011 \end{pmatrix}$$

СКП реперов

$$\begin{pmatrix} m_{H_1} \\ m_{H_2} \\ m_{H_3} \\ m_{H_4} \\ m_{H_5} \\ m_{H_6} \end{pmatrix} = \mu \cdot \begin{pmatrix} \sqrt{Q^{H}_{ур11}} \\ \sqrt{Q^{H}_{ур22}} \\ \sqrt{Q^{H}_{ур33}} \\ \sqrt{Q^{H}_{ур44}} \\ \sqrt{Q^{H}_{ур55}} \\ \sqrt{Q^{H}_{ур66}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0{,}012 \\ 0{,}008 \\ 0{,}007 \\ 0{,}007 \\ 0{,}010 \\ 0{,}006 \end{pmatrix}$$

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ТЕСТ

Для оценки теоретического значения стандарта по статистическим таблицам, определяется величина χ^2. Для нижнего интервала χ_1^2 при P_1=1-(q/2), и для верхнего χ_2^2 при P_2=(q/2).

$$\chi_2^2 = ХИ2ОБР(1-0.05/2;3)$$

$$\chi_1^2 = ХИ2ОБР(0.05/2;3)$$

Об отсутствии грубых ошибок можно судить по условию:

$$\chi_1^2 \le \mu^2 \le \chi_2^2$$

$$\chi_1^2 = 0.21579528$$

$$\chi_1^2 = 9.34840360$$

Вывод: В данной работе было выполнено уравнивание минимально-ограниченной и свободной нивелирных сетей, вычислены уравненные высотные отметки. Произведена оценка точности полученных результатов и проверено наличие грубых ошибок с помощью статистического теста, который не выявил грубых ошибок в измерениях.