

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

Отчет
по лабораторной работе №4
«Уравнивание ГНСС измерений»
Вариант №3

Выполнил: ст.гр.11405118
Вишняков Д.Н.
Проверил: ст. преподаватель
Будо А.Ю.

Минск, 2021

Цель работы: выполнить уравнивание базовых линий ГНСС.

Исходные данные представлены в таблице 1, а измеренные линии приведены в приложении А

Таблица 1

Название пункта	X	Y	Z
Козлово	3160588.107	2036825.323	5134982.406
Белка	3154622.788	2040574.467	5137107.392

Сначала составляем ковариационную матрицу К.

После составляем матрицу весов измерений Р размерности N×N, где N – количество измеренных величин

$$P = K^{-1} \quad (1)$$

Затем составляем матрицу А. Для этого заполняем данную матрицу значениями 1; 0; -1.

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

Далее составляем вектор свободных членов L:

$$\begin{aligned}
L_{\Delta X} &= X_{\text{выч}} - X_{\text{изм}}, \\
L_{\Delta Y} &= Y_{\text{выч}} - Y_{\text{изм}}, \\
L_{\Delta Z} &= Z_{\text{выч}} - Z_{\text{изм}};
\end{aligned}
\tag{2}$$

$$L = \begin{pmatrix} 4118.083824600000 \\ -719.282604600000 \\ -2187.684231000000 \\ 3157982.574715800118 \\ 2041187.983638399979 \\ 5134798.812220199965 \\ 3092.151444000000 \\ 2078.488230900000 \\ -2663.379709400000 \\ 3162100.642755500041 \\ 2040468.663138000062 \\ 5132611.108187099919 \\ 3162100.634578499943 \\ 2040468.667633000063 \\ 5132611.073205400258 \\ -3159008.477762799710 \\ -2038390.180741300108 \\ -5135274.435796200298 \\ -3159008.512671700213 \\ -2038390.219383599935 \\ -5135274.511449200101 \end{pmatrix}$$

Вычисляем вектор свободных поправок в наши измерения:

$$X = -(A^T P A)^{-1} \cdot A^T P L.
\tag{3}$$

$$X = \begin{pmatrix} 3162100.636505041271 \\ 2040468.673371245619 \\ 5132611.081701763906 \\ 3157982.566087765619 \\ 2041187.969279423356 \\ 5134798.791991681792 \\ 3159008.487177125644 \\ 2038390.190316871041 \\ 5135274.455587484874 \end{pmatrix}$$

Определяем вектор поправок по следующей формуле:

$$V = A \cdot X + L.
\tag{4}$$

$$V = \begin{bmatrix} 0.013407324348 \\ 0.013303577737 \\ 0.026058917886 \\ 0.008628034499 \\ 0.014358976623 \\ 0.020228518173 \\ 0.002116084373 \\ 0.005176525422 \\ -0.005823679032 \\ 0.006250458770 \\ -0.010233245557 \\ 0.026485336013 \\ -0.001926541328 \\ -0.005738245556 \\ -0.008496363647 \\ 0.009414325934 \\ 0.009575570934 \\ 0.019791284576 \\ -0.025494574569 \\ -0.029066728894 \\ -0.055861715227 \end{bmatrix}$$

Вычислим СКП

$$\mu = \sqrt{\frac{V^T P V}{N - k}}, \quad (5)$$

где N – число параметров измерений, а k – число определяемых параметров.

$$\mu = 40.016060840361$$

Ковариационная матрица определяемых параметров:

$$Q = (A^T P A)^{-1} \quad (6)$$

Ковариационная матрица измерений

$$Q_y = A Q A^T \quad (7)$$

Вычисляем СКП уравненных параметров

$$m_i = \mu \cdot \sqrt{Q_i} \quad (8)$$

Результат вычислений:

$$\begin{aligned} m_{X_База} &= 0.009439628737, \\ m_{Y_База} &= 0.007948294555, \\ m_{Z_База} &= 0.014347050125; \\ m_{X_0876} &= 0.015721760420, \\ m_{Y_0876} &= 0.012939861813, \\ m_{Z_0876} &= 0.020192259784; \\ m_{X_0687} &= 0.007557573800, \\ m_{Y_0687} &= 0.006628919386, \\ m_{Z_0687} &= 0.012907090482. \end{aligned}$$

Проведем статистический тест Хи-квадрат.

$$\begin{aligned} \chi_{лев}^2 &= ХИ2.ОБР\left(\frac{q}{2}; r\right) = 4.403788506982 \\ \chi_{прав}^2 &= ХИ2.ОБР\left(1 - \frac{q}{2}; r\right) = 23.336664158645 \\ \sqrt{\frac{\chi_{лев}^2}{r}} &\leq \mu \leq \sqrt{\frac{\chi_{прав}^2}{r}} \\ 0,60579 &\leq 40.016061 \leq 1,39453 \end{aligned}$$

То есть статистический тест не выполняется
Коэффициент τ вычисляется по формуле:

$$\tau = \frac{t_{\alpha/2, r-1} \cdot \sqrt{r}}{\sqrt{r-1 + (t_{\alpha/2, r-1})^2}}$$

где r – число степеней свободы;

t – коэффициент студента с вероятностью 95%

$$\tau = 2.518042164717$$

После проведения сравнения нормативных поправок с коэффициентом τ грубых ошибок не выявлено.

То есть статистический тест выполняется

Вывод: в данной работе выполнялось уравнивание базовых линий ГНСС. В ходе оценки точности был проведен статистический тест Хи-квадрат, который

показал, что данные измерения подходят под нормальный закон распределения. Так же было выявлено отсутствие грубых ошибок