

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 №6

Выполнил: ст.гр.11405120  
Серафинович П.А.  
Проверил: ст. преподаватель  
Будо А.Ю.

Минск, 2023

Цель работы: выполнить уравнивание базовых линий ГНСС.

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

Таблица 1

1023	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
SEST	2760131,814	1590488,584	5507184,417
LOM2	2783846,261	1593451,095	5494457,516

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 (приложение В). Для этого заполняем данную матрицу значениями 1; 0; -1.

Далее составляем вектор свободных членов L:

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

В результате получаем матрицу вектора свободных членов:

L=	15857,804744800
	-2850,11180010000
	-7089,054432400
	24407,273097000
	-32351,229152200
	-2859,818244900
	2767097,100015100
	1614808,230207600
	5496655,427494900
	2775646,593252000
	1585307,109351200
	5500884,635214800
	2775646,590483800
	1585307,112563100
	5500884,634035900
	-2751239,317807600
	-1617658,332352100
	-5503744,462318100
	2751239,295240700

1617658,342169900
5503744,481961800
-8549,481257100
29501,116793300
-4229,215667400
2767097,102817800
1614808,226956200
5496655,428997800

Вычисляем вектор свободных поправок в наши измерения:

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

X=	2767097,107298920
	1614808,225419750
	5496655,424633320
	2751239,315466010
	1617658,335092390
	5503744,461884980
	2775646,589174390
	1585307,107740550
	5500884,640846140

Определяем вектор поправок по следующей формуле:

$$V = A \cdot X + L. \quad (4)$$

Вектор поправок представлен в Приложении Г.

Вычислим СКП

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

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

$$\mu = 11,78651513$$

Ковариационная матрица определяемых параметров:

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

Ковариационная матрица измерений

$$Q_y = AQA^T \quad (7)$$

Вычисляем СКП уравненных параметров

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

Результат вычислений:

mxGORN	0,00395045338
myGORN	0,00392912677
mzGORN	0,00722442304
mxMURN	0,00288390857
myMURN	0,00283727296
mzMURN	0,00541911883
mxKRON	0,00322497081
myKRON	0,00318621114
mzKRON	0,00591999189

Проведем статистический тест Хи-квадрат.

$$\chi^2_{лев} = ХИ2.ОБР\left(\frac{q}{2}; r\right) = 8,2307462$$

$$\chi^2_{прав} = ХИ2.ОБР\left(1 - \frac{q}{2}; r\right) = 31,5263784$$

$$\sqrt{\frac{\chi^2_{лев}}{r}} \leq \mu \leq \sqrt{\frac{\chi^2_{прав}}{r}}$$

$$0,676212746 \leq 11,78651513 \leq 1,323429435$$

То есть статистический тест не выполняется

Коэффициент  $\tau$  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%

$$\tau = 2,6754313$$

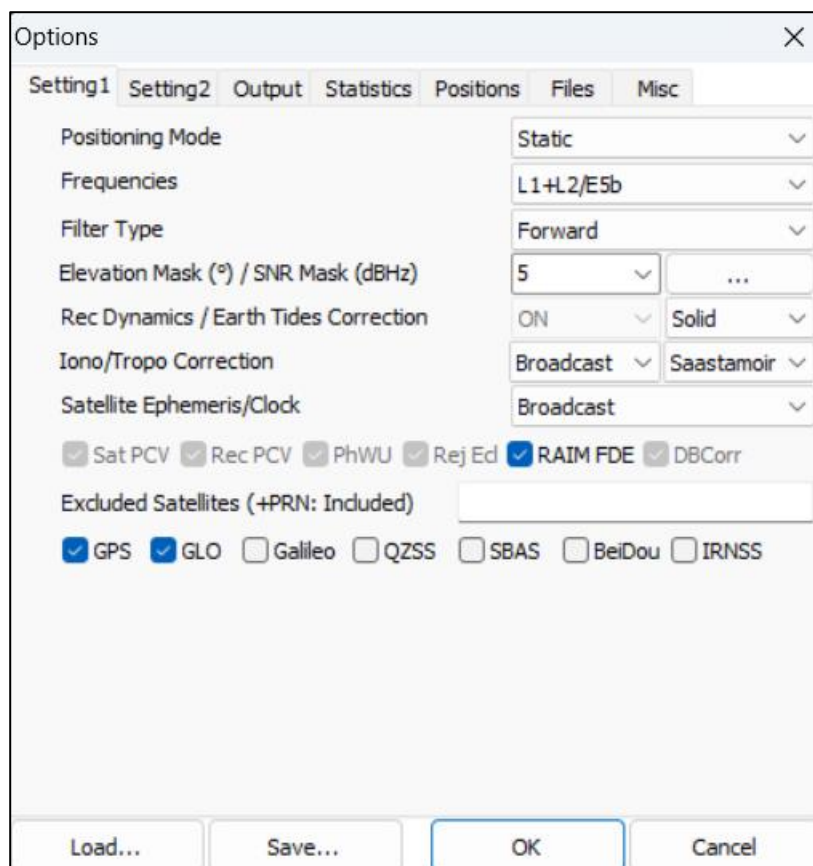
После проведения сравнения нормативных поправок с коэффициентом  $\tau$  грубых ошибок не выявлено.

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.

### Уравнивание базовых линий в RTKPOST

Устанавливаем программу и выполняем настройку, представленную на скриншотах:



Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Integer Ambiguity Res (GPS/GLO/BDS)

Continu 

Fix 

OFF

Ratio to Fix Ambiguity (Min/Nom/Max)

333

GLO HW Bias

0

Min Lock / Elevation (°) to Fix Amb

015

Min Fix / Elevation (°) to Hold Amb

2015

Slip Threshs: Doppler (Hz) / Geom-Free (m)

0.0000.050

Max Age of Diff (s) / Outs to Reset Amb

30.020

Outlier Threshold for Code/Phase (m)

30.05.0

# of Filter Iter / Sync Solution

1ON

☐ Baseline Length Constraint (m)

0.0000.000

Min Fix Sats / Min Hold Sats

45

Min Drop Sats

10

Max Pos Var for AR / AR Filter

0.1000ON

Hold Amb Var / Hold Amb Gain

0.10000.0100

Load...

Save...

OK

Cancel

Options

Setting1 Setting2 Output Statistics Positions Files Misc

Solution Format

X/Y/Z-ECEF

Output Header / Process Options / Vel

ONONOFF

Time Format / # of Decimals

ww ssss GPST3

Latitude Longitude Format / Field Separator

ddd.ddddddd

Output Single if Sol Outage / Max Sol Std (m)

OFF0

Datum / Height

WGS84Ellipsoidal

Geoid Model

Internal

Solution for Static Mode

Single

NMEA Interval (s) RMC/GGA, GSA/GSV

00

Output Solution Status / Output Debug Trace

ResidualsOFF

Load...

Save...

OK

Cancel

Вводим сначала координаты с расширением .06O, затем .06N , из заранее скаченного файла с исходными данными. Результаты уравнивания в программе представлены в приложении Г

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

		$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$m\Delta X$	$m\Delta Y$	$m\Delta Z$	covXY	covXZ	covYZ
GORN	MURN	-15857,8047	2850,1118	7089,054432	0,000988	0,0009854	0,001787	4,9317E-07	5,32284E-07	3,20369E-07
KRON	MURN	-24407,2731	32351,22915	2859,818245	0,0002813	0,000276	0,0005092	3,9463E-08	3,97414E-08	2,24205E-08
GORN	SEST	-6965,28602	-	10528,98951	0,0007948	0,0007886	0,0014336	3,1625E-07	3,43783E-07	2,03146E-07
KRON	LOM2	8199,667748	-	6427,119215	0,0006266	0,0006219	0,0011324	1,9371E-07	2,13987E-07	1,23502E-07
KRON	SEST	-15514,7765	5181,471437	6299,782964	0,0006752	0,0006706	0,0012269	2,2471E-07	2,49012E-07	1,43167E-07
LOM2	MURN	-32606,9432	24207,23735	9286,946318	0,0003031	0,0002973	0,0005823	4,599E-08	5,35228E-08	1,87177E-08
LOM2	SEST	-23714,4443	-	12726,90221	0,0007605	0,0007551	0,0013776	2,86E-07	3,15703E-07	1,82516E-07
MURN	SEST	8892,518759	-	3439,935038	0,0010163	0,0010104	0,0018407	5,1761E-07	5,62512E-07	3,33781E-07
GORN	KRON	8549,481257	-	4229,215667	0,0003291	0,0003309	0,0006107	5,7304E-08	5,94186E-08	3,67126E-08



# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

A=

dx	-1	0	0	1	0	0	0	0	0
dy	0	-1	0	0	1	0	0	0	0
dz	0	0	-1	0	0	1	0	0	0
dx	0	0	0	1	0	0	-1	0	0
dy	0	0	0	0	1	0	0	-1	0
dz	0	0	0	0	0	1	0	0	-1
dx	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
dy	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
dz	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
dx	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
dy	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
dz	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
dx	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
dy	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
dz	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
dx	0	0	0	1	0	0	0	0	0
dy	0	0	0	0	1	0	0	0	0
dz	0	0	0	0	0	1	0	0	0
dx	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
dy	0	0	0	0	-1	0	0	0	0
dz	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
dx	-1	0	0	0	0	0	1	0	0
dy	0	-1	0	0	0	0	0	1	0
dz	0	0	-1	0	0	0	0	0	1
dx	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
dy	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
dz	0	0	-1	0	0	0	0	0	0

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

V =	0,0129118943
	-0,0021274644
	-0,0171807422
	-0,0006113756
	-0,0018003578
	0,0027939338
	-0,0072838161
	0,0047878460
	0,0028615799
	0,0040776143
	0,0016106528
	-0,0056313444
	0,0013094139
	0,0048225527
	-0,0068102442
	-0,0023415899
	0,0027402896
	-0,0004331218
	-0,0202253102
	0,0070775105
	0,0200768225
	0,0006183699
	-0,0008859067
	0,0005454240
	-0,0044811158
	0,0015364459
	0,0043644793

# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Базовые линии		$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$m\Delta X$	$m\Delta Y$	$m\Delta Z$	$r_{XY}$	$r_{YZ}$	$r_{ZX}$
GORN	MURN	2751239,45	1617658,67	5038532,46	0,0004	0,0004	0,0007	0,0002	0,0003	0,0003
		2767097,23	1614808,57	5496655,29						
Приращение		-15857,78	2850,1019	-458122,83						
KRON	MURN	2751239,45	1617658,67	5503744,31	0,0004	0,0004	0,0008	0,0002	0,0002	0,0003
		2775646,72	1585307,46	5500884,52						
Приращение		-24407,267	32351,2087	2859,793						
GORN	SEST	2760131,95	1590488,9	5507184,29	0,0004	0,0004	0,0007	0,0002	0,0003	0,0003
		2767097,24	1614808,54	5496655,28						
Приращение		-6965,2881	-24319,638	10529,007						
KRON	LOM2	2783846,42	1593451,43	5494457,39	0,0004	0,0004	0,0007	0,0002	0,0003	0,0003
		2775646,75	1585307,43	5500884,5						
Приращение		8199,6653	8143,9997	-6427,1086						
KRON	SEST	2760131,95	1590488,9	5507184,29	0,0004	0,0004	0,0007	0,0002	0,0003	0,0003
		2775646,73	1585307,43	5500884,51						
Приращение		-15514,775	5181,4699	6299,7799						
LOM2	MURN	2751239,45	1617658,67	5503744,31	0,0005	0,0004	0,0011	0,0001	-0,0003	0,0005
		2783846,37	1593451,47	5494457,37						
Приращение		-32606,924	24207,2012	9286,9362						
LOM2	SEST	2760131,95	1590488,9	5507184,29	0,0004	0,0004	0,0008	0,0002	0,0003	0,0003
		2783846,39	1593451,43	5494457,4						
Приращение		-23714,441	-2962,5299	12726,8872						
MURN	SEST	2760131,95	1590488,9	5507184,29	0,0004	0,0004	0,0007	0,0002	0,0003	0,0003
		2751239,46	1617658,64	5503744,3						
Приращение		8892,4923	-27169,739	3439,9886						
GORN	KRON	2775646,75	1585307,43	5500884,51	0,0004	0,0004	0,0007	0,0002	0,0003	0,0003
		2767097,26	1614808,54	5496655,29						
Приращение		8549,4874	-29501,107	4229,228						
GORN	LOM2	2783846,42	1593451,43	5494457,39	0,0004	0,0004	0,0007	0,0002	0,0003	0,0003
		2767097,27	1614808,53	5496655,27						
Приращение		16749,1529	-21357,108	-2197,8795						

