

## ОСОБЕННОСТИ КАЛИБРОВКИ ПАРАМЕТРОВ МЕСТНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЛЕВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ

**Будо А.Ю.** старший преподаватель,  
**Куприенко Н.О.** старший преподаватель.  
Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, budo@bntu.by

***Аннотация:** В статье изложен практический пример выполнения калибровки параметров местной системы координат в программном обеспечении TRIMBLE ACCESS и LEICA CAPTIVATE, выполнен сравнительный анализ полученных результатов.*

***Ключевые слова:** местные системы координат, ГНСС-измерения, геодезическое программное обеспечение, параметры пересчета.*

Под калибровкой (локализацией) понимают процесс установления взаимосвязи двух систем координат (общеземной и местной) по набору опорных пунктов, координаты которых есть в обеих системах. Данный процесс выполняется, когда неизвестны параметры связи этих систем координат.

Исходными данными для калибровки являлись пункты, у которых координаты заданы в двух системах:

1. Общеземной системе координат ( $X, Y, Z$  или  $B, L, H$ ) – полученные из спутниковых (ГНСС) измерений (табл.1, колонки 2-4)
2. Локальной/местной системе координат ( $N, E, h$ ) – полученные из каталога координат и измерений на местности (табл.1, колонки 5-7).

Таблица 1.

Координаты пунктов в общеземной и местной системе координат

№	Широта, В°	Долгота, L°	Геодезическая высота, Н (м)	Север, N (м)	Восток, E (м)	Нормальная высота Нп (м)
1	2	3	4	5	6	7
1	55.3009033	37.2175413	223.836	-40724.461	- 17830.162	209.102
2	55.4476963	37.1759876	204.862	-24370.630	- 20393.158	190.258
3	55.4477118	37.1758047	204.867	-24368.844	- 20404.726	190.262
4	55.4512917	37.5387698	180.916	-24017.659	2563.157	166.482
5	55.4795935	37.2984843	199.661	-20848.842	- 12631.364	185.145
6	55.5616587	36.9940047	217.365	-11614.312	- 31816.296	202.796
7	55.5740523	37.6756788	163.734	-10337.213	11191.467	149.695
8	55.5814384	37.5827367	198.460	-9525.737	5328.006	184.329
9	55.6597205	37.4097710	188.690	-809.570	-5568.657	174.306
10	55.6646215	37.5802218	182.623	-264.803	5158.803	168.426
11	55.6760927	37.7211649	131.791	1031.505	14024.513	117.782
12	55.6778094	37.2550613	220.149	1227.975	- 15298.853	205.504
13	55.6811351	37.8939897	197.961	1640.986	24894.234	184.208
14	55.6892839	37.6527052	135.039	2488.601	9714.283	120.892
15	55.7271789	37.4260993	185.713	6699.725	-4532.880	171.075
16	55.7585948	37.7912575	168.785	10233.157	18395.765	154.628
17	55.7987007	37.6140163	178.979	14666.006	7261.156	164.294
18	55.8034338	37.3913796	220.654	15192.585	-6700.956	205.663
19	55.8621101	37.4138285	177.987	21723.498	-5285.018	162.835
20	55.8807865	37.6825342	160.939	23814.434	11534.345	146.086
21	55.8910951	37.3881506	203.209	24952.966	-6887.572	187.962
22	55.9736851	37.9158307	181.765	34220.599	26072.899	166.988

На рисунке 1 приведена схема расположения пунктов.

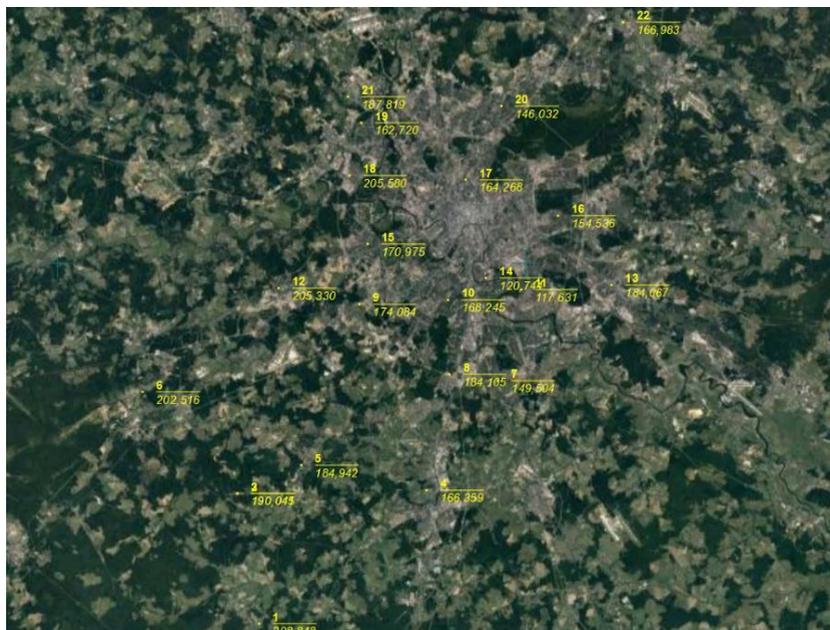


Рис. 1. Схема расположения пунктов

Для обучающей выборки были выбраны 11 пунктов с нечётными номерами, координаты которых загружались в ПО Trimble Access v.2017.00 (13001) контроллера Trimble TCS3.

В настройках ПО не задавались параметры датума и проекции. В автоматическом режиме Trimble Access установил **большую полуось эллипсоида**: 6378137.000 м; **сжатие** 298.2572229329; **тип преобразования ИГД**: три параметра и нулевые сдвиги по осям X, Y, Z; **проекцию**: поперечную Меркатора с параметрами, характеризующими положение первого пункта в выборке:

Условные сдвиг на север: -40724.461м

Условный сдвиг на восток: -17830.162м

Широта начала СК: 55°18'03.25209"С

Осевой меридиан: 37°13'03.14889"В

Масштаб на осевом меридиане: 1.0

Также в ПО Trimble Access были вычислены параметры **коррекции в плане и по высоте (рис.2)**:

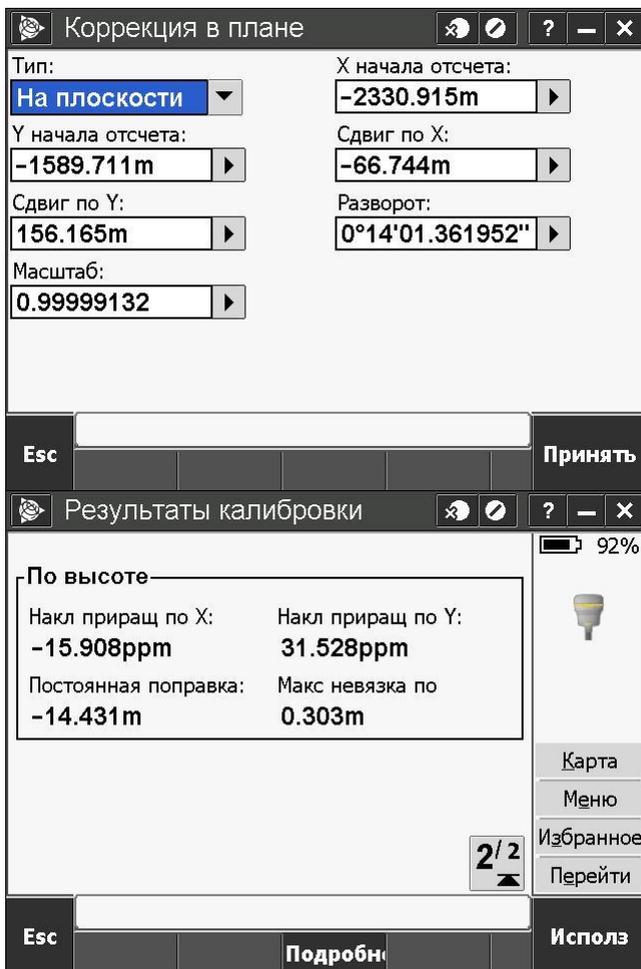


Рис. 2. Вычисленные параметры коррекции в плане и по высоте в Trimble Access

Далее в контроллер был выполнен импорт проверочной выборки, состоящий из пунктов и с чётными номерами и выполнен расчёт плоских координат. Результаты пересчёта представлены в таблице 2 (колонки 2-4). Разности вычисленных координат относительно исходных из таблице 1 (колонки 5-7) представлены в таблице 2 (колонки 5-7). Максимальные положительные и отрицательные погрешности показаны красным цветом.

Таблица 2.

Координаты пунктов и погрешности, вычисленные в Trimble Access

№	Координаты, вычисленные в Trimble Access			Погрешности		
	N (м)	E (м)	Hn (м)	$\Delta N$ (м)	$\Delta E$ (м)	$\Delta H_n$ (м)
1	2	3	4	5	6	7
2	-24370,554	-20393,120	190,090	-0,076	-0,038	0,168
4	-24017,761	2563,139	166,862	0,102	0,018	-0,380
6	-11614,299	-31816,08	202,03	-0,013	-0,216	0,766
8	-9525,801	5328,062	184,263	0,064	-0,056	0,066
10	-264,83	5158,854	168,273	0,027	-0,051	0,153
12	1227,888	-15298,789	205,13	0,087	-0,064	0,374
14	2488,602	9714,346	120,789	-0,001	-0,063	0,103
16	10233,265	18395,848	154,685	-0,108	-0,083	-0,057
18	15192,511	-6701,009	205,684	0,074	0,053	-0,021
20	23814,584	11534,24	146,407	-0,150	0,105	-0,321
22	34221,071	26072,771	167,526	-0,472	0,128	-0,538

Для сравнения координаты 11 пунктов с нечётными номерами из таблицы 1 были проимпортированы в симулятор ПО Leica Captivate v.4.50 (рис.3)

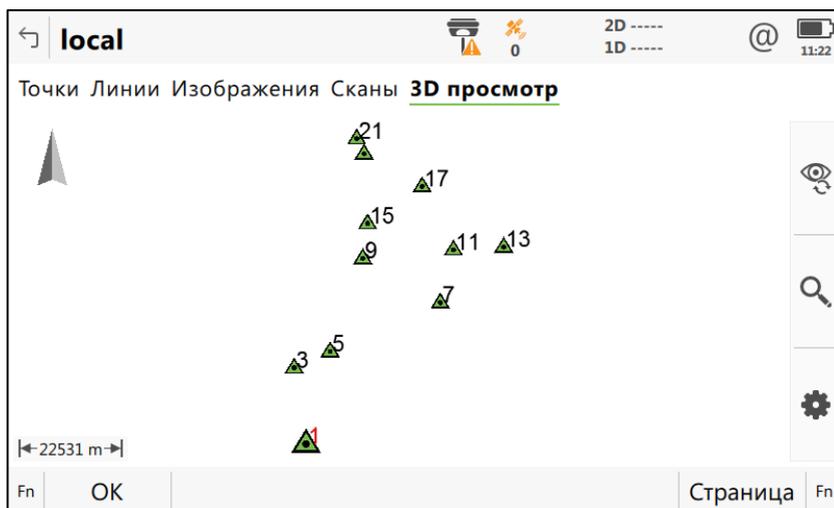


Рис. 3. Расположение пунктов обучающей выборки в ПО Leica Captivate

Далее были определены параметры местной СК методом «1 шаг». Результаты плановой и высотной калибровки представлены на рисунке 4

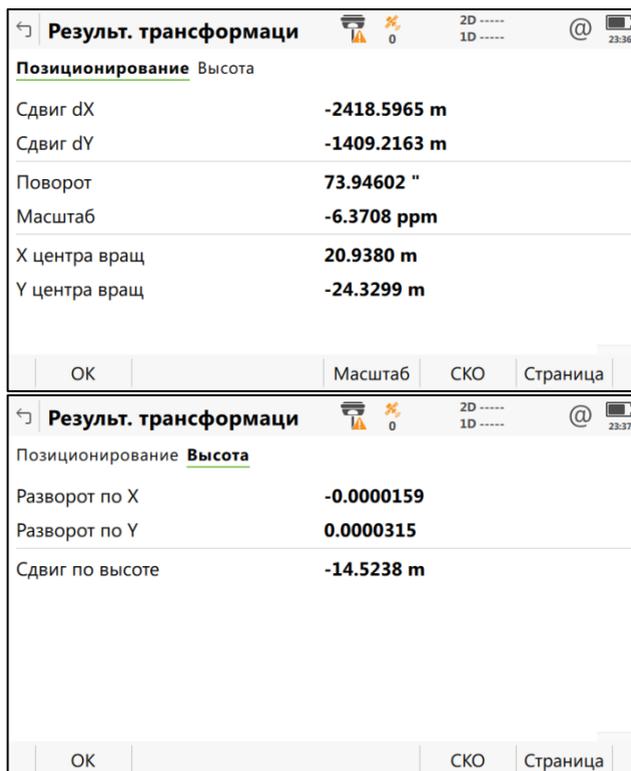


Рис. 4. Вычисленные параметры системы координат в Leica Captivate

Как и Trimble Access в качестве датума ПО Leica Captivate был выбран эллипсоид WGS84 с нулевыми параметрами вращения и сдвига по осям, но в качестве начальных параметров проекции для широты и долготы были вычислены средние арифметические значения из набора исходных широт и долгот соответственно.

Далее в Leica Captivate были введены геодезические координаты 11 точек, имеющих чётные номера, после чего были вычислены их координаты на плоскости в местной СК (табл.3, колонки 2-4). Разности вычисленных координат относительно исходных из

таблицы 1 (колонки 5-7) представлены в таблице 3 (колонки 5-7). Максимальные положительные и отрицательные погрешности показаны красным цветом.

Таблица 3.

Координаты пунктов и погрешности, вычисленные в Leica Captivate

№	Координаты, вычисленные в Leica Captivate			Погрешности		
	N (м)	E (м)	Hn (м)	$\Delta N$ (м)	$\Delta E$ (м)	$\Delta H_n$ (м)
1	2	3	4	5	6	7
2	-24370,626	-20393,151	190,090	-0,004	-0,007	0,168
4	-24017,670	2563,152	166,862	0,011	0,005	-0,380
6	-11614,311	-31816,272	202,030	-0,001	-0,024	0,766
8	-9525,743	5328,007	184,263	0,006	-0,001	0,066
10	-264,805	5158,805	168,273	0,002	-0,002	0,153
12	1227,970	-15298,844	205,130	0,005	-0,009	0,374
14	2488,600	9714,286	120,789	0,001	-0,003	0,103
16	10233,165	18395,766	154,685	-0,008	-0,001	-0,057
18	15192,583	-6700,958	205,684	0,002	0,002	-0,021
20	23814,447	11534,337	146,407	-0,013	0,008	-0,321
22	34220,636	26072,885	167,526	-0,037	0,014	-0,538

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Программное обеспечение геодезических контроллеров позволяет находить калибровку систем координат, выполняя похожие действия, но при этом используя разные алгоритмы поиска параметров.
2. Существующий софт для калибровки СК не идеален. Подход, используемый в ПО Leica Captivate, с расчётом средних арифметических значений широты и долготы для параметров новой создаваемой системы координат, привёл к меньшим значениям погрешностей плановых координат.
3. При использовании сетей референчных станций возникает и будет возникать в дальнейшем необходимость калибровать параметры местных и городских СК
4. Факт существенного расхождения вычисленных результатов в программном обеспечении различных производителей требует дальнейших исследований. Например, отдельно следует рассмотреть возможности предлагаемых

производителями геодезического оборудования методов калибровки в случае, когда параметры проекции и преобразования датума известны до начала работ.