



Дата: 4.12.2023

ПРОТОКОЛ № 13/2023
испытаний метода RTRPPK AR с использованием
стенда испытаний НАП в кинематическом режиме
и средств стенда отработки навигационных технологий

1	Цель испытаний	3
2	Объект испытаний.....	3
3	Средства проведения испытаний	4
4	Время и место проведения испытаний.....	4
5	Режимы работы испытываемой НАП	4
6	Условия проведения испытаний.....	7
7	Результаты испытаний	7
8	Выводы	16

1 ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ

1.1 Целью испытаний являлось тестирование метода высокоточного позиционирования по сигналам ГНСС - RTRPPK AR.

1.2 Задачи испытаний:

- оценка погрешностей определения местоположения методом RTRPPK AR в статическом и кинематическом с использованием сигналов ГНСС ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Beidou;
- оценка погрешностей определения местоположения методом RTRPPK AR в статическом и кинематическом с использованием сигналов только ГНСС ГЛОНАСС.

1.3 Испытания проводились в соответствии с Частным техническим заданием на оказание услуг "Проведение испытаний с использованием Системы независимой оценки потребительских характеристик (СНОПХ) и средств стенда обработки навигационных технологий (СОНТ)" Шифр: "ФЦ-экс (2023) - СНОПХ-1" по обращению АО НПП "Радар ммс".

2 ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ

2.1 Объект испытаний - метод высокоточного позиционирования по сигналам ГНСС в реальном времени с использованием SSR-поправок - RTRPPK AR (от Real-Time Precise Point Positioning in Kinematic mode with Ambiguity Resolution).

2.2 Испытываемый метод реализовывался с использованием макета НАП на базе OEM ГНСС модуля SinoGNSS K803 производства ComNav Technology Ltd. (рисунок 1). В качестве базовой станции и контрольной НАП использовались OEM модули U-Blox ZED-F9P.

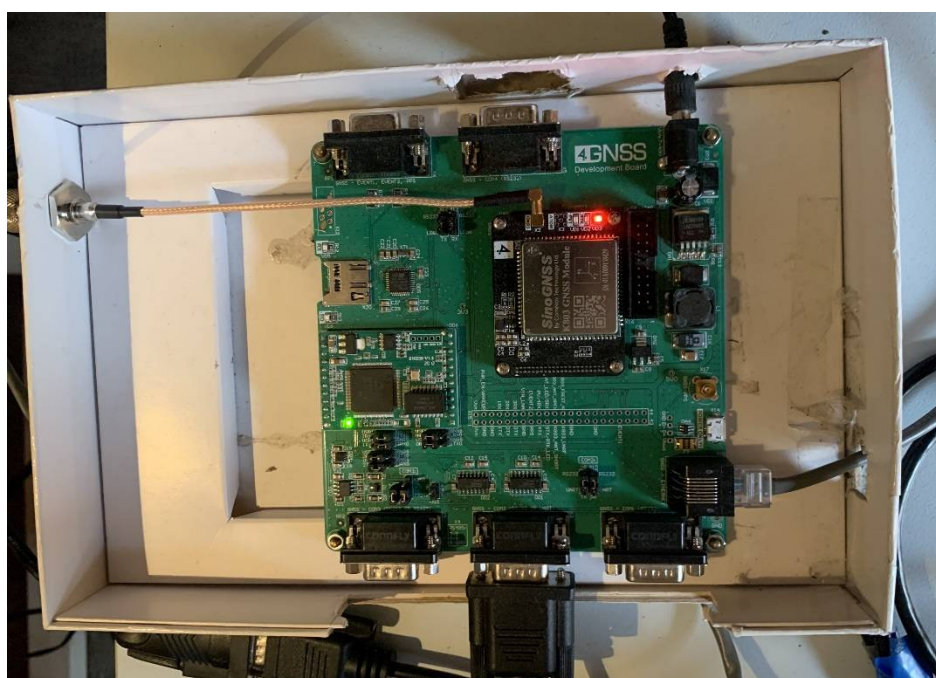


Рисунок 1 Макет НАП

2.3 Комплект аппаратуры, представленный на испытания:

- макет НАП на базе SinoGNSS K803, 1 шт.;
- базовая станция на базе ГНСС-модуля U_Blox ZED-F9P, 1 шт.;
- контрольная НАП на базе ГНСС-модуля U_Blox ZED-F9P, 1 шт.;
- антенна ГНСС navXperience 3G+C, 1 шт.;
- комплект кабелей.

2.4 Комплект аппаратуры на испытания представлен АО НПП "Радар ммс".

3 СРЕДСТВА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

3.1 Стенд испытаний НАП в кинематическом режиме (далее - СИНАКР) ГЮИД.464979.002, заводской номер 074-2003004-01, свидетельство о поверке № С-Т/07-08-2023/267920395 действительно до 06.08.2024 из состава СНОПХ.

3.2 Средства Стенда отработки навигационных технологий (СОНТ).

3.3 Испытания проводились лабораторией 030042 Информационно-аналитического центра координатно-временного обеспечения АО "ЦНИИмаш" (ИАЦ КВНО) при участии представителей АО НПП "Радар ммс".

Контактная информация:

ИАЦ КВНО АО "ЦНИИмаш":

Адрес: Московская область, г. Королев, ул. Пионерская, д. 4

Телефон: (495) 513-58-33

E-mail: midl@glonass-iac.ru

Научно-технический и координационный центр АО "НПП "Радар ммс" (НТКЦ)

105275, г. Москва, ш. Энтузиастов, д.29, корп. 4-5

Телефон: (499) 781-69-98

E-mail: ntkc.moscow@radar-mms.com

4 ВРЕМЯ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

4.1 Испытания проводились 13.11.23, 15.11.23 и 17.11.2023.

4.2 Место проведения испытаний: г. Королев Московской области, АО "ЦНИИмаш".

5 РЕЖИМЫ РАБОТЫ ИСПЫТЫВАЕМОЙ НАП

5.1 ГНСС-антенна 3G+C, к которой был подключен макет НАП, была установлена с помощью адаптера на инструментальном фланце робота-манипулятора из состава СИНАКР.



Рисунок 2 Антенна 3G+С на работе-манипуляторе в точке статики

5.2 При испытаниях в статическом режиме антенна НАП устанавливалась в верхнее положение (рисунок 2, далее - точка статики).

5.3 При испытаниях в кинематическом режиме антенна НАП переводилась в начальную точку кинематики и далее перемещалась циклически в течение 5 минут по схеме, показанной на рисунке 3. Каждый цикл перемещений включал в себя элементы:

1. Перемещение в горизонтальной плоскости по круговой траектории большого радиуса против часовой стрелки на 360° .
2. Подъем на ~ 0.5 м.
3. Перемещение в горизонтальной плоскости по круговой траектории малого радиуса по часовой стрелке на 360° .
4. Опускание на ~ 0.5 м (возврат в начальную точку кинематики).

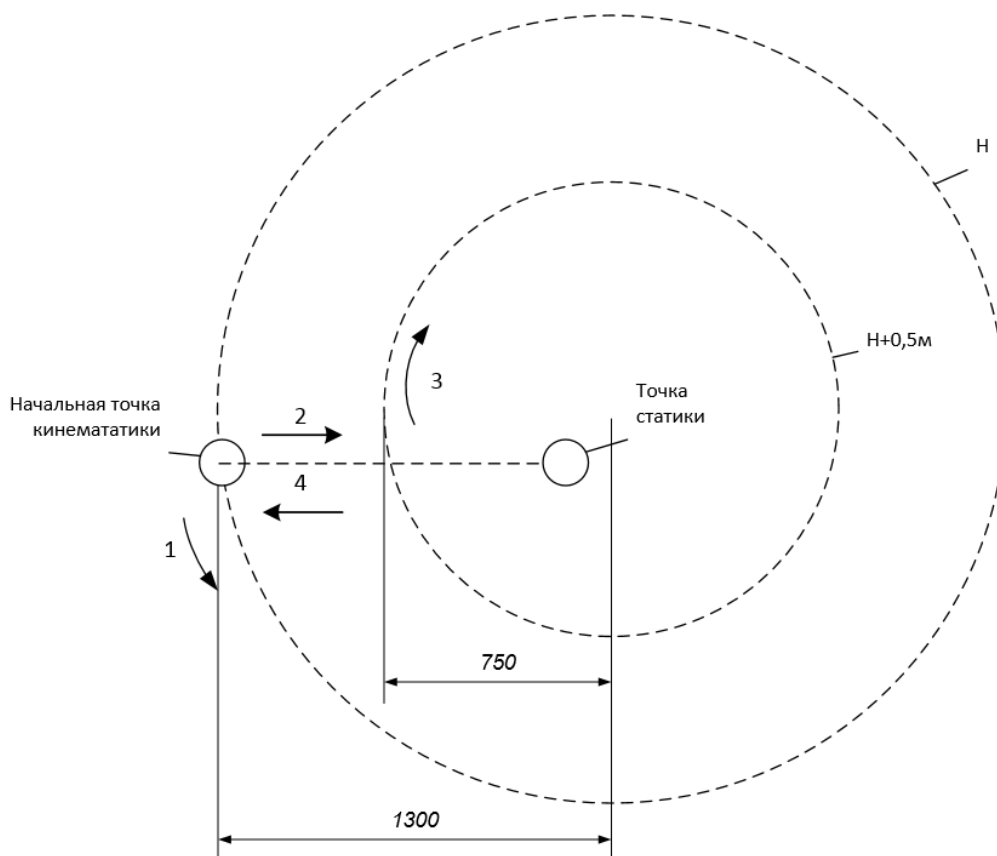


Рисунок 3 Схема перемещения антенны НАП в кинематическом режиме

5.4 При испытаниях НАП принимала последовательно два вида поправок:

- Поправки OSR (от англ. Observation Space Representation) от временной базовой станции.
- Поправки SSR (от англ. State Space Representation) от сервисов высокоточного позиционирования.

5.5 Координаты определялись для фазового центра антенны ГНСС.

5.6 Режим позиционирования НАП - по всем ГНСС, интервал выдачи показаний - 1 с.

5.7 Базовая станция работала от антенны RingAnt-G3T (Javad GNSS) из состава средств ИАЦ КВНО, установленной на антенной площадке на крыше здания. Расстояние от антенны до робота-манипулятора - 24 м.

5.8 В процессе испытаний выполнено пять тестов, отличающихся режимом движения антенны НАП, настройками базовой станции и источником SSR-поправок. Перечень тестов приведен в таблице 1.

Таблица 1. Перечень выполненных тестов

Тест	Дата	Режим движения	Длительность,	Эпоха координат базы RTK	Источник SSR-поправок	Используемые ГНСС
1	13.11.2023	Статика+ Кинематика	1ч 10м	01.2011 ¹	ООО "Геостар"	ГЛОНАСС, GPS, Galileo
2	15.11.2023	Статика (БС RTK)	1ч30м	01.2011 ²	ООО "Геостар"	ГЛОНАСС, GPS, Galileo
3	15.11.2023	Статика (БС RTK)	42 мин	01.2011 ²	ООО "Геостар"	ГЛОНАСС
4	17.11.2023	Статика (СИНАКР)	31 мин	11.2023 ²	ООО "Геостар"	ГЛОНАСС, GPS, Galileo
5	17.11.2023	Статика+ Кинематика	1ч 49м	01.2011 ²	АО "ГЛОНАСС"	ГЛОНАСС, GPS, Galileo
<p>Примечания:</p> <p>1 - координаты определялись методом RTK от БС системы EFT с использованием базовой НАП ZED-F9P; расстояние ~30 км, усреднение 30 с.</p> <p>2 - координаты определялись относительным методом в постобработке от БС системы EFT (расстояние 30 км) по часовому файлу измерений, записанному приемником из состава СОНТ.</p>						

6 УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

6.1 Состояние группировок ГНСС в период проведения испытаний приведено в таблице 2 (по данным сайта ИАЦ КВНО - <https://glonass-iac.ru>).

Таблица 2. Состояние орбитальных группировок ГНСС

ГНСС	GPS	ГЛОНАСС	Beidou	Galileo
Количество НКА, используемых по целевому назначению	31	24	42	23

7 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

7.1 В тестах 1-4 после перевода НАП К803 в режим местоопределений методом RTRPPK AR данный режим сохранялся в течение всего теста.

7.2 В тесте 5 через 4 минуты после установления режима RTRPPK AR НАП на ~50 с перешла в режим SPP. В этом случае ввиду потерь целочисленных неоднозначностей фазовых измерений прекращается работа в режиме RTRPPK AR. Соответственно данный тест в оценке точности метода не учитывался. Вероятная причина выхода НАП из режима RTRPPK AR - сбой в передаче поправок SSR.

7.3 Треки (местоопределения) в плане и графики высоты, построенные по измерениям НАП, на фоне треков (координат) испытательного стенда показаны на

рисунках 4-7. На рисунках верхний график - плановые координаты в местной системе координат (м), нижний - высота от эллипсоида (м).

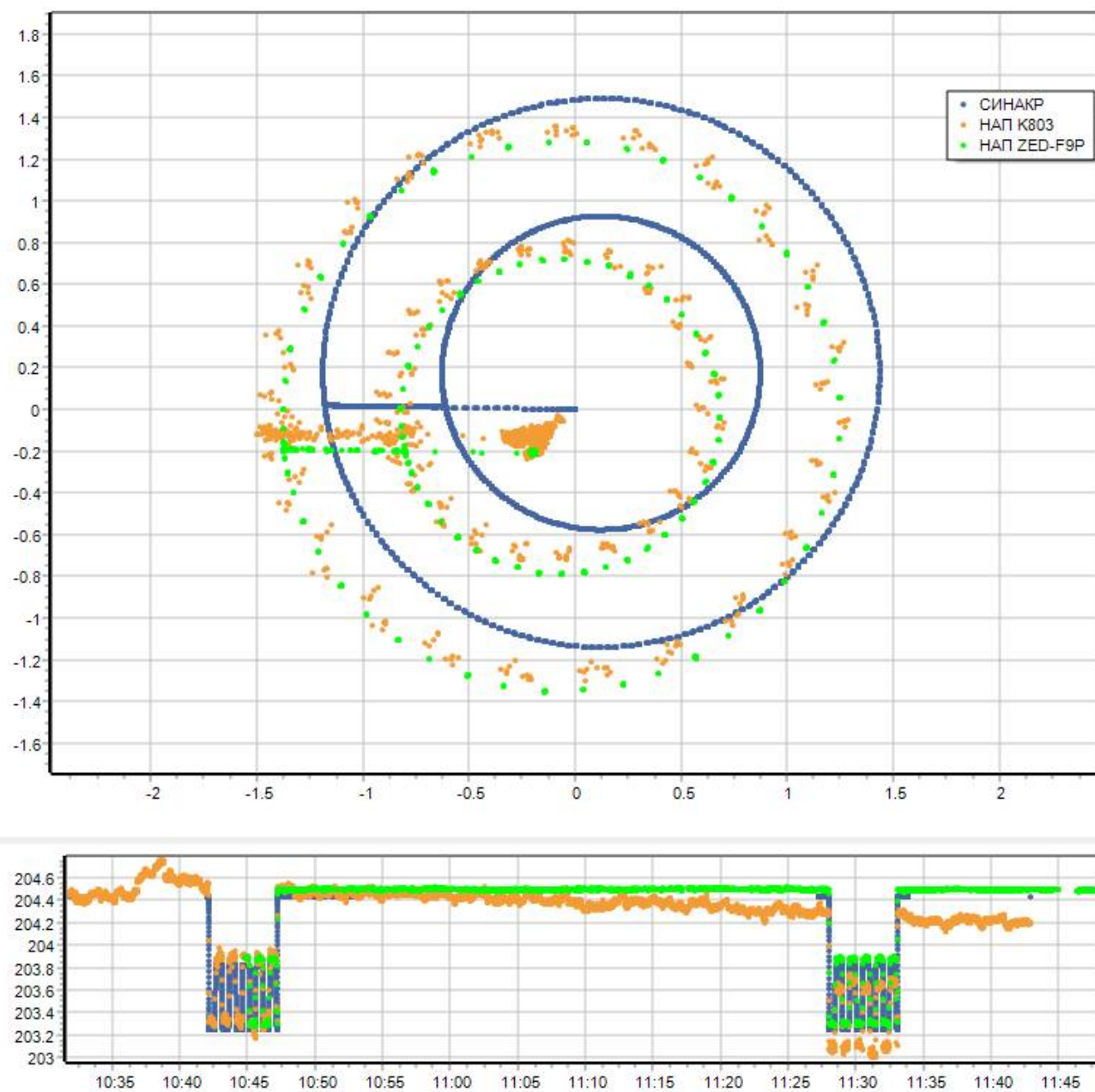


Рисунок 4 Треки СИНАКР, НАП К803 и ZED-F9P. Тест 1

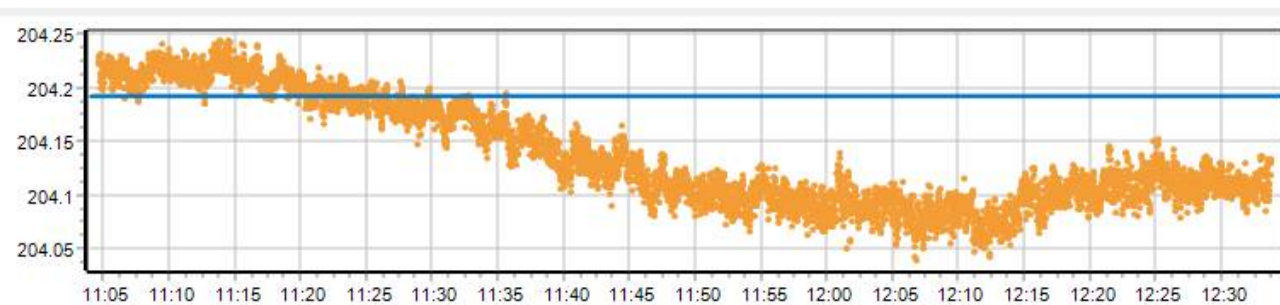
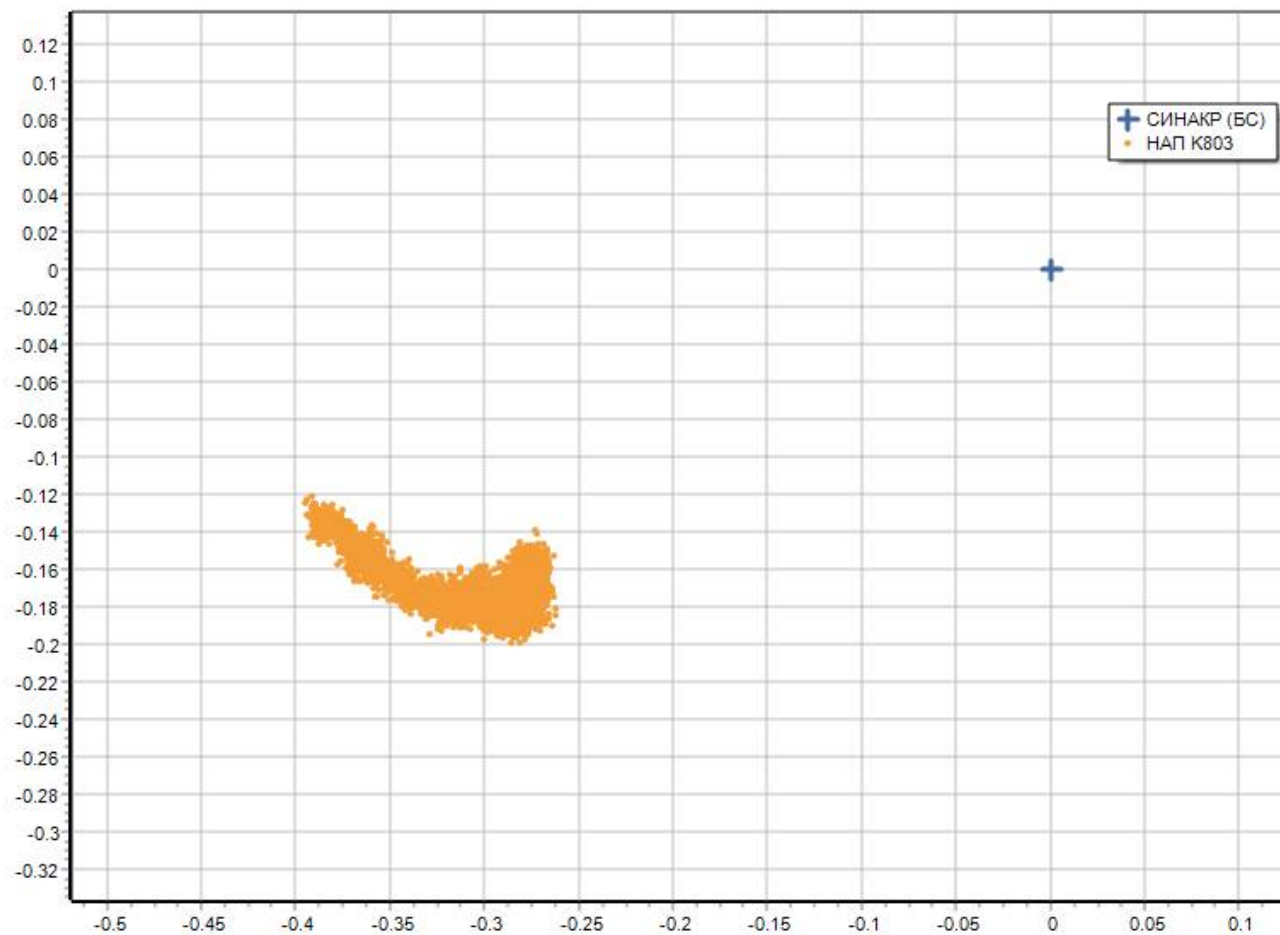


Рисунок 5 Местоопределения НАП К803 в статике. Тест 2

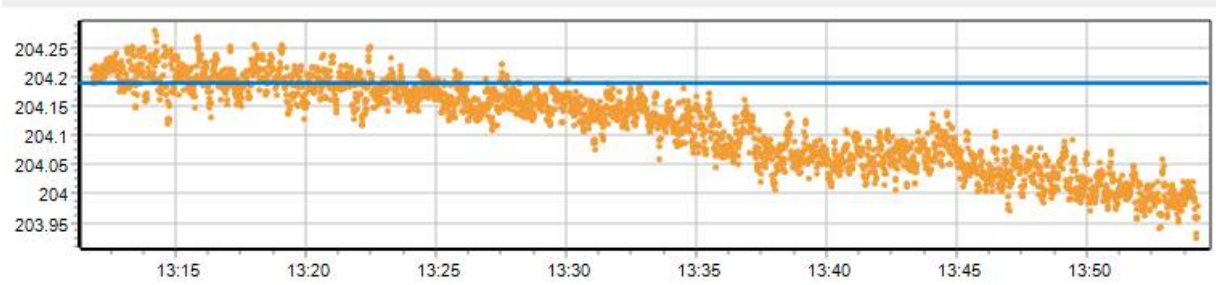
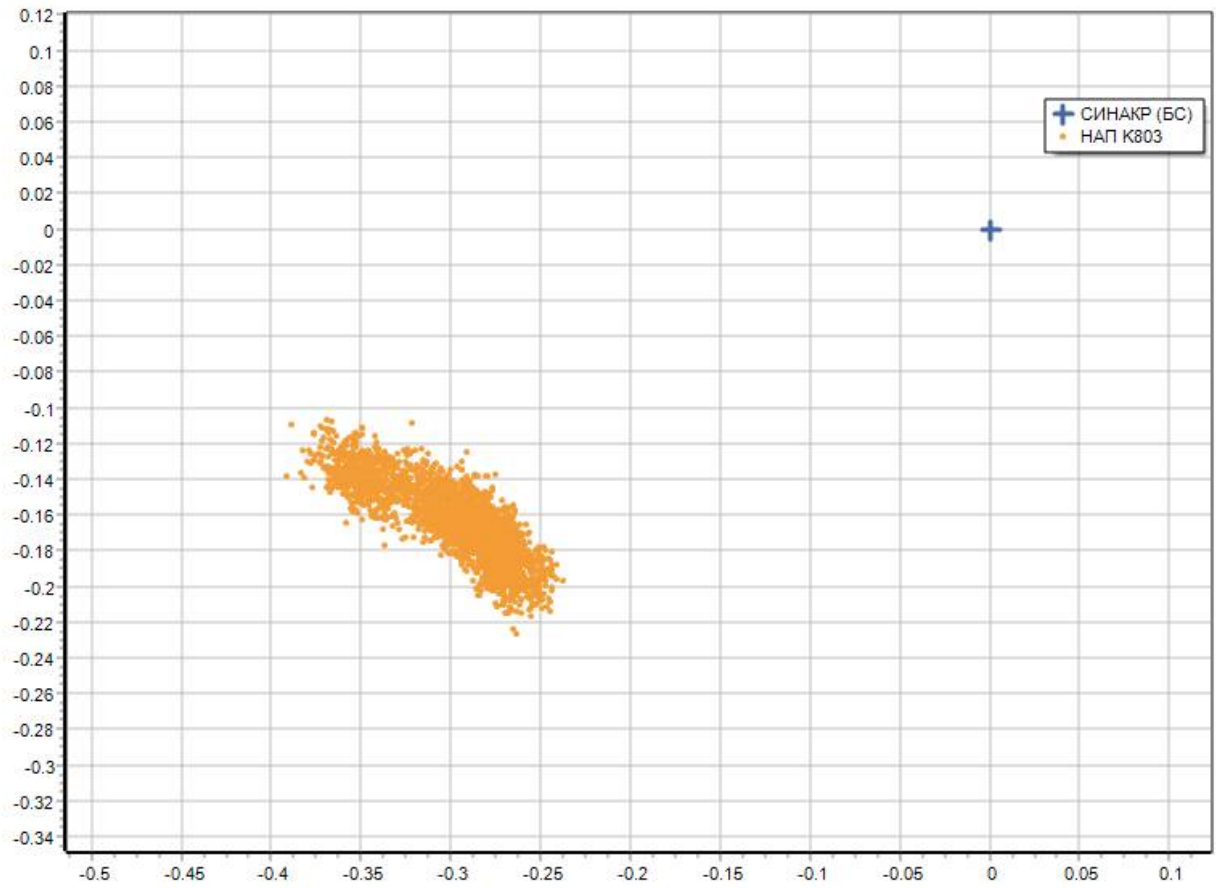


Рисунок 6 Местоопределения НАП К803 в статике. Тест 3

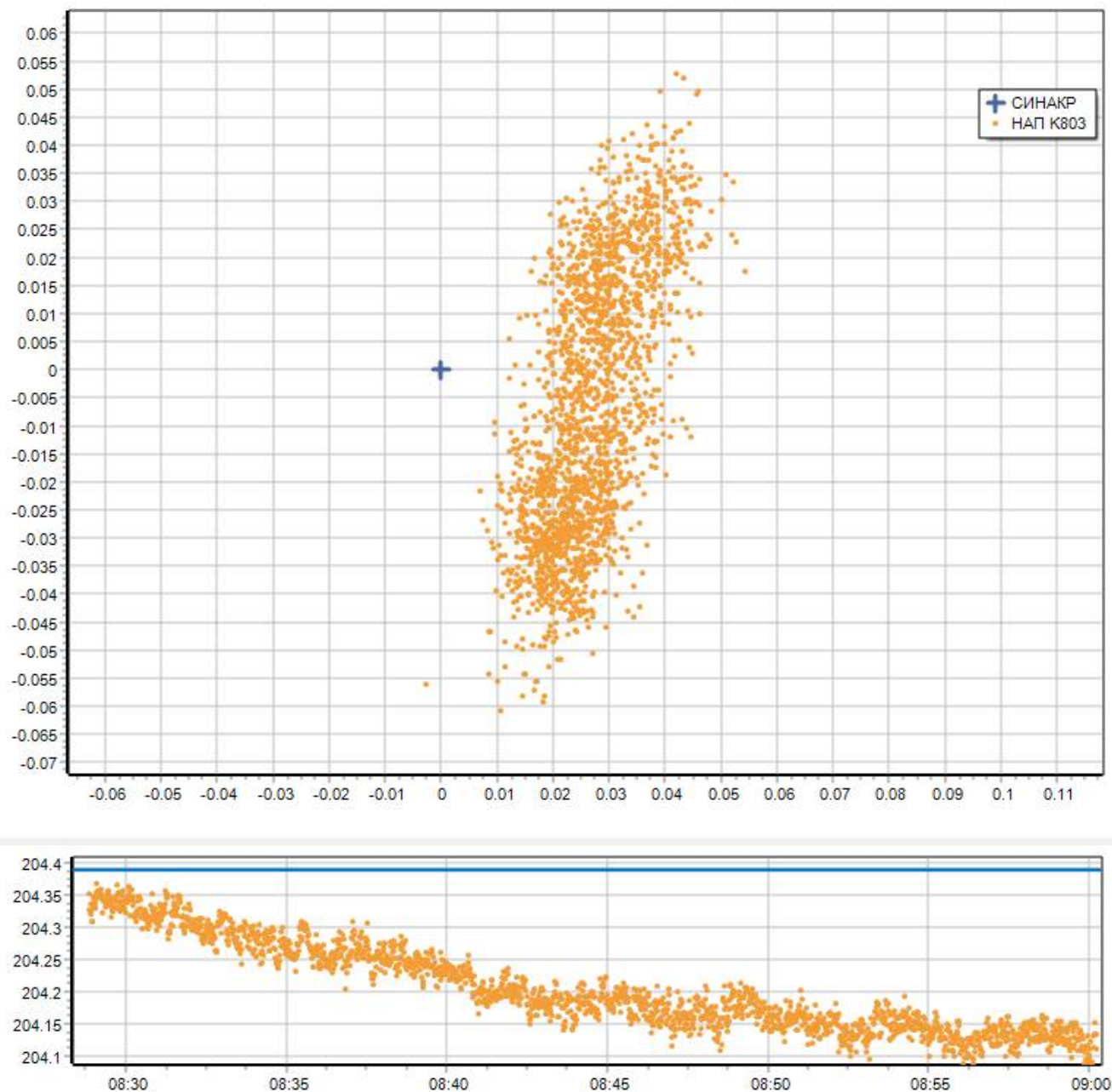


Рисунок 7 Местоопределения НАП K803 в статике. Тест 4

7.4 Графики погрешностей местоопределения НАП K803 методом RTTRPK AR для тестов 1-4 приведены на рисунках 8-11. На рисунке 8 кинематические отрезки выделены желтой заливкой.

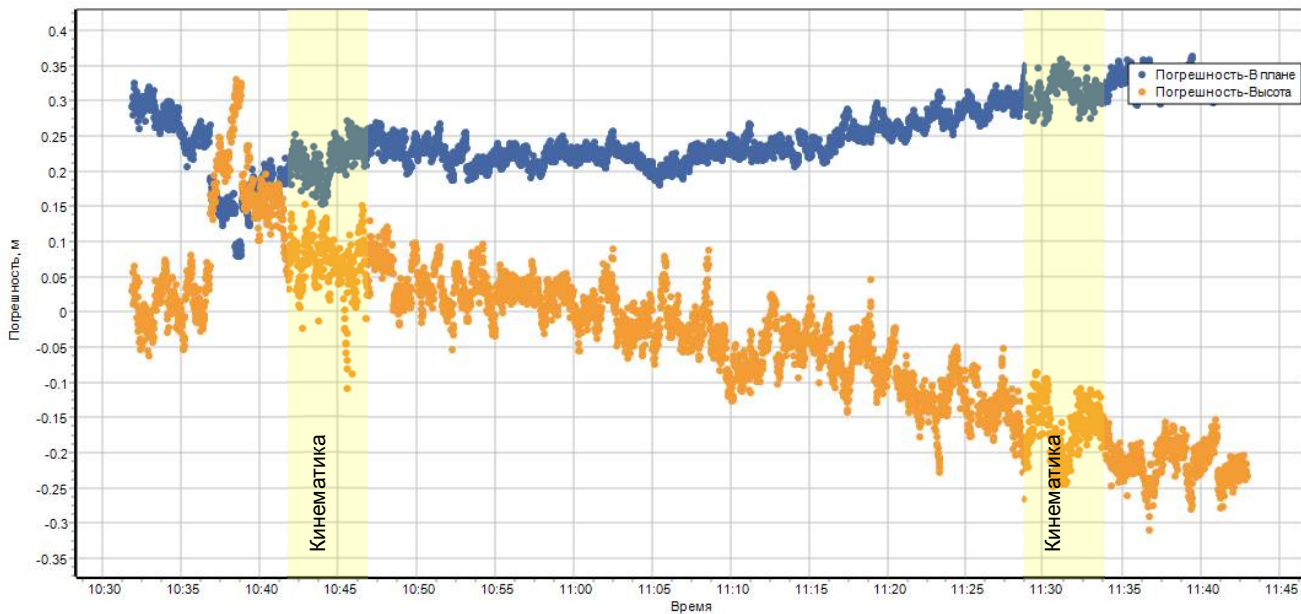


Рисунок 8 Погрешности НАП К803 в RTRPK AR. Тест 1

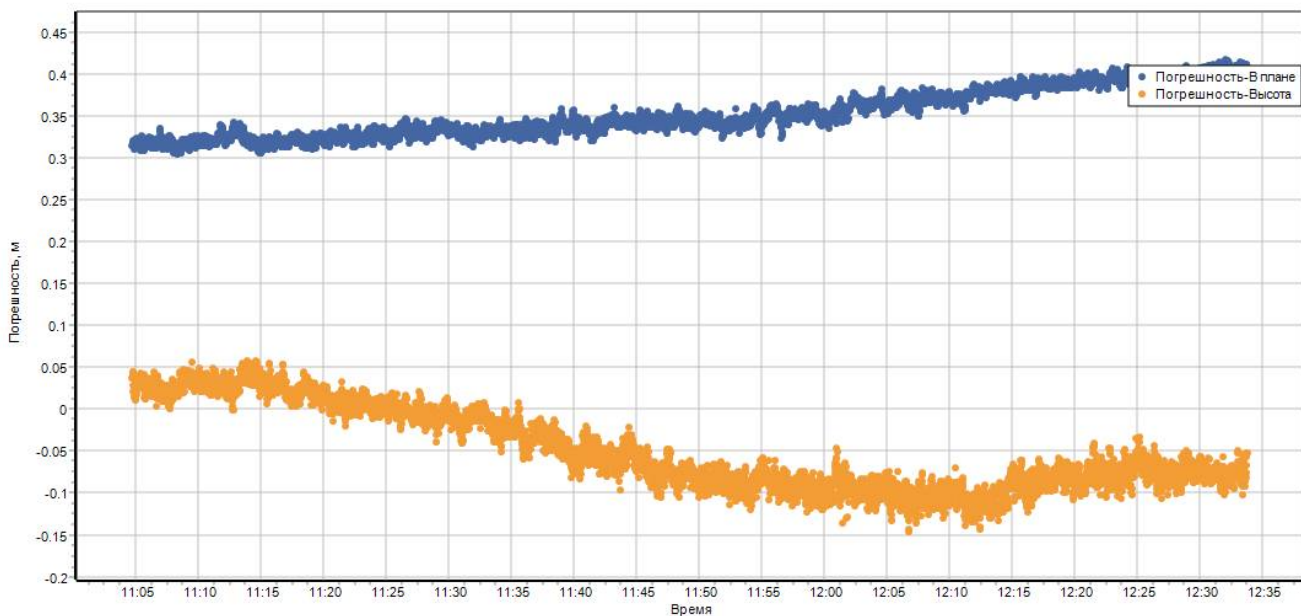


Рисунок 9 Погрешности НАП К803 в RTRPK AR. Тест 2

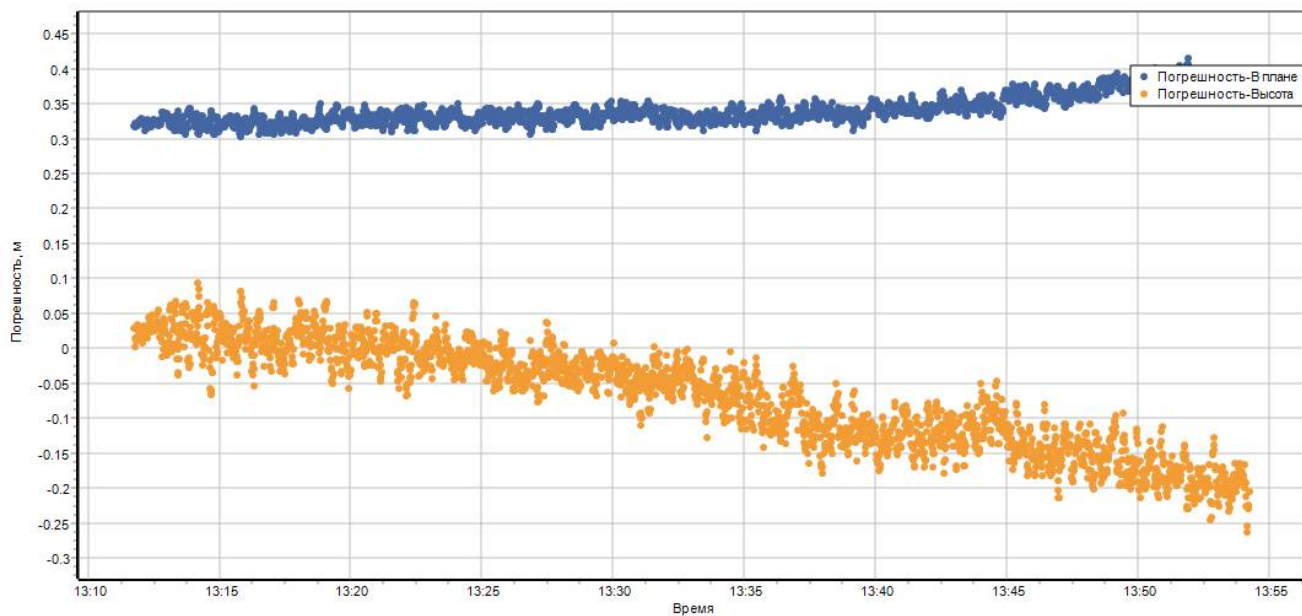


Рисунок 10 Погрешности НАП К803 в RTRPPK AR. Тест 3

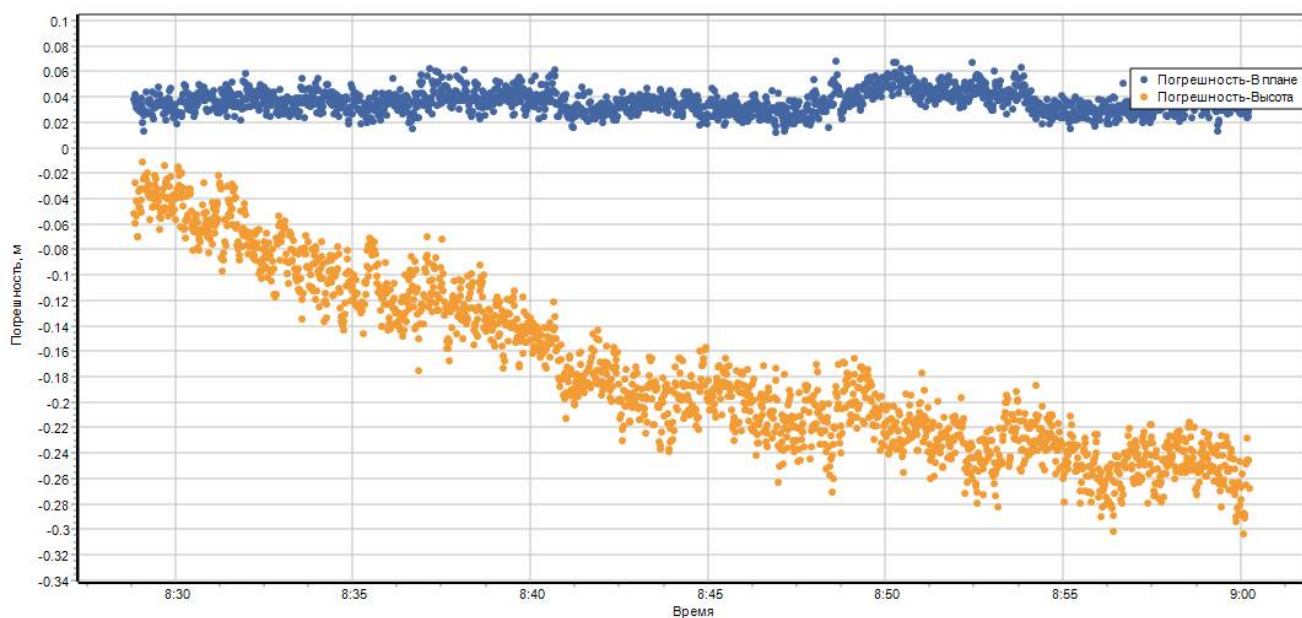


Рисунок 11 Погрешности НАП К803 в RTRPPK AR. Тест 4

7.5 На рисунках 12 и 13 для тестов 1 и 5 приведены графики погрешностей контрольной НАП ZED-F9P, работавшей в режиме RTK.

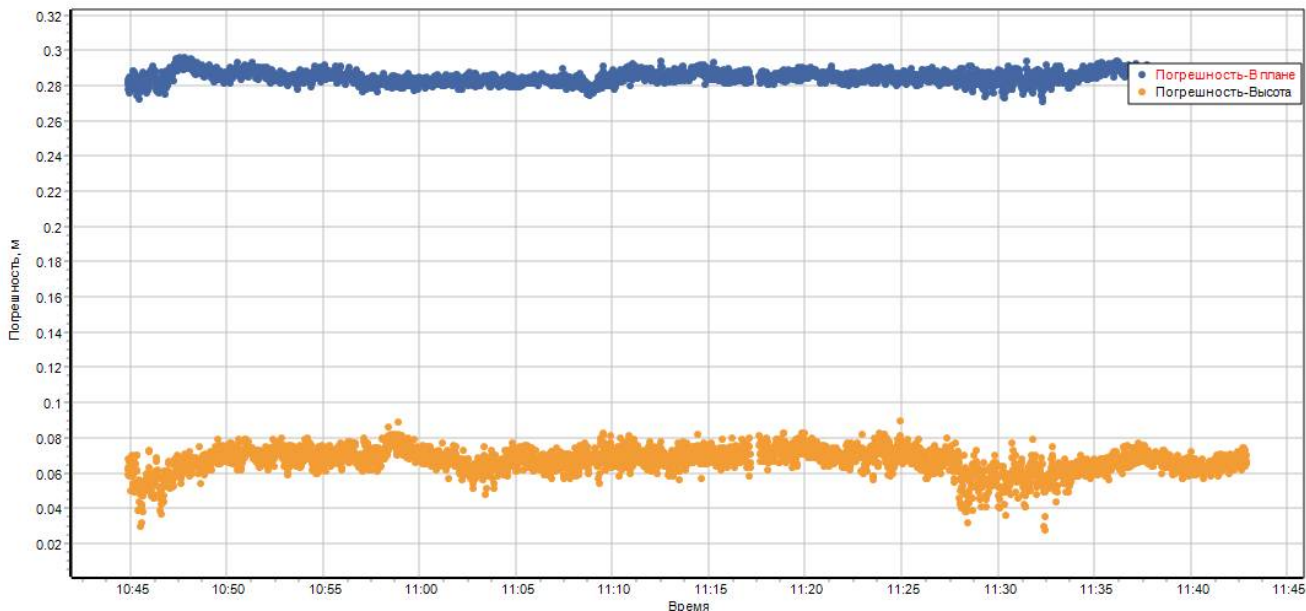


Рисунок 12 Погрешности НАП ZED-F9P в RTK. Тест 1

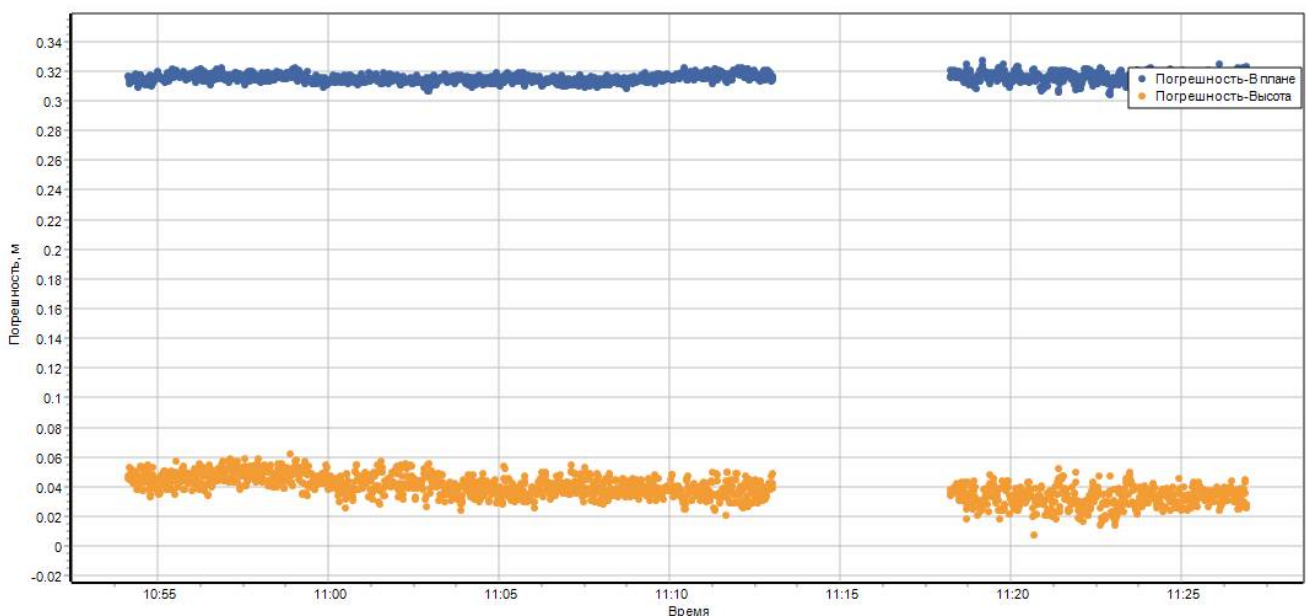


Рисунок 13 Погрешности НАП ZED-F9P в RTK. Тест 5

7.6 Из приведенных графиков видно, что местоопределения НАП К803 и ZED-F9P имеют систематическое смещение относительно местоопределений стенда. Очевидно смещения вызваны погрешностью определения координат использованной RTK-базы. Эти координаты были пересчитаны относительным методом с привлечением данных опорного пункта МССС, использованного при привязке СИНАКР. После этого местоопределения НАП были скорректированы на соответствующее смещение, а погрешности повторно рассчитаны.

7.7 Итоговые погрешности местоопределений НАП в проведенных тестах до и после коррекции приведены в таблице 3 и 4 соответственно.

Таблица 3 Итоговые погрешности определения местоположения (без коррекции)

Тест	Погрешности по высоте, м					Погрешности в плане, м					Кол-во место-определений
	СКП	по уровню				СКП	по уровню				
		P=0.5	P=0.68	P=0.95	P=0.997		P=0.5	P=0.68	P=0.95	P=0.997	
НАП К803, метод RTPPPK AR											
1	0.12	0.07	0.13	0.23	0.31	0.26	0.24	0.27	0.33	0.36	4 262
2	0.07	0.07	0.08	0.11	0.13	0.35	0.34	0.37	0.40	0.41	5 345
3	0.10	0.06	0.12	0.19	0.23	0.34	0.34	0.35	0.38	0.40	2 550
4	0.19	0.19	0.22	0.26	0.29	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	1 884
НАП ZED-F3P, метод RTK											
1	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	3459
5	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	1659

Таблица 4 Итоговые погрешности определения местоположения (после коррекции)

Тест	Погрешности по высоте, м					Погрешности в плане, м					Кол-во место-определений
	СКП	по уровню				СКП	по уровню				
		P=0.5	P=0.68	P=0.95	P=0.997		P=0.5	P=0.68	P=0.95	P=0.997	
Метод RTPPPK AR (НАП К803)											
1	0.16	0.11	0.17	0.29	0.34	0.10	0.09	0.10	0.13	0.20	4 262
2	0.10	0.10	0.12	0.15	0.17	0.05	0.03	0.05	0.11	0.12	5 345
3	0.13	0.09	0.15	0.23	0.26	0.05	0.03	0.04	0.09	0.11	2 550
4	0.23	0.23	0.26	0.30	0.33	0.03	0.02	0.03	0.05	0.06	1 884
Метод RTK (ZED-F3P)											
1	0.007	0.004	0.006	0.016	0.031	0.005	0.004	0.005	0.008	0.012	3459
5	0.009	0.006	0.009	0.017	0.023	0.005	0.004	0.005	0.008	0.012	1659

8 ВЫВОДЫ

8.1 Проведенные на стенде СИНАКР тесты подтвердили работоспособность метода RTRPPK AR в том числе при работе только по сигналам ГЛОНАСС.

8.2 Погрешности местоопределений НАП методом RTRPPK AR после устранения систематического сдвига составили 0.03-0.1 м в плане и 0.12-0.26 м по высоте ($P=0.68$). Повышенные погрешности в тесте 1, вероятно, вызваны низким уровнем соотношением сигнал/шум на приемнике во время данного теста.

8.3 Погрешности RTRPPK AR не имели существенных отличий в статическом и кинематическом режимах.

8.4 Во всех тестах наблюдается тенденция роста погрешностей со временем, прошедшим от перехода от RTK к RTRPPK AR. Это вызвано тем, что целочисленные неоднозначности фазовых измерений в тестируемом методе определяются для тех спутников, которые наблюдаются в начале сеанса. По мере ухода спутников из зоны видимости и появления новых, количество целочисленных неоднозначностей фазовых измерений становится меньше. При этом новые появляющиеся неоднозначности остаются "плавающими". Время работы метода с точностью 6-8 см ограничено 2-3 часами. После этого режим RTRPPK работает как RTRPPK Float, с погрешностями 15-20 см.

8.5 Субсантиметровые невязки местоопределений СИНАКР и НАП, работавшей в режиме RTK на короткой базе, дополнительно подтвердили заявленные метрологические характеристики испытательного стенда.

Начальник лаборатории отд. 03004
АО "ЦНИИмаш"

В.Л. Лапшин

Инженер отд. 03004
АО "ЦНИИмаш"

А.А. Колупанов

Инженер 1 категории
НТКЦ АО "Радар ммс"

С.Н. Свердлик

Инженер 1 категории
НТКЦ АО "Радар ммс"

В.Н. Зотов