СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАВИГАЦИОННЫХ МОДУЛЕЙ SINOGNSS K803 LITE И U-BLOX ZED-F9P В РЕЖИМЕ RTK*

В первой половине 2022 г. производитель профессионального ГНСС-оборудования геодезического класса компания SinoGNSS (Китай) выпустила новую серию навигационных модулей 8-го поколения. Серия K8 отличается компактным размером и малым весом, а широкий модельный ряд представлен как простыми одночастотными модулями, так и многочастотными двухантенными.

Среди модулей 8-го поколения наиболее интересным является бюджетный модуль K803 Lite. По заявлениям производителя этот двухчастотный модуль легко может составить конкуренцию имеющимся на рынке бюджетным модулям как по цене, так и по достоверности данных.

В настоящее время наиболее популярным высокоточным ГНСС-модулем в этой ценовой категории является ZED-F9P компании U-blox (Швейцария), поэтому компании «Ориент Системс», как эксклюзивному дилеру по навигационным платам SinoGNSS, стало интересно сравнить эти два модуля.

Данные модули похожи как по техническим характеристикам, так и по стоимости (табл. 1). Более подробную спецификацию по ним можно легко найти в сети Интернет.

Метод проведения теста

В результате тестирования было решено сравнить несколько параметров:

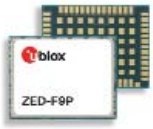
— процент фиксированного решения;

— скорость восстановления фиксированного решения;

— достоверность фиксированного решения.

Для включения в тест различных условий внешней среды, осложняющих измерения, был выбран автомобильный маршрут, предусматривающий про-

Сравнение технических характеристик навигационных модулей K803 Lite, ZED-F9P и K803 (эталон в постобработке) — **Таблица 1**

			
Тип навигационного модуля (производитель, страна)	**K803 Lite** (SinoGNSS, Китай)	**ZED-F9P** (U-blox, Швейцария)	**K803** со встроенным IMU (SinoGNSS,Китай)
Количество каналов	965	184	965
Принимаемые сигналы ГНСС	GPS: L1 C/A, L2C, L2P BeiDou: B1, B2, B3 ГЛОНАСС: L1 C/A, L1P, L2 C/A, L2P Galileo: E1, E5b SBAS: L1	GPS: L1 C/A, L2C BeiDou:B1I, B2I ГЛОНАСС: L1OF, L2OF Galileo: E1B/C, E5b SBAS: L1 C/A	GPS: L1 C/A, L2C, L2P, L5 BeiDou: B1, B2, B3 ГЛОНАСС: L1 C/A, L1P, L2 C/A, L2P Galileo: E1, E5a, E5b SBAS: L1
Режим измерения	RTK	RTK	RTK
Точность: — в плане — по высоте	 8 мм + 1 ppm 15 мм + 1 ppm	 10 мм + 1 ppm 10 мм + 1 ppm	 8 мм + 1 ppm 15 мм + 1 ppm
Размер, мм	30x30x3,2	17x22x2,4	30x30x3,2
Стоимость, руб.	35 000	30 000–45 000	120 000

* Статья подготовлена пресс-службой компании «Ориент Системс».

Процент фиксированного решения K803 Lite и ZED-F9P — **Таблица 2**

	K803 Lite	ZED-F9P
Всего эпох	12 773	
Количество эпох с фиксированным решением	12 381	12 419
Процент фиксированного решения, %	96,93	97,22

езд под мостами и эстакадами, по территории городской застройки и рядом с лесополосой. А чтобы собрать большой объем данных за один проезд, было решено записывать данные с навигационных модулей с частотой 5 Гц (5 раз в 1 с).

Рис. 1
Здание МШУ Сколково с навесом над дорогой

В качестве эталона использовались «сырые» измерения с ведущего трехчастотного ГНСС-модуля SinoGNSS K803 (см. табл. 1) для их последующей постобработки в программном комплексе Waypoint GrafNav.

На крыше автомобиля была установлена антенна SinoGNSS AT360, к которой через сплиттер подключили три навигационных модуля, одновременно производивших запись данных с частотой 0,2 Гц.

Модули K803 Lite и ZED-F9P работали в режиме RTK от базовой станции, а NMEA-сообщения с необходимыми данными записывались в лог-файлы на ПК.

Модуль K803 работал в режиме записи измерений с той же дискретностью. Постобработка полученных данных проводилась от той же базовой станции.

Обработка данных

Процент фиксированного решения

Для подсчета фиксированного решения данные со всех модулей были упорядочены так, чтобы они имели одинаковую эпоху начала и конца записи. Количество эпох на каждой плате соответствовало числу 12 773. За фиксированное решение принимались только данные, содержащие в NMEA-сообщении GPGGA цифру 4, отвечающую за тип решения.

Как видно из табл. 2, процент фиксированного решения на обоих модулях составляет примерно 97%, что является довольно высоким показателем при данных условиях внешней среды.

Потеря решения и скорость его восстановления

В процессе проведения теста был разработан маршрут с потенциально сложными для приема навигационных сигналов местами, где могли возникнуть срывы решения: под мостами и эстакадами, возле высотных зданий. Всего на тестовом маршруте было выбрано три наиболее явных участка с высокой вероятностью потери фиксированного решения.

Участок 1 — проезд под навесом здания МШУ Сколково с крайне ограниченным открытым небосводом (рис. 1, 2).

В табл. 3 приведены отрезки времени, на которых происходили потери / восстановления фиксированного решения.

Отрезки времени потери и восстановления фиксированного решения на участке 1 — **Таблица 3**

	ZED-F9P	K803 Lite
Потеря решения	11:32:53,4	11:32:54,0
Восстановление решения	11:33:30,8	…
Потеря решения	11:33:41,6	…
Восстановление решения	11:34:25,8	11:34:35,0

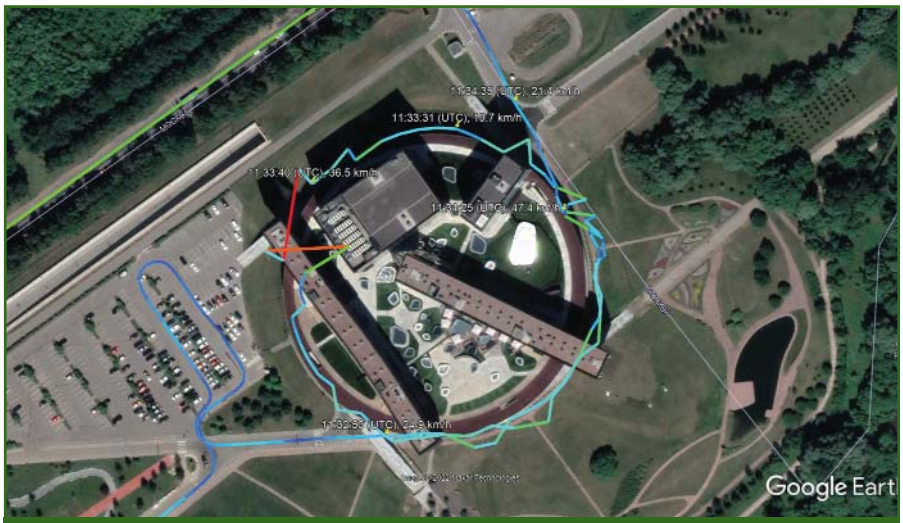


Рис. 2
Схема проезда автомобиля под навесом здания МШУ Сколково. Здесь и далее: цвет маршрута обозначает скорость движения автомобиля, где синий цвет — самая низкая скорость, а красный — высокая

Из табл. 3 видно, что пока у модуля K803 Lite отсутствовало решение, у модуля ZED-F9P решение восстановилось сначала на отрезке времени 11:33:30,8–11:33:41,6, а затем в 11:34:25,8, что на 9,2 с раньше, чем у K803 Lite.

Чтобы удостовериться в качестве фиксированного решения, координаты тестируемых модулей, полученные в режиме RTK, сравнивались с координатами эталонного многочастотного модуля K803, полученными в результате постобработки.

Напомним, что постобработка данных с модуля K803 проводилась в программном комплексе Waypoint GrafNav, в котором предусмотрен разносторонний контроль качества, поэтому он часто используется научно-исследовательскими центрами для вычисления высокоточных измерений траекторий. Следует отметить, что некоторые данные, полученные модулем K803, были исключены после постобработки программой как некачественные, поэтому количество данных в режиме RTK и в результате постобработки могли не совпадать. В рассматриваемом случае сравнение координат велось по имеющимся данным.

В результате сравнения удалось выяснить, что с 11:33:30,8 до 11:33:41,4 координаты, полученные ZED-F9P в фиксированном решении, отличаются от координат эталонного модуля после постобработки на 0,5-14,4 м, что соответствует точности данных, полученных K803 Lite в автономном и плавающем решении (табл. 4).

На отрезке времени 11:34:25,8–11:34:34,8 координаты, полученные ZED-F9P в фиксированном решении, отличаются от координат постобработки на 0,1-6,3 м, что также не соответствует точности фиксированного решения (табл. 5).

Разность координат ZED-F9P, полученных в фиксированном решении, и K803 после постобработки на отрезке времени 11:33:30,8-11:33:41,4 — **Таблица 4**

ЭПОХА	EAST, м	NORTH, м	HEIGHT, м
11:33:36,0	–2,431	12,727	11,971
11:33:36,2	–2,486	12,902	12,376
11:33:36,4	–2,543	12,561	12,193
11:33:36,6	–2,569	12,150	11,659
11:33:36,8	–2,553	13,097	12,060
11:33:37,0	–2,667	14,133	12,632
11:33:37,2	–2,774	15,011	13,144
11:33:37,4	–2,895	15,497	13,512
11:33:37,6	–2,935	15,804	13,506
11:33:37,8	–2,983	16,417	13,796
11:33:38,0	–2,964	15,713	12,913
11:33:38,2	–3,008	15,507	12,657
11:33:38,4	–2,945	14,451	11,513
11:33:38,6	–2,883	13,093	10,242
11:33:38,8	–2,800	12,737	9,828
11:33:39,0	–2,841	13,708	10,567
11:33:39,2	–2,841	13,147	10,096
11:33:39,4	–2,748	11,796	8,819
11:33:39,6	–2,996	14,371	10,815
11:33:39,8	–3,276	4,666	0,520
11:33:40,0	–2,072	–2,470	–6,270
11:33:40,2	–2,095	–2,921	–7,692
11:33:40,4	–1,785	–6,008	–11,494
11:33:40,6	–2,842	–5,025	–10,946
11:33:40,8	–2,551	–6,948	–13,437
11:33:41,0	–2,724	–7,256	–14,404

Разность координат ZED-F9P, полученных в фиксированном решении, и K803 после постобработки на отрезке времени 11:34:25,8–11:34:34,8 — **Таблица 5**

ЭПОХА	EAST, м	NORTH, м	HEIGHT, м
11:34:26,6	–3,130	–4,925	–6,286
11:34:26,8	–2,925	–4,715	–6,124
11:34:28,6	–1,553	0,124	0,307
11:34:28,8	–1,503	0,213	0,374
11:34:29,0	–1,614	–0,079	0,061
11:34:29,2	–1,512	0,170	0,338
11:34:29,4	–1,550	0,095	0,286
11:34:29,6	–1,533	0,180	0,354
11:34:29,8	–1,545	0,165	0,323
11:34:30,0	–1,506	0,188	0,318
11:34:30,2	–1,517	0,181	0,314
11:34:30,4	–1,401	0,201	0,343
11:34:30,6	–1,377	0,216	0,348
11:34:30,8	–1,364	0,185	0,322
11:34:31,0	–1,344	0,194	0,429
11:34:31,2	–1,337	0,207	0,398
11:34:31,4	–1,336	0,201	0,390
11:34:31,6	–1,295	0,217	0,412
11:34:31,8	–1,312	0,190	0,376

Рис. 3
Схема проезда автомобиля под эстакадой № 1

Отрезки времени потери и восстановления фиксированного решения на участке 2 — **Таблица 6**

	ZED-F9P	K803 Lite
Потеря решения	11:51:28,2	11:51:28,2
Восстановление решения	11:51:33,0	…
Потеря решения	11:51:45,8	…
Восстановление решения	11:51:55,2	11:52:00

Рис. 4
Схема проезда автомобиля под эстакадой № 2

Отрезки времени потери и восстановления фиксированного решения на участке 3 — **Таблица 7**

	ZED-F9P	K803 Lite
Потеря решения	11:52:23,2	11:52:23,6
Восстановление решения	11:52:26,0	11:52:34,0

Только с 11:33:35, когда модулем K803 Lite было получено фиксированное решение, разница координат между тремя модулями достигла сантиметрового значения.

В результате можно сделать вывод о ложном фиксированном решении ГНСС-модуля ZED-F9P как с 11:33:30,8 до 11:33:41,4, так и на отрезке времени 11:34:25,8–11:34:34,8.

Несмотря на то, что решение у ZED-F9P было восстановлено раньше, чем у K803 Lite, полученные данные явно превышают допустимые значения и не рекомендуются к использованию. Более того, маркировка данных фиксированным типом решения может ввести в заблуждение и вызвать непредвиденные ошибки в работе как у специалистов, так и у алгоритмов работы движения беспилотного транспорта.

В связи с этим следующие два участка с потерей сигнала были проанализированы подобным образом.

Участок 2 — проезд под эстакадой № 1 (рис. 3).

Как и в предыдущем варианте, было выделено два отрезка времени, где модуль ZED-F9P получил фиксированное решение, в отличие от K803 Lite (табл. 6).

На отрезке времени 11:51:33,0–11:51:45,6 фиксированное решение оказалось ложным, поскольку разность координат ZED-F9P и K803 после постобработки составила 0,030–1,500 м. На отрезке времени 11:51:55,2–11:52:00,0 фиксированное решение модулем ZED-F9P было получено на 4,8 с раньше, чем K803 Lite, причем разность координат ZED-F9P и K803 после постобработки составила 0,002–0,113 м.

Участок 3 — проезд под эстакадой № 2 (рис. 4).

На этом участке оба модуля потеряли фиксированное решение практически в одно время,

но ZED-F9P восстановил его спустя 2,8 с, в то время как K803 Lite оставался в плавающем решении еще 8 с. Ложного фиксированного решения замечено не было (табл. 7).

Достоверность фиксированного решения

Для проверки достоверности данных сравнивались координаты ZED-F9P и K803 Lite, полученные в фиксированном решении в режиме RTK, с координатами K803 после постобработки.

Средние значения разностей координат оказались в пределах ожиданий (табл. 8).

Однако для большей наглядности стоит отобразить все значения разностей на графиках от времени, значения на вертикальной оси которых будут соответствовать значениям расхождения с постобработкой в метрах.

На графиках приведены разности координат, полученных модулями K803 Lite (рис. 5, 7 и 9) и ZED-F9P (рис. 6, 8 и 10) в режиме RTK, и координат модуля K803 после постобработки. Как видно из графиков, большая часть значений приближена к среднему (табл. 8), и лишь в сложных местах расхождение увеличивается.

Если сравнивать попарно графики разностей координат (N) (рис. 5 и 6), (E) (рис. 7 и 8) и (H) (рис. 9 и 10), то можно заметить, что графики с данными модуля ZED-F9P выглядят менее стабильными. Особенно это заметно на графике разностей координат (H) (рис. 10).

В завершение теста был вычислен процент попадания координат, полученных при фиксированном решении, в доверительный интервал 3σ характеристик точности, заявленных производителем (табл. 9). Напомним, что в технических характеристиках обычно указано значение доверительного интервала 1σ.

Средние значения разностей координат **Таблица 8**

	K803 – K803 Lite	K803 – ZED-F9P
N, м	0,011	0,011
E, м	0,012	0,012
H, м	0,032	0,058

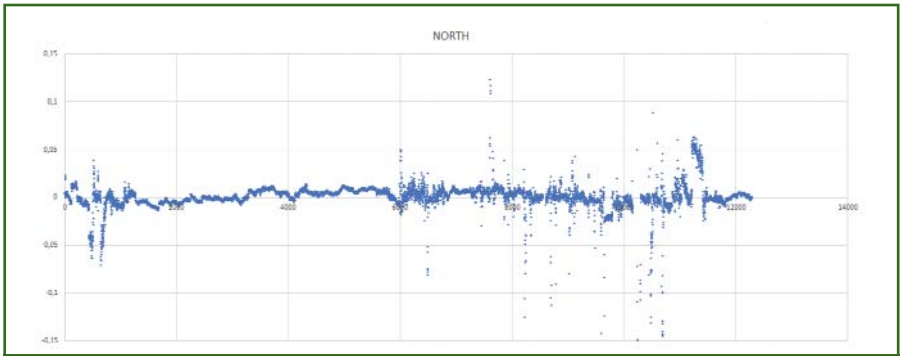


Рис. 5
График разностей координат (N) между K803 Lite в режиме RTK и K803 после постобработки

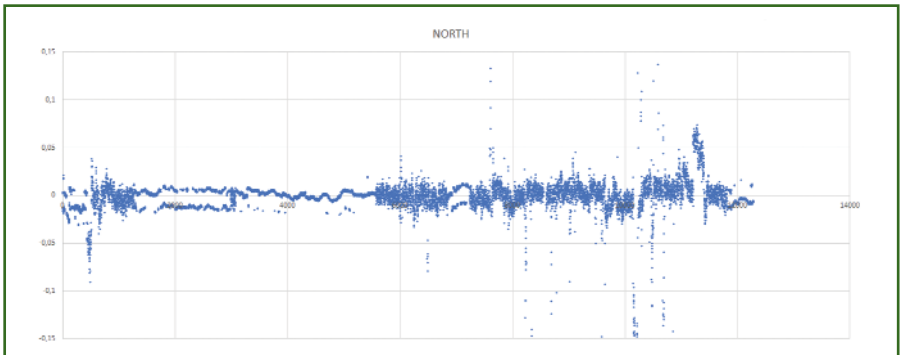


Рис. 6
График разностей координат (N) между ZED-F9P в режиме RTK и K803 после постобработки

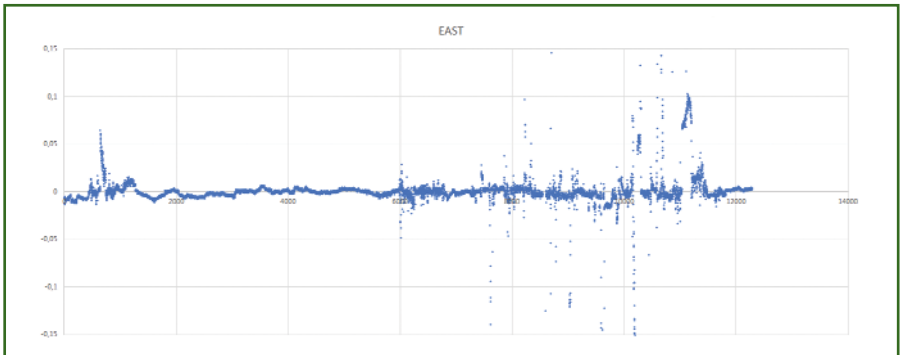


Рис. 7
График разностей координат (E) между K803 Lite в режиме RTK и K803 после постобработки

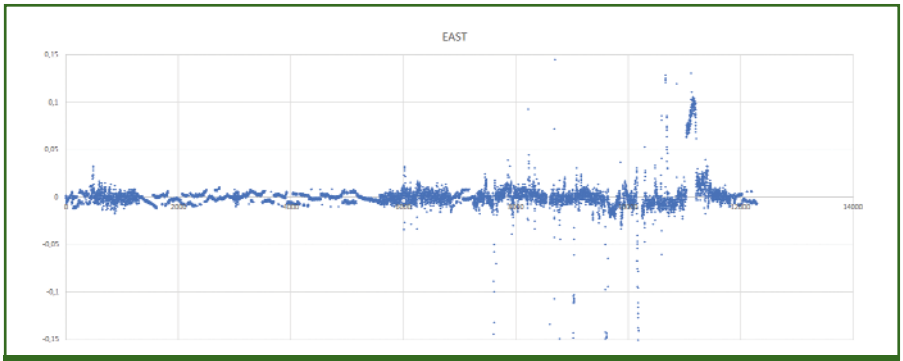


Рис. 8
График разностей координат (E) между ZED-F9P в режиме RTK и K803 после постобработки

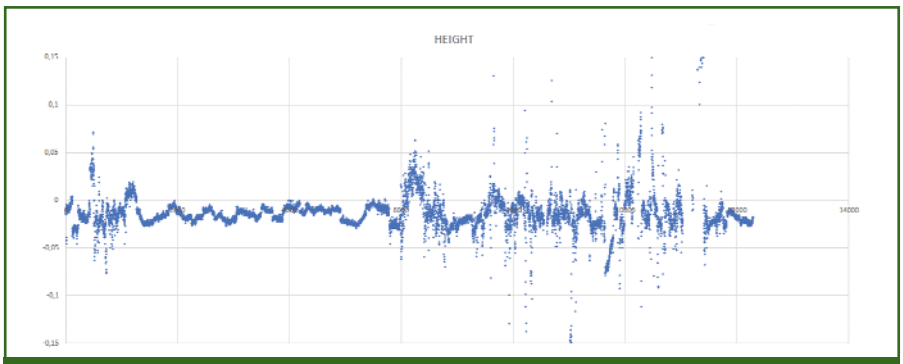


Рис. 9
График разностей координат (H) между K803 Lite в режиме RTK и K803 после постобработки

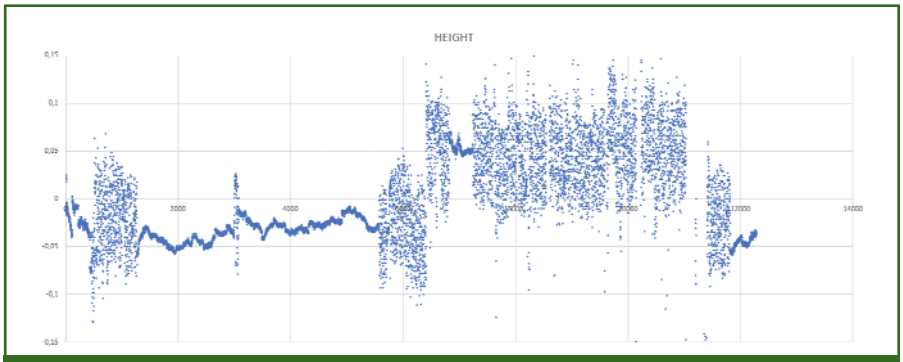


Рис. 10
График разностей координат (H) между ZED-F9P в режиме RTK и K803 после постобработки

Процент попадания координат фиксированного решения в доверительный интервал 3σ — **Таблица 9**

	RTK	1σ, мм	3σ, мм	Попадание в 3σ, %
K803 Lite	В плане	8	24	90,41
	По высоте	15	45	
ZED-F9P	В плане	10	30	35,45
	По высоте	10	30	

Следует отметить, что низкий показатель у модуля ZED-F9P связан с высотными значениями. В их недостоверности можно убедиться, посмотрев на рис. 10. Если исключить значения по высоте и проверить процент попадания в 3σ только плановых координат, то получим 93,37%.

Итоги тестирования

По результатам обработки данных можно сделать вывод, что оба модуля неплохо справились с тестированием. SinoGNSS K803 Lite и U-blox ZED-F9P имеют схожие технические характеристики, физические параметры и стоимость, а точность координат фиксированного решения в режиме RTK соответствует общепринятой.

Однако, у модуля ZED-F9P несколько раз было замечено ложное фиксированное решение, при котором точность определяемых координат значительно выходит за рамки допустимых. К сожалению, узнать о том, было ли фиксированное решение достоверным или ложным можно только при проведении дополнительного контроля.

Модуль K803 Lite показал себя гораздо стабильнее в определении координат, что видно из графика разностей с эталоном. Также стоит обратить внимание на точность высотной координаты, так как для некоторых работ это может быть принципиально, у K803 Lite она выше.

В остальном можно считать ГНСС-модули взаимозаменяемыми.

Что касается доступности на рынке, в условиях текущей ситуации модуль U-blox ZED-F9P довольно сложно приобрести, в отличие от модуля SinoGNSS K803 Lite.

Поэтому, если для решения задач требуется высокоточный навигационный модуль по бюджетной цене, то однозначно стоит обратить внимание на SinoGNSS K803 Lite.