

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЁМНИКА ГНСС В МОДУЛЬНОМ ИСПОЛНЕНИИ – «V-800 Mark III GNSS» НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ С НАВИГАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ «ГЛОНАСС», «BEIDOU» И «GPS» В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

С.А. Горанько, преподаватель

Р.З. Таиров, преподаватель

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного
(Россия, г. Санкт-Петербург)

DOI:10.24412/2500-1000-2026-5-1-290-297

Аннотация. В статье рассмотрены результаты исследования приёмника глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) в модульном исполнении – «V-800 Mark III GNSS» на точность определения местоположения в городской зоне с высокой плотностью застройки при совместном приеме радионавигационных сигналов ГНСС «ГЛОНАСС», «Beidou» и «GPS». В этих целях приёмник ГНСС в модульном исполнении – «V-800 Mark III GNSS» был настроен для совместного приема радионавигационных сигналов ГНСС «ГЛОНАСС», «Beidou» и «GPS». Полученные результаты свидетельствуют о том, что приёмником ГНСС в модульном исполнении – «V-800 Mark III GNSS» при совместном приеме радионавигационных сигналов ГНСС «ГЛОНАСС», «Beidou» и «GPS» позволяет с достаточно высокой точностью определять местоположения в городской зоне с высокой плотностью застройки.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы – «ГЛОНАСС»; «Beidou»; «GPS»; приёмник ГНСС в модульном исполнении – «V-800 Mark III GNSS»; протокол NMEA; геометрический фактор.

Актуальность данной статьи обусловлена тем, что в настоящее время существуют особенности работы навигационной аппаратуры ГНСС в городской зоне с высокой плотностью застройки, когда часть радионавигационных сигналов навигационных космических аппаратов (НКА), находящихся в верхней полусфере, оказываются недоступными для навигационной аппаратуры. Ограничение числа позиционируемых НКА, например, в условиях плотной городской застройки, приводит к наложению многолучевых ошибок на определение координат, усиливаемых увеличением коэффициента геометрии (DOP). Добавление второй или третьей спутниковой группировки ГНСС позволяет расширить число видимых НКА, и, таким образом, в процессе определения координат участвует большее количество НКА, что приводит к уменьшению ошибок СКО.

Ранее авторами были проведены исследования вышеуказанного приёмника ГНСС в модульном исполнении при работе со спутни-

ковой группировкой ГНСС «Beidou», а также его совместной работе со спутниковыми группировками ГНСС «Beidou» и «GPS».

Для проведения исследования к спутниковым группировкам ГНСС «Beidou» и «GPS» была добавлена спутниковая группировка ГНСС «ГЛОНАСС» (РФ), которая также применяется для решения навигационной задачи позиционный псевдодальномерный метод.

Летные испытания высокоорбитальной отечественной навигационной системы, получившей название «ГЛОНАСС», были начаты в октябре 1982 года запуском спутника «Космос-1413». Система «ГЛОНАСС» была принята в опытную эксплуатацию в 1993 году. В 1995 году развернута орбитальная группировка полного состава (24 НКА «ГЛОНАСС» первого поколения) и начата штатная эксплуатация системы.

Эволюция создания ГНСС «ГЛОНАСС» представлена на рисунке 1.

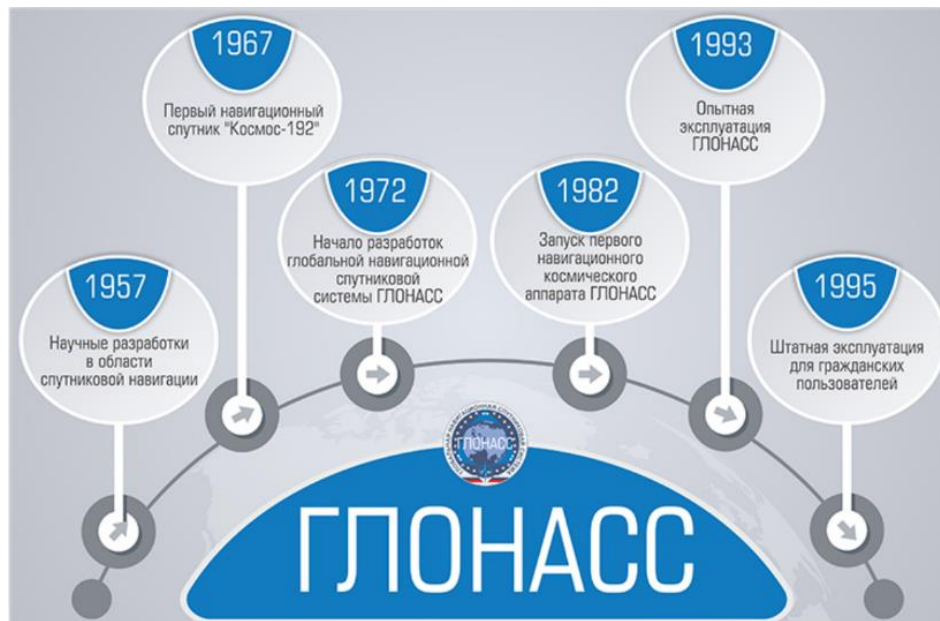


Рис. 1.

В настоящее время штатная орбитальная группировка (ОГ) ГНСС «ГЛОНАСС» состоит из 24 спутников, находящихся на средне-высотных околокруговых орбитах с номинальными значениями высоты – 19 100 км, наклона – $64,8^\circ$ и периодом обращения – 11 ч 15 мин. 44 с. Значение периода позволило создать устойчивую орбитальную систему, не требующую, в отличие от орбит ГНСС

«GPS», для своего поддержания корректирующих импульсов практически в течение всего срока активного существования. Номинальное наклонение обеспечивает 100%-ную доступность навигации на территории РФ даже при условии выхода из ОГ нескольких НКА.

Орбитальная группировка ГНСС «ГЛОНАСС» представлена на рисунке 2.

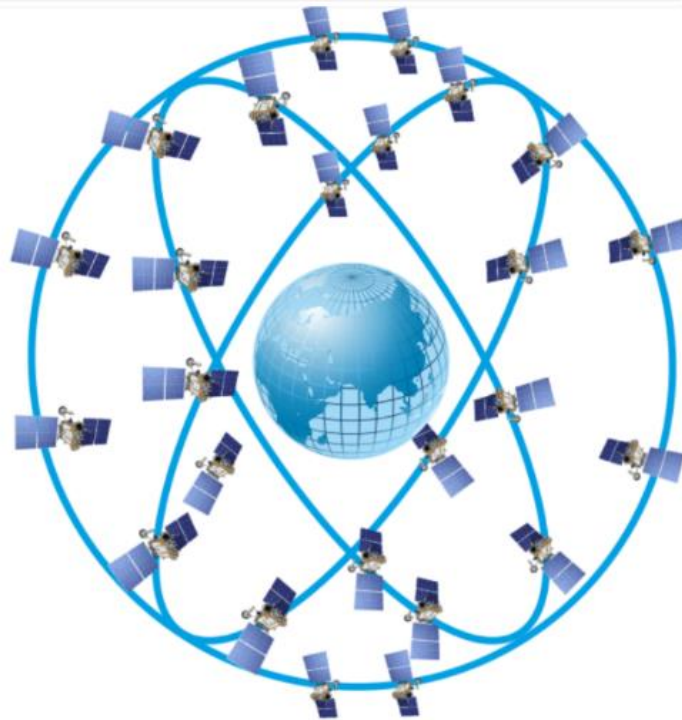


Рис. 2.

Типы НКА в составе ОГ ГНСС «ГЛОНАСС» и их технические характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристики	НКА «Глонасс-М»	НКА «Глонасс-К»	НКА «Глонасс-К2»
Годы развертывания	2003-2016	2011-2018	После 2017
Состояние	В эксплуатации	В разработке на основе проведенных ЛИ	В разработке
Используемые средства выведения	РН «Союз-2.1б», РН «Протон-М»		
Гарантированный срок активного существования, лет	7	10	10
Масса НКА, кг	1415	935	1600
Габариты НКА, м	2,71x3,05x2,71	2,53x3,01x1,43	2,53x6,01x1,43
Энергопотребление, Вт	1400	1270	4370
Тип исполнения НКА	Герметизированный	Негерметизированный	Негерметизированный
Суточная нестабильность БСУ, в соответствии с ТЗ / фактическая	$1 \cdot 10^{-13} / 5 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-13} / 5 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-14} / 5 \cdot 10^{-15}$
Тип сигналов	В основном FDMA (CDMA на КА 755-761)	FDMA и CDMA	FDMA и CDMA
Сигналы с открытым доступом (для сигналов FDMA приведено значение центральной частоты)	L1OF (1 602 МГц) L2OF (1 246 МГц) начиная с №755: L3OC (1 202 МГц)	L1OF (1 602 МГц) L2OF (1 246 МГц) L3OC (1 202 МГц) начиная с №17Л: L2OC (1 248 МГц)	L1OF (1 602 МГц) L2OF (1 246 МГц) L1OC (1 600 МГц) L2OC (1 248 МГц) L3OC (1 202 МГц)
Сигналы с санкционированным доступом	L1SF (1 602 МГц) L2SF (1 246 МГц)	L1SF (1 602 МГц) L2SF (1 246 МГц) начиная с №17Л: L2SC (1 248 МГц)	L1SF (1 602 МГц) L2SF (1 246 МГц) L1SC (1 600 МГц) L2SC (1 248 МГц)
Дополнительное оборудование	Межспутниковые линии радиосвязи	Межспутниковые линии радиосвязи Система поиска и спасания Коспас-Сарсат	Межспутниковые линии радио и оптической связи Система поиска и спасания Коспас-Сарсат

Состав и состояние ОГ ГНСС «ГЛОНАСС» на 30.04.2026г. представлены в таблице 3 [1].

Таблица 3.

Всего в составе ОГ	28
Используется по ЦН	24
На исследовании Главного конструктора	3
Орбитальный резерв	1

В настоящее время все ГНСС используют несколько основных принципов распределения частот:

1. Диапазон L: (1-2 ГГц) используется в спутниковой навигации благодаря хорошей проходимости сигнала через атмосферу и стабильности приёма в различных условиях.

2. Несущая частота: это базовая частота, на которую «накладывается» полезная информация (код и эфемериды).

3. Модуляция: способ кодирования сигнала. Ранние системы использовали простую фазовую манипуляцию (BPSK), современные спутники переходят на более сложные виды

(BPSK, QPSK), позволяющие повысить помехозащищённость и точность.

Ключевая тенденция последних лет – переход от одночастотных (L1) к многочастотным приёмникам. Если раньше гражданские устройства работали только на одной частоте, что приводило к большим погрешностям из-за ионосферной задержки (сигнал «тормозит» в верхних слоях атмосферы), то современное ГНСС оборудование использует две, три и более частот. Это позволяет математически моделировать и устранять ионосферные искажения, достигая сантиметровой точности.

ГНСС «GPS» передает сигналы в трех основных диапазонах:

L1 (1575,42 МГц): это самый распространенный диапазон. На нем передаётся:

C/A код (Coarse/Acquisition): гражданский сигнал, доступный всем. Именно его ловят автомобильные навигаторы и смартфоны.

P(Y) код: военный сигнал высокой точности.

M-код: новый военный сигнал, устойчивый к помехам.

L1C: новый гражданский сигнал, разработанный для совместимости с ГНСС «Galileo».

L2 (1227,6 МГц): изначально был предназначен только для военных. С развитием системы на L2 появился гражданский сигнал L2C (L2 Civil). Он обеспечивает более надёжный прием в сложных условиях и позволяет использовать двухчастотные методы для коррекции ионосферных ошибок.

L5 (1176,45 МГц): самый современный гражданский диапазон ГНСС «GPS», предназначенный для использования в авиации и других сферах, критичных к безопасности. L5 обеспечивает более высокую мощность сигнала и улучшенную структуру кода, что делает его самым устойчивым к помехам среди сигналов ГНСС «GPS».

ГНСС «ГЛОНАСС» имеет принципиальное техническое отличие от ГНСС «GPS». В то время как ГНСС «GPS» использует кодовое разделение сигналов (Code Division Multiple Access – CDMA), ГНСС «ГЛОНАСС» традиционно использует частотное разделение (Frequency Division Multiple Access – FDMA).

Это означает, что каждый НКА ГНСС «ГЛОНАСС» вещает на своей, уникальной паре частот в диапазонах L1 и L2. Такой подход усложняет конструкцию приёмников, но

делает систему более устойчивой к узкополосным помехам.

Диапазон L1 (1602,0 МГц + $k \times 0,5625$ МГц, где k – номер литеры от -7 до 6): центральная частота L1 для ГЛОНАСС составляет 1602 МГц. НКА распределяются в полосе от 1597,875 МГц до 1609,3125 МГц с шагом 0,5625 МГц.

На частотах L1 передаются сигналы стандартной точности (СТ) для гражданского использования и высокой точности (ВТ) для военных.

Диапазон L2 (1246,0 МГц + $k \times 0,4375$ МГц): имеет центральную частоту 1246 МГц. Спектр распределён от 1241,25 МГц до 1248,625 МГц.

Новое поколение («ГЛОНАСС-К» и «ГЛОНАСС-К2»): Начиная со НКА «ГЛОНАСС-К», система начала внедрение сигналов с кодовым разделением (CDMA) в диапазоне L3 (1202,025 МГц). Это позволило унифицировать ГЛОНАСС с другими мировыми системами и значительно улучшить совместимость и точность.

Китайская система ГНСС «Beidou» передаёт сигналы в следующих диапазонах:

B1 (1561,098 МГц): основной диапазон ГНСС «Beidou», где передаются сигналы B1I (открытый) и B1C (новый гражданский, совместимый с ГНСС «GPS» L1C и ГНСС «Galileo» E1);

B2 (1207,14 МГц): аналог L5/L5E, используется для повышения точности и совместимости;

B3 (1268,52 МГц): используется в основном для служебных целей, включая передачу сигналов с высокой целостностью [2].

Распределение сигналов ГНСС различных типов по нижнему L-диапазону частот представлена на рисунке 3 [3].

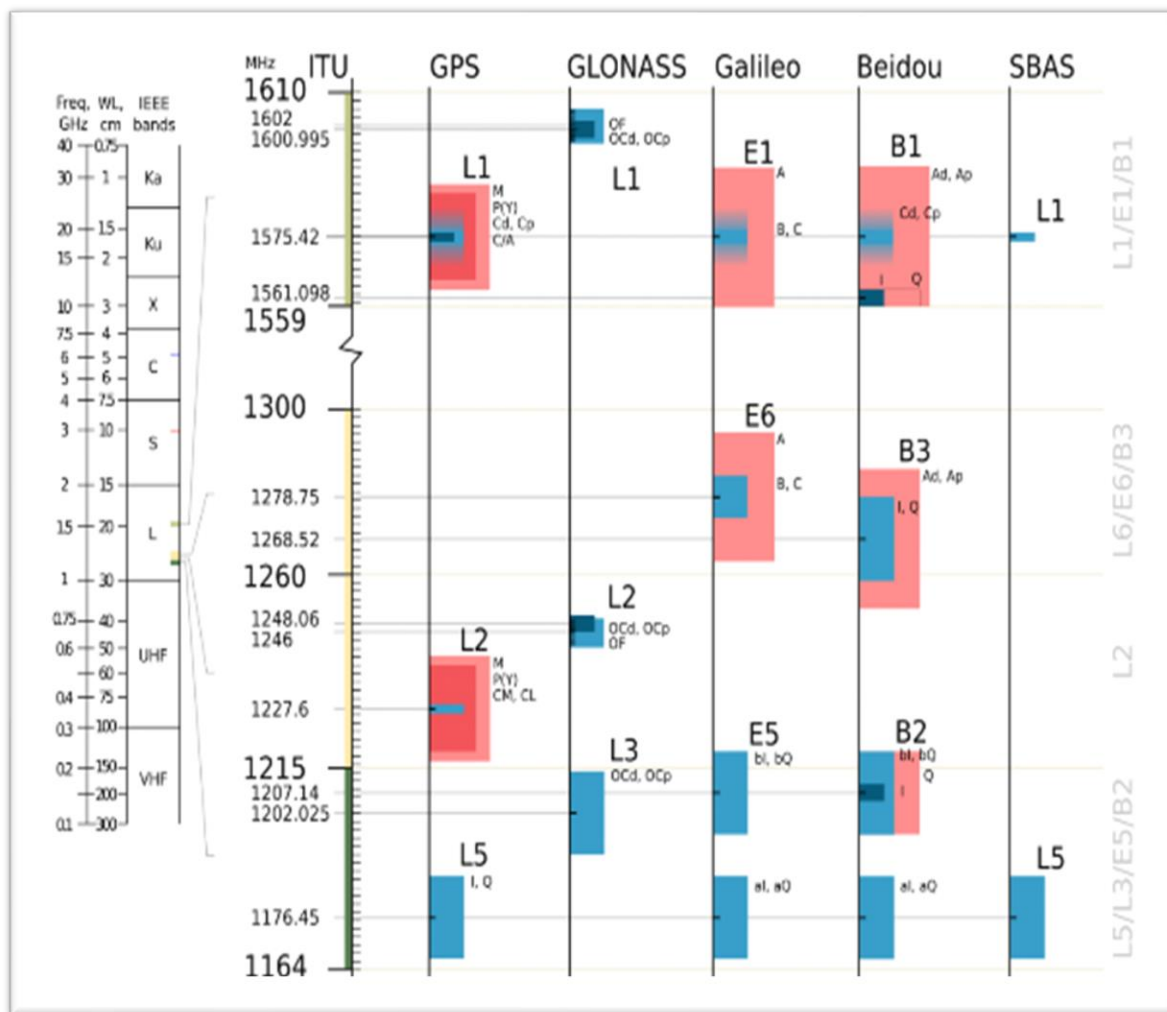


Рис. 3.

Исследование приёмника ГНСС в модульном исполнении «V-800 Mark III GNSS» проводилось в условиях, аналогичным, как и при исследовании на точность определения местоположения при приёме радионавигационных сигналов только от ГНСС «Beidou» и совместном приёме сигналов ГНСС «Beidou» и «GPS» [4, 5].

После подключения приёмника ГНСС в модульном исполнении «V-800 Mark III GNSS» к персональному компьютеру через USB интерфейс, в компьютерной программе

«GNSSToolKit3» выбраны следующие настройки:

- ГНСС «GPS», «Beidou» и «ГЛОНАСС» (рис. 4);
- протокола NMEA;
- принимаемые сигналы ГНСС «GPS» – G1I; G2M; G5I (рис. 5);
- принимаемые сигналы ГНСС «Beidou» – B1I; B2I; B3I; B1C; B2A; B2B;
- принимаемые сигналы ГНСС «ГЛОНАСС» – L1 и L2 (рис. 5).

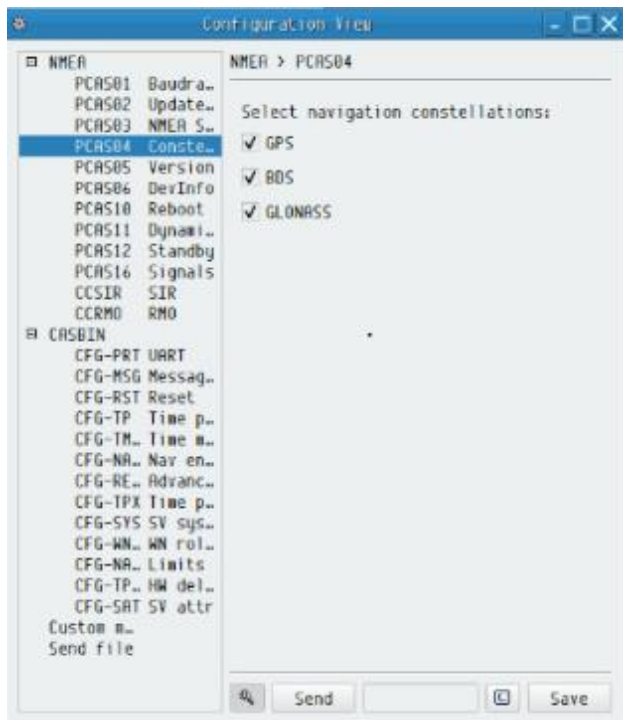


Рис. 4

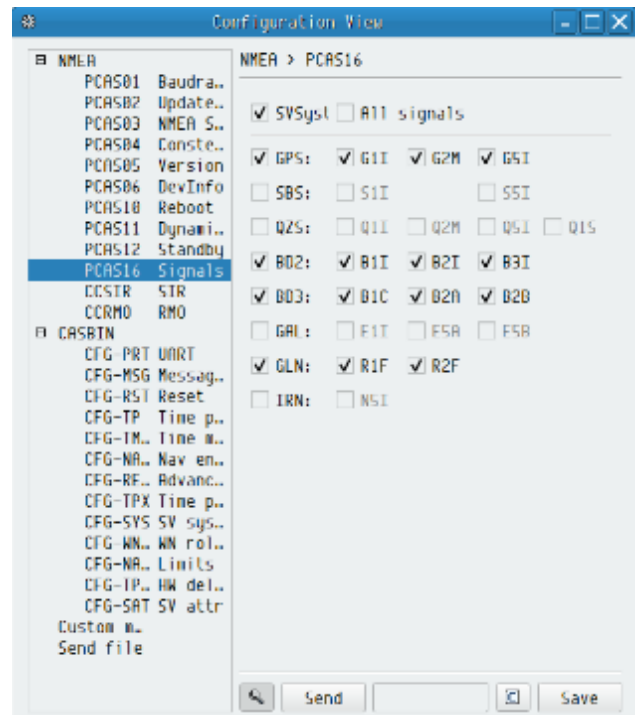


Рис. 5

В ходе исследования были обработаны и проанализированы следующие строки протокола NMEA 0183:

GGA – данные о последнем зафиксированном местоположении;

GSA – информация об активных спутниках (участвующих в позиционировании).

Для автоматизации обработки полученных результатов строк GGA протокола NMEA 0183 была использована специализированная компьютерная программа, разработанная в Военной академии связи. Внешний вид программы приведен на рисунке 6.

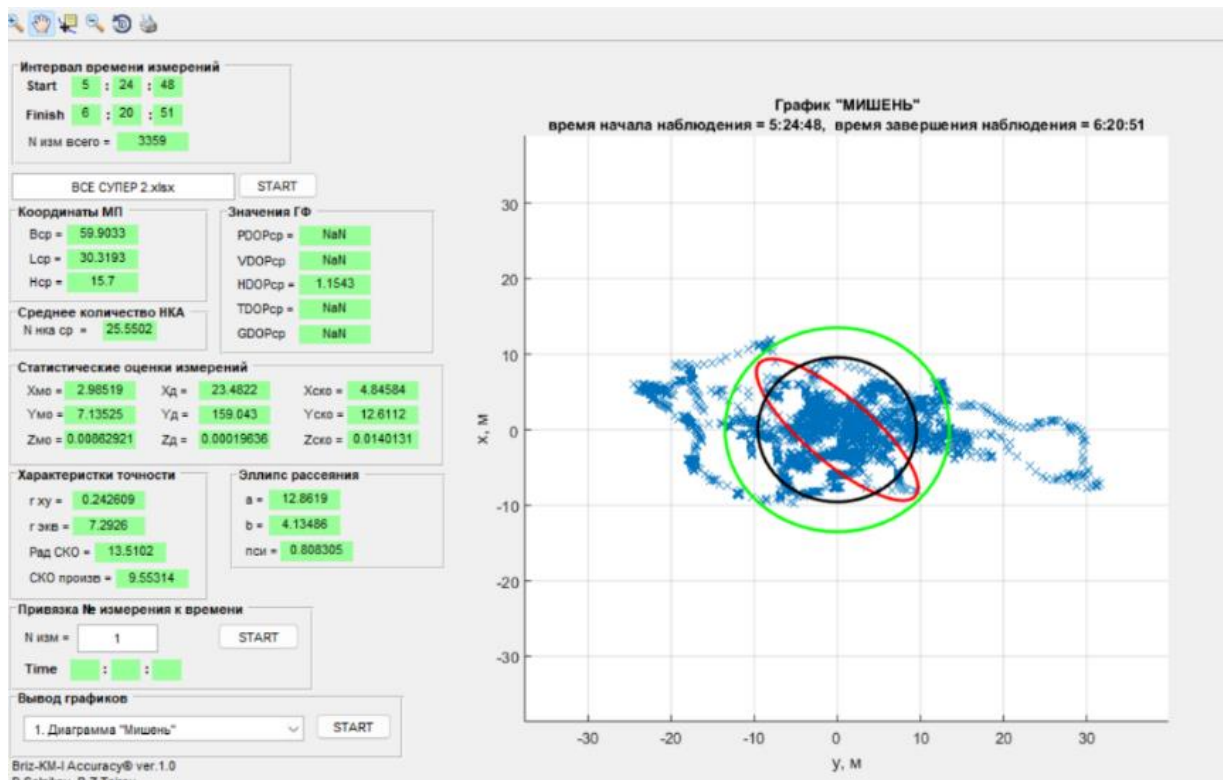


Рис. 6.

Проведённый анализ результатов показал, что в течение всего времени, отведенного для исследования (56 минут 3 секунды), было произведено 3359 измерений с интервалом в 1 секунду.

Полученные в ходе исследования результаты показывают, что при совместном использовании ГНСС «ГЛОНАСС», «Beidou» и «GPS» среднее количество видимых спутников в точке наблюдения составляет примерно 25,6 НКА, среднее значение HDOP – 1,15, среднеквадратическое отклонение (СКО),

равно приблизительно 13,5 метрам, а СКО в произвольно выбранном направлении – приблизительно 9,5 метрам.

Сравнительный анализ результатов исследования приёмника ГНСС в модульном исполнении «V-800 Mark III GNSS» на точность определения местоположения при приёме радионавигационных сигналов только от ГНСС «Beidou», совместном приёме сигналов ГНСС «Beidou» и «GPS» и совместном приёме сигналов ГНСС «Beidou», «GPS» и «ГЛОНАСС» приведён на диаграммах в рисунке 7.

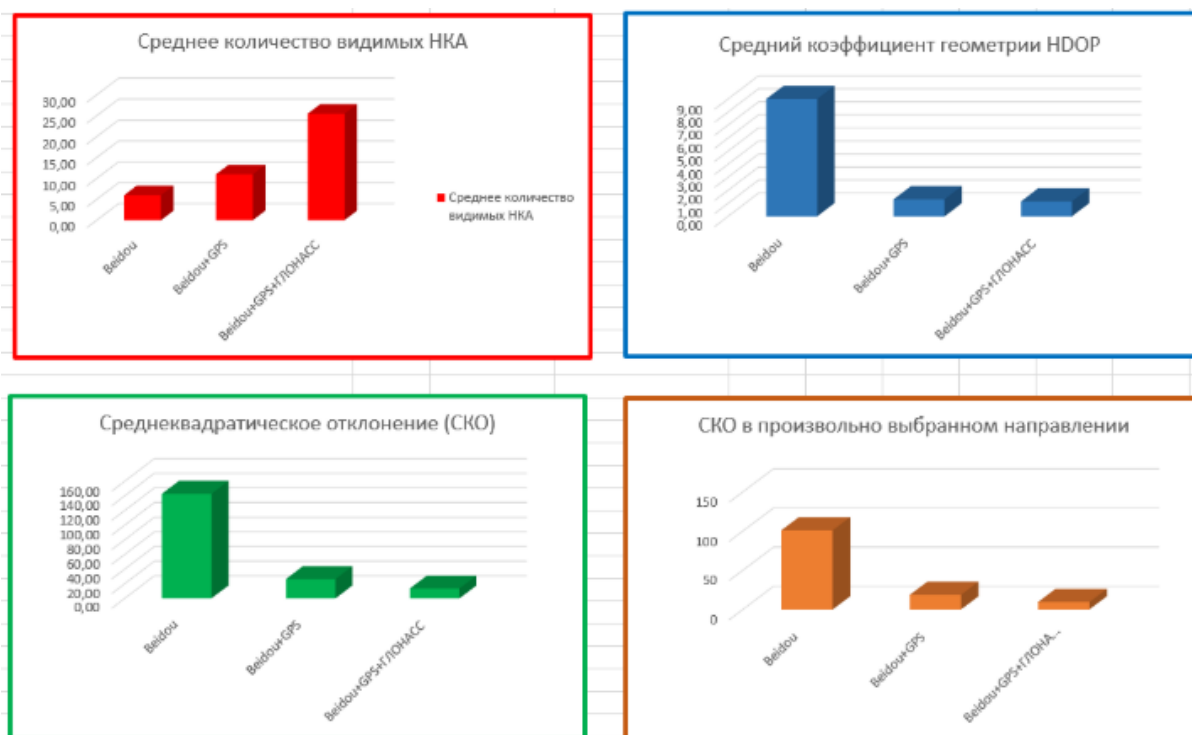


Рис. 7.

На представленных диаграммах видно, что навигационный приёмник в модульном исполнении «V-800 MarkIII GNSS» при совместном приёме сигналов ГНСС «Beidou», «GPS» и «ГЛОНАСС» в условиях плотной городской застройки показал отличную точность, а результаты измерений можно использовать в достаточно чувствительной аппаратуре и программах.

Выводы:

1. Полученные результаты в ходе исследования навигационного приёмника в модульном исполнении «V-800 MarkIII GNSS» указывают на то, что в условиях плотной городской застройки его необходимо настраивать на приём радионавигационных сигналов НКА

ГНСС «Beidou», «GPS» и «ГЛОНАСС». Это позволит увеличить число радионавигационных сигналов НКА, находящихся в зоне видимости, значительно повысить точность определения местоположения.

2. Настройка навигационного приёмника в модульном исполнении «V-800 Mark III GNSS» на приём радионавигационных сигналов НКА ГНСС «Beidou», «GPS» и «ГЛОНАСС» позволила улучшить значения геометрического фактора (DOP) и уменьшить значение ошибок из-за многолучевого распространения сигнала ошибок за счет лучшей геометрии позиционирования.

3. Увеличение числа НКА и принимаемых сигналов при настройке навигационного при-

ёмника в модульном исполнении «V-800 Mark III GNSS» на приём радионавигационных сигналов ГНСС «GPS» – L1I, L2M, L5I, ГНСС «Beidou» – B1I, B2I, B3I, B1C, B2A, B2B, а

также ГНСС «ГЛОНАСС» – L1 и L2 позволят повысить точность определения местоположения в условиях плотной городской застройки.

Библиографический список

1. Глобальная навигационная система ГЛОНАСС. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://glonass-iac.ru/guide/glonass.php>.
2. Частоты GNSS: от теории до практического применения в геодезии и навигации. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eftgroup.ru/blog/stati/chastoty-gnss-ot-teorii-do-prakticheskogo-primeneniya-v-geodezii-i-navigatsii>.
3. Сигналы глобальных навигационных систем. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/680304>.
4. Таиров Р.З. Исследование навигационного модуля на точность определения местоположения при работе с навигационной системой «Beidou» в условиях городской застройки / Р.З. Таиров, С.А. Горанько // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2026. – № 3-2(114). – С. 117-124. – DOI 10.24412/2500-1000-2026-3-2-117-124. – EDN OAXOSK.
5. Таиров Р.З., Горанько С.А. Исследование приёмника ГНСС в модульном исполнении – «V-800 MARKIII GNSS» на точность определения местоположения при работе с навигационными системами «BEIDOU» и «GPS» в условиях городской застройки / Р.З. Таиров, С.А. Горанько // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2026. – № 4-2 (115). – С. 103-110. – DOI 10.24412/2500-1000-2026-4-2-103-110.

A STUDY OF THE GNSS RECEIVER IN MODULAR DESIGN – "V-800 MarkIII GNSS" FOR THE ACCURACY OF LOCATION DETERMINATION WHEN WORKING WITH GLONASS, BEIDOU and GPS NAVIGATION SYSTEMS IN URBAN ENVIRONMENTS

S.A. Goranko, Lecturer

R.Z. Tairov, Lecturer

Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny (Russia, St. Petersburg)

Abstract. *The article considers the results of a study of the global satellite navigation system (GNSS) receiver in modular design – "V-800 Mark III GNSS" for the accuracy of location determination in an urban area with high building density when receiving GLONASS, Beidou and GPS radio navigation signals. For this purpose, a modular GNSS receiver, the V-800 Mark III GNSS, was configured to receive GLONASS, Beidou, and GPS radio navigation signals together. The results obtained indicate that the modular GNSS receiver "V-800 Mark III GNSS", when receiving GLONASS, Beidou and GPS GNSS radio navigation signals together, makes it possible to determine locations in an urban area with a high density of buildings with high accuracy.*

Keywords: *global navigation satellite systems – GLONASS; Beidou; GPS; GNSS receiver in modular design – V-800 Mark III GNSS; NMEA protocol; geometric factor.*