

СОГЛАСОВАНО

Первый заместитель
генерального директора —
заместитель по научной работе
ФГУП «ВНИИФТРИ»



_____ А.Н. Щипунов

« 05 »

04

2024 г.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ
ИМИТАТОР СИГНАЛОВ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ
СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ GSG

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 651-24-013

р.п. Менделеево
2024 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Общие сведения	3
2 Перечень операций поверки средства измерений.....	5
3 Требования к условиям проведения поверки	6
4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку.....	6
5 Метрологические и технические требования к средствам поверки.....	7
6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки.....	8
7 Внешний осмотр средства измерений	8
8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	8
8.1 Подготовка к поверке.....	8
8.2 Опробование	9
9 Проверка программного обеспечения средства измерений.....	9
10 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	10
11 Оформление результатов поверки	22
Перечень сокращений	23

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на имитатор сигналов глобальных навигационных спутниковых систем GSG зав. № 201865 (далее по тексту — имитатор сигналов), изготовленный фирмой «Orolia USA», Соединенные Штаты Америки, и устанавливает методы и средства его первичной и периодической поверок.

1.2 При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость к Государственному первичному специальному эталону координат местоположения ГЭТ 218-2022 в соответствии с государственной поверочной схемой для координатно-временных средств измерений, утвержденной приказом Росстандарта № 2821 от 28.12.2023 г. и к Государственному первичному эталону единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2022 в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты, утвержденной приказом Росстандарта № 2360 от 26.09.2022 г., включая возможность применения в качестве рабочего эталона 2 разряда в соответствии с государственной поверочной схемой для координатно-временных средств измерений, утвержденной приказом Росстандарта № 2821 от 28.12.2023 г. с прослеживаемостью к Государственному первичному специальному эталону координат местоположения ГЭТ 218-2022.

1.3 В результате поверки для применения имитатора сигналов в качестве рабочего эталона 2 разряда должны быть подтверждены следующие метрологические характеристики, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Наименование характеристики	Значение
Номинальные значения выходных частот, МГц	
– СНС ГЛОНАСС (L1)	$1602 + k \cdot 0,5625$ ¹⁾
– СНС ГЛОНАСС (L2)	$1246 + k \cdot 0,4375$
– СНС GPS (L1)	1575,4200
– СНС GPS (L2)	1227,6000
– СНС GPS (L5)	1176,4500
– ШДПС SBAS	1575,4200
– СНС Galileo (E1)	1575,4200
– СНС Galileo (E5a)	1176,4500
– СНС Galileo (E5b)	1207,1400
– СНС Galileo (E6)	1278,7500

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение
Пределы допускаемой относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора	$\pm 2 \cdot 10^{-8}$
Предельный уровень мощности выходного сигнала, дБ (исх. 1 Вт), не менее	-95
Допускаемое среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности формирования беззапросной дальности по фазе дальномерного кода, м	0,1
Предел допускаемой погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода, м	1,5
Предел допускаемой погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе несущей частоты, м	0,01
Предел допускаемой погрешности воспроизведения скорости изменения беззапросной дальности, м/с	0,05
Предел допускаемой погрешности формирования координат местоположения потребителя ГНСС в системе координат WGS-84, м ²⁾	3
Предел допускаемой погрешности формирования скорости потребителя ГНСС, м/с ²⁾	0,1
Допускаемое среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности синхронизации шкалы времени имитатора (выход сигнала метки времени 1PPS) с меткой времени, передаваемой в навигационном сигнале, нс	15
Диапазон скорости при моделировании параметров движения объекта-носителя навигационной аппаратуры потребителя в навигационном поле СНС, м/с	от 0 до 500
Примечания: ¹⁾ k — номер литеры рабочей частоты, где $k = -7, -6, \dots 6$ ²⁾ С учётом калибровочных поправок к воспроизведению беззапросной дальности по фазе дальномерного кода и геометрическом факторе PDOP не более 2	

1.4 При определении метрологических характеристик в рамках проводимой поверки обеспечивается передача единиц координат местоположения в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 28 декабря 2023 г. № 2821, подтверждающая прослеживаемость к государственному первичному эталону ГЭТ 218-2022, передача единицы частоты в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 26 сентября 2022 г. № 2360, подтверждающая прослеживаемость к государственному первичному эталону ГЭТ 1-2022.

1.5 При проведении поверки необходимо руководствоваться настоящей методикой и эксплуатационной документацией на используемое при поверке оборудование.

1.6 Методика поверки реализуется посредством методов прямых измерений.

2 Перечень операций поверки средства измерений

2.1 При поверке выполняют операции, представленные в таблице 2.

Таблица 2 — Перечень операций, выполняемых при поверке

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
1	2	3	4
1 Внешний осмотр средства измерений	да	да	7
2 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	да	да	8
3 Проверка программного обеспечения средства измерений	да	да	9
4 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям			10
5 Определение номинальных значений выходных частот	да	да	10.1
6 Определение относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора	да	да	10.2
7 Определение предельного уровня мощности выходного сигнала	да	да	10.3
8 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности формирования безадресной дальности по фазе дальномерного кода	да	да	10.4
9 Определение погрешности воспроизведения безадресной дальности по фазе дальномерного кода	да	да	10.5
10 Определение погрешности воспроизведения безадресной дальности по фазе несущей частоты	да	да	10.6
11 Определение погрешности воспроизведения скорости изменения безадресной дальности	да	да	10.7
12 Определение погрешности формирования координат местоположения потребителя ГНСС в системе координат WGS-84	да	да	10.8

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
13 Определение погрешности формирования скорости потребителя ГНСС	да	да	10.9
14 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности синхронизации шкалы времени имитатора (выход сигнала метки времени 1PPS) с меткой времени, передаваемой в навигационном сигнале	да	да	10.10
15 Определение диапазона скорости при моделировании параметров движения объекта-носителя навигационной аппаратуры потребителя в навигационном поле спутниковых навигационных систем	да	да	10.11

2.2 При получении отрицательных результатов выполнения любой из операций, приведенной в таблице 2, поверка прекращается, и имитатор бракуется.

2.3 Не допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов или отдельных автономных блоков или меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений.

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки имитатора должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С..... от плюс 15 до плюс 25;
- относительная влажность воздуха при температуре 25°С, %, до 80;
- напряжение питания от сети переменного тока, В..... от 198 до 242;
- частота напряжения питания от сети переменного тока, Гц..... от 48 до 52.

Примечание — Допускается проведение поверки в реально существующих условиях, кроме особо оговоренных в данной методике поверки, если они не выходят за пределы рабочих условий, установленных в руководствах по эксплуатации средств измерений, применяемых при поверке.

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 Поверка должна осуществляться лицами с высшим или средним техническим образованием, квалифицированными в качестве поверителей в области координатно-временных средств измерений.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 Рекомендуемые средства поверки имитатора сигналов приведены в таблице 3.

Таблица 3 — Средства измерений, используемые при поверке

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
10.1, 10.2, 10.4-10.10	Рабочий эталон единиц времени и частоты 3 разряда согласно государственной поверочной схеме для средств измерений времени и частоты, утверждённой приказом Росстандарта № 2360 от 26.09.2022 г.: – допускаемая относительная погрешность по частоте выходных сигналов не более $\pm 5,0 \cdot 10^{-11}$; – диапазон измерений частоты от 1 до 300 МГц; – допускаемая относительная погрешность измерения частоты при работе от внутреннего генератора, времени измерения 200 мс — $2,0 \cdot 10^{-7}$; – допускаемая абсолютная погрешность измерения интервалов времени Δt находится в пределах от $\pm 3,3$ нс до $\pm 0,4$ мс.	1 Стандарт частоты рубидиевый FS 725, рег. № 31222-06 (пп. 10.1, 10.2, 10.4-10.10) 2 Частотомер универсальный CNT-91R, рег. № 41567-09 (пп. 10.2, 10.4-10.6, 10.8, 10.10)
8.2, 10.4-10.6, 10.8, 10.10, 10.11	Рабочий эталон единиц координат местоположения 1 разряда согласно государственной поверочной схеме для координатно-временных измерений, утверждённой приказом Росстандарта №2821 от 28.12.2023 г.: – предел допускаемой погрешности измерения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода Δ, не более 0,05 м; – предел допускаемой погрешности измерения беззапросной дальности по фазе несущей частоты Δ, не более 0,002 м.	Комплекс эталонный формирования и измерения радионавигационных параметров ЭФИР, рег. № 82567-21
10.1, 10.3, 10.7, 10.9	Средство измерения мощности в диапазоне частот от 3 до $3,6 \cdot 10^9$ Гц в диапазоне мощности до 30 дБм: – пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения мощности $\pm 0,6$ дБ; – пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений частоты $\pm [(1,55 \cdot 10^{-7} \cdot A) + 0,1]$ Гц, где A — значение по маркеру (Гц).	Анализатор сигналов Agilent N9030A, рег. № 69527-17
Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.		

5.2 Все средства поверки, применяемые при поверке имитатора сигналов, должны быть исправны, аттестованы или поверены.

5.3 При проведении поверки требуется ПЭВМ с ОС Windows 7 и старше для запуска ПО GSG StudioView.

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 При проведении поверки должны быть соблюдены все требования безопасности в соответствии с ГОСТ 12.3.019-80.

7 Внешний осмотр средства измерений

7.1 При проведении внешнего осмотра имитатора сигналов проверить отсутствие механических повреждений и ослабления элементов, чёткость фиксации их положения, чёткость обозначений и чистоту разъёмов.

7.2 Результаты внешнего осмотра считать положительными, если отсутствуют механические повреждения и ослабления элементов, фиксация их положения чёткая, обозначения хорошо читаемы, разъёмы чистые.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Подготовка к поверке

8.1.1 Поверитель должен изучить техническую и эксплуатационную документацию изготовителя и РЭ применяемых средств поверки.

8.1.2 Перед проведением операций поверки необходимо:

- проверить комплектность имитатора сигналов согласно эксплуатационной документации;
- проверить комплектность рекомендованных (или аналогичных им) средств поверки;
- заземлить если это необходимо рабочие эталоны, средства измерений;
- заблаговременно перед проведением измерений включить питание рабочих эталонов, средств измерений и поверяемого имитатора сигналов для выхода на рабочий режим в соответствии со временем его установки, указанным в РЭ.

8.2 Опробование

8.2.1 Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 1, подключив выход имитатора сигналов с помощью радиочастотного кабеля ко входу НАП из состава рабочего эталона координат местоположения 1 разряда.

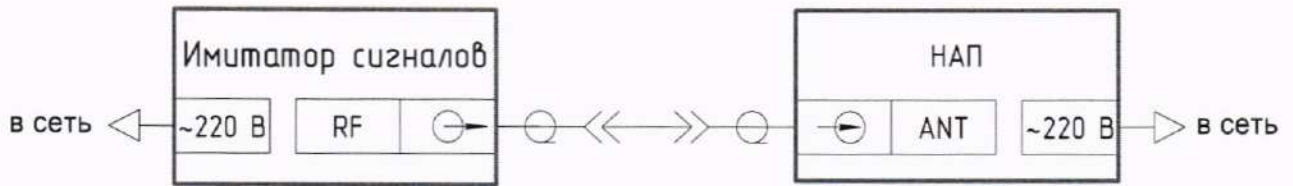


Рисунок 1 — Схема измерений для проведения опробования имитатора сигналов

8.2.2 Включить и настроить НАП для приёма навигационных сигналов, согласно её РЭ.

8.2.3 Включить имитатор сигналов путем подачи на него питания.

8.2.4 Запустить на имитаторе выполнение сценария с сигналами СНС ГЛОНАСС (L1) и GPS (L1), Galileo (E1) в соответствии с РЭ и проконтролировать отсутствие ошибок.

8.2.5 Удостовериться по индикации НАП в приеме сигналов НКА СНС, заданных в сценарии имитатора.

8.2.6 Результаты поверки п. 8.2 считать положительными, если НАП принимает навигационные сигналы с имитатора сигналов.

9 Проверка программного обеспечения средства измерений

9.1 Проверка номера версии ПО «GSG StudioView».

9.1.1 Включить имитатор сигналов путем нажатия кнопки включения на передней панели корпуса.

9.1.2 Зафиксировать номер версии ПО, который отображается в интерфейсном окне: «Options> Show system information».

9.2 Проверка номера версии ПО «GSG StudioView».

9.2.1 Установить и запустить на ПЭВМ ПО «GSG StudioView».

9.2.2 Зафиксировать номер версии ПО «GSG StudioView», который отображается в интерфейсном окне: «Справка > О программе».

9.3 Идентификационные данные ПО представлены в таблице 4.

Таблица 4 — Идентификационные данные ПО имитатора сигналов

Идентификационные данные (признаки)	Значение	
Идентификационное наименование	Firmware	GSG StudioView
Номер версии (идентификационный номер), не ниже	7.0	5.0

9.3 Результаты поверки п. 9 считать положительными, если идентификационные данные ПО имитатора сигналов соответствуют данным, указанным в таблице 4.

10 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.1 Определение номинальных значений выходных частот

10.1.1 Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 2, подключив выход имитатора сигналов «rf-out» с помощью коаксиального кабеля ко входу «IN1» анализатора сигналов. Подать сигнал опорной частоты 10 МГц со стандарта частоты из состава рабочего эталона единиц времени, частоты и шкалы времени 3 разряда на вход «REF In» анализатора сигналов.

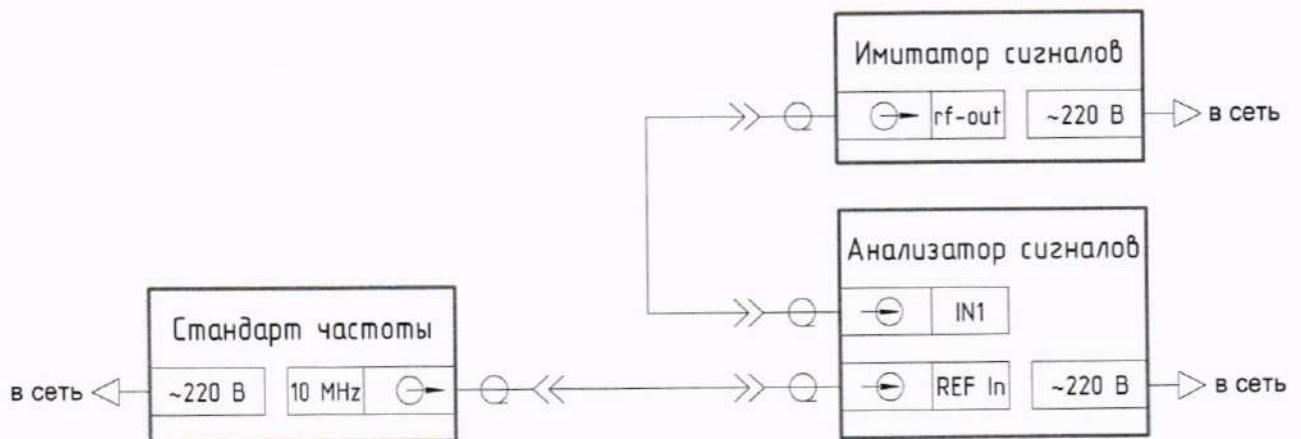


Рисунок 2 — Схема измерений для определения работоспособности имитатора сигналов

10.1.2 В соответствии с РЭ имитатора сигналов подать на выход гармонический сигнал (модуляция ПСП дальномерного кода и цифровой информацией отключена) без доплеровского сдвига, уровень мощности сигнала установить не ниже минус 100 дБ (исх. 1 Вт).

10.1.3 Измерить частоту сигнала при помощи анализатора сигналов. Для этого:

- установить центральную частоту полосы обзора равной значению, установленному на имитаторе сигналов;
- установить ширину полосы обзора в пределах от 0,5 до 1 МГц;
- установить ширину полосы фильтра промежуточной частоты не более 1 кГц;

– активировать измерительный маркер на экране анализатора сигналов, установить маркер на спектральную составляющую, либо воспользовавшись функцией поиска максимума в полосе обзора, либо устанавливая его вручную при помощи органов управления анализатора;

– активировать режим измерений частоты при помощи маркера;

– установить количество усреднений не менее 50;

– измеренным значением частоты сигнала считать результаты измерений частоты по маркеру после завершения цикла усреднения.

10.1.4 Повторить измерения по пп. 10.1.2-10.1.3 на частотах, указанных в таблице 5.

Таблица 5

Наименование характеристики	Значение
Номинальные значения выходных частот, МГц	
– ЧС ГЛОНАСС (L1)	$1602 + k \cdot 0,5625$ ¹⁾
– ЧС ГЛОНАСС (L2)	$1246 + k \cdot 0,4375$
– ЧС GPS (L1)	1575,4200
– ЧС GPS (L2)	1227,6000
– ЧС GPS (L5)	1176,4500
– ШДПС SBAS	1575,4200
– ЧС Galileo (E1)	1575,4200
– ЧС Galileo (E5a)	1176,4500
– ЧС Galileo (E5b)	1207,1400
– ЧС Galileo (E6)	1278,7500
¹⁾ k — номер литеры рабочей частоты в диапазоне –7, –6, ... 6	

10.1.5 Фиксировать значения номинальных несущих частот на анализаторе сигналов.

10.1.6 Результаты поверки п. 10.1 считать положительными, если полученное значение частоты на анализаторе сигналов соответствует значению номинальной частоты проверяемого навигационного сигнала с учетом погрешности анализатора.

10.2 Определение относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора

10.2.1 Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 3, используя стандарт частоты и частотомер из состава рабочего эталона единиц времени, частоты и шкалы времени 3 разряда.

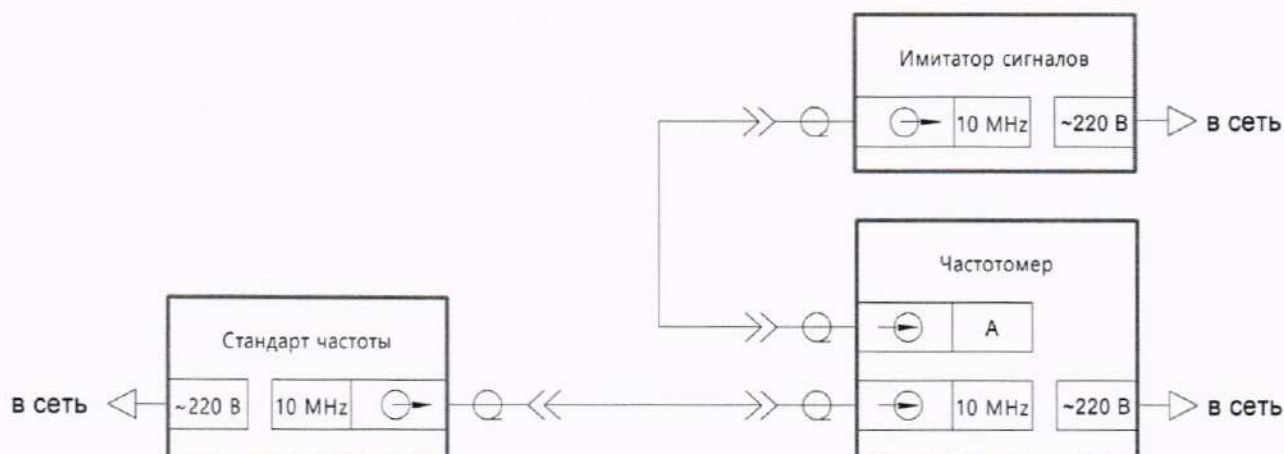


Рисунок 3 — Схема измерений для определения относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора

10.2.2 Измерить среднее значение частоты внутреннего опорного генератора имитатора сигналов на интервале времени измерений 3 мин.

10.2.3 Определить относительную погрешность по частоте по формуле:

$$\delta_{of1} = \frac{f_{изм} - f_{ном}}{f_{ном}}, \quad (1)$$

где $f_{изм}$ — измеренная частота, Гц;

$f_{ном}$ — номинальная частота $1 \cdot 10^7$ Гц.

10.2.4 Результаты поверки п. 10.2 считать положительными, если значение относительной погрешности по частоте внутреннего опорного генератора находится в пределах $\pm 2 \cdot 10^{-8}$.

10.3 Определение предельного уровня мощности выходного сигнала

10.3.1 Собрать схему измерений, приведённую на рисунке 4, подключив с помощью коаксиального кабеля калибровочный? выход «rf-out» имитатора сигналов ко входу «IN1» анализатора сигналов.

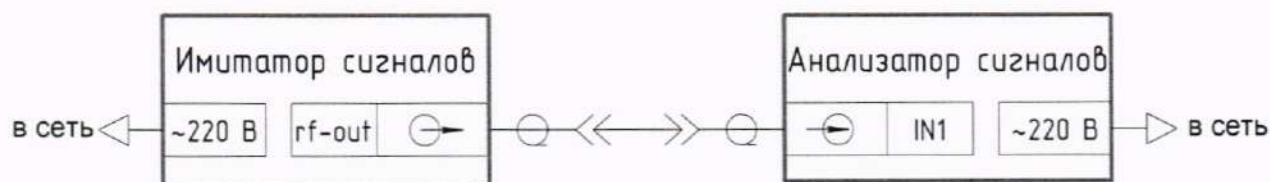


Рисунок 4 — Схема измерений для определения максимального уровня мощности сигнала имитатора

10.3.2 Запустить и вывести средства измерений в штатный режим работы согласно их РЭ.

10.3.3 На имитаторе сигналов поочередно воспроизвести гармонический сигнал (без модуляции дальномерным кодом и навигационным сообщением) на частотах 1575,42 (L1) МГц, 1227,60 (L2) МГц, 1176,45 (L5) МГц.

10.3.4 Измерить значение мощности выходного сигнала с использованием анализатора сигналов. Для этого:

- установить значение центральной частоты полосы обзора равной значению, установленному на имитаторе сигналов, т.е. 1575,42, 1227,60 или 1176,45 соответственно;

- установить ширину полосы обзора в пределах от 10 до 20 МГц;

- установить ширину полосы фильтра промежуточной частоты не более 100 кГц;

- активировать измерительный маркер на экране анализатора сигналов, установить маркер на спектральную составляющую, либо воспользовавшись функцией поиска максимума в полосе обзора, либо устанавливая его вручную при помощи органов управления анализатора;

- запустить измерения полосовой мощности при помощи маркера, установить полосу интегрирования (полосу измерений мощности) в пределах от 0,05 до 0,1 МГц;

- установить количество усреднений не менее 50;

- измеренным значением мощности сигнала считать результаты маркерных измерений полосовой мощности после завершения цикла усреднений.

10.3.5 Результаты поверки п. 10.3 считать положительными, если значение предельного уровня мощности выходного сигнала составляет не менее минус 95 дБ (исх. 1 Вт).

10.4 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности формирования беззапросной дальности по фазе дальномерного кода

10.4.1 Собрать схему измерений, приведенную на рисунке 5, подключив к имитатору сигналов и НАП из состава рабочего эталона координат местоположения 1 разряда опорный сигнал 10 МГц от стандарта частоты из состава рабочего эталона единиц времени, частоты и шкалы времени 3 разряда. Подать на входы «А» и «В» измерителя временных интервалов (частотомера с опцией измерения временных интервалов) из состава рабочего эталона единиц времени, частоты и шкалы времени 3 разряда сигналы 1 PPS с соответствующих выходов имитатора сигналов и НАП. Подключить к имитатору сигналов ПЭВМ.

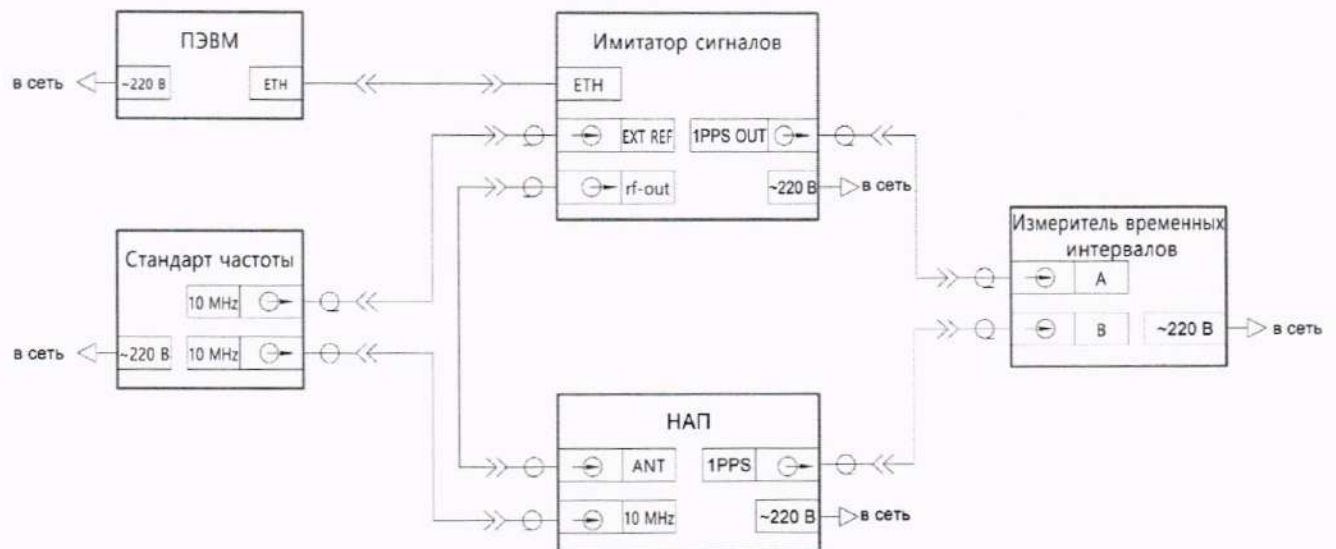


Рисунок 5 — Схема измерений для определения погрешности воспроизведения беззапросной дальности

10.4.2 Настроить измеритель временных интервалов на измерение интервалов времени от входа «А» (входной импеданс 50 Ом) ко входу «В» (входной импеданс 50 Ом) с параметрами триггера по фронту сигналов по уровню 1 В.

10.4.3 Настроить НАП в соответствии с РЭ на запись измерений текущих навигационных параметров с частотой одно сообщение в 30 с в файл формата RINEX.

10.4.4 Настроить НАП на работу от внешнего источника опорной частоты.

10.4.5 Подготовить и запустить сценарий имитации с параметрами, приведенными в таблице 6.

Таблица 6 — Параметры сценария

Наименование характеристики	Значение
Формируемые спутниковые навигационные сигналы	См. таблицу 5
Продолжительность сценария	1 сут
Дискретность записи радионавигационных параметров формируемых сигналов	30 с
Количество моделируемых НКА GPS/ГЛОНАСС	Текущая группировка
Параметры среды распространения навигационных сигналов	Тропосфера отсутствует Ионосфера отсутствует
Координаты моделируемого объекта в СК WGS-84: - широта. - долгота - высота, м	57 °00'00" N 36 °00'00" E 200,00
Модель движения объекта	Статика

10.4.6 По окончании сценария визуально убедиться в нормальном распределении измеренных значений РШВ между НАП и имитатором сигналов и записать среднее значение РШВ.

10.4.7 Выделить из итоговых результатов измерений значения псевдодальности НАП по фазе дальномерного кода сигналов ГНСС ГЛОНАСС с открытым доступом в частотном диапазоне L1 для каждого видимого НКА.

10.4.8 Выделить соответствующие значения псевдодальности (на эпохи измерений НАП) из файла протокола сценария, сформированного имитатором сигналов.

10.4.9 Рассчитать погрешность воспроизведения псевдодальности для каждой эпохи измерений по формуле:

$$\Delta R_i = R_{\text{ref } i} - (R_i + c \cdot \Delta t), \quad (2)$$

где R_{ref} — действительное i -е значение псевдодальности до НКА, измеренное приемным устройством, м;

R_i — сформированное i -е значение псевдодальности до НКА, взятое из протокола сценария, м;

Δt — расхождение шкал времени НАП и имитатора сигналов, с;

c — скорость распространения электромагнитной волны в вакууме, м/с.

10.4.10 Определить СКО случайной составляющей абсолютной погрешности воспроизведения псевдодальности по формуле:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\Delta R_i - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta R_i \right)^2}{N-1}}. \quad (3)$$

где N — число измерений.

10.4.11 Выполнить вычисления по формулам (2)-(3) для каждой частотной литеры ГНСС ГЛОНАСС в частотном диапазоне L1 и для сигналов других СНС согласно таблице 5.

10.4.12 Результаты поверки п. 10.4 считать положительными, если значение среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности формирования беззапросной дальности по фазе дальномерного кода не более 0,1 м.

10.5 Определение погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода

10.5.1 Выполнить пп. 10.4.1-10.4.8.

10.5.2 Рассчитать среднее значение погрешностей воспроизведения псевдодальности по фазе дальномерного кода на интервале времени наблюдения по формуле:

$$\Delta R = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left[R_{\text{ref } i} - (R_i + c \cdot \Delta t) \right], \quad (4)$$

10.5.3 Выполнить вычисления по формуле (4) для каждой частотной литеры ГНСС ГЛОНАСС в частотном диапазоне L1.

10.5.4 Повторить вычисления пп. 10.5.1, 10.5.2 для всех сигналов других частотных диапазонов и других СНС согласно таблице 5.

10.5.5 Рассчитать среднее значение погрешностей воспроизведения псевдодальности по фазе дальномерного кода для каждой СНС в каждом частотном диапазоне по формуле:

$$\overline{\Delta R}_{m,k} = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K \Delta R_{m,k,j}, \quad (5)$$

где m — выбранная СНС;

k — выбранный частотный диапазон;

j — литера рабочей частоты для сигналов с частотным разделением или номер НКА для сигналов с кодовым разделением;

K — число литер рабочей частоты для сигналов с частотным разделением или число НКА для сигналов с кодовым разделением.

10.5.6 Средние значения погрешностей воспроизведения псевдодальности по фазе дальномерного кода для каждого частотного диапазона каждой СНС записать как базовые систематические погрешности.

10.5.7 Рассчитать приведенную погрешность воспроизведения псевдодальности по фазе дальномерного кода по формуле:

$$\Delta \hat{R}_{m,k,j} = \Delta R_{m,k,j} - \overline{\Delta R}_{m,k}, \quad (6)$$

10.5.8 Рассчитать полную погрешность воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода, прибавив к приведённой погрешности, полученной в п. 10.5.7, случайную составляющую погрешности, полученную в п. 10.4.10, для всех систем всех частотных диапазонов по формуле:

$$\Pi(R_{m,k,j}) = \left| \Delta \hat{R}_{m,k,j} \right| + 3 \cdot \sigma_{R_{m,k,j}}. \quad (7)$$

10.5.9 Результаты поверки п. 10.5 считать положительными, если для всех литер рабочей частоты всех частотных диапазонов всех систем значение погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе дальномерного кода не превышает 1,5 м.

10.6 Определение погрешности воспроизведения беззапросной дальности по фазе несущей частоты

10.6.1 Выполнить пп. 10.4.1-10.4.6.

10.6.2 Выделить из итоговых результатов измерения псевдодальности НАП по фазе несущей частоты сигналов ГНСС ГЛОНАСС с открытым доступом в частотном диапазоне L1 для каждого видимого НКА.

10.6.3 Перевести измерения НАП в метры путём умножения на длину волны.

10.6.4 Выделить соответствующие значения псевдодальности (на эпохи измерений НАП) из файла протокола сценария, сформированного имитатором сигналов.

10.6.5 Рассчитать погрешность воспроизведения псевдодальности по фазе несущей частоты на каждую эпоху по формуле:

$$\Delta R_{\varphi i} = R_{\text{ref } \varphi i} - (R_{\varphi i} + c \cdot \Delta t). \quad (8)$$

где $R_{\text{ref } \varphi}$ — действительное i -е значение псевдодальности по фазе несущей частоты до НКА, измеренное приемным устройством, м;

$R_{\varphi i}$ — сформированное i -е значение псевдодальности по фазе несущей частоты до НКА, взятое из протокола сценария, м.

10.6.6 Рассчитать СКО случайной составляющей погрешности воспроизведения псевдодальности по фазе несущей частоты по формуле:

$$\sigma_{\varphi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\Delta R_{\varphi i} - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta R_{\varphi i} \right)^2}{N-1}}. \quad (9)$$

10.6.7 Выполнить пп. 10.6.1-10.6.6 для каждой частотной литеры ГНСС ГЛОНАСС в частотном диапазоне L1.

10.6.8 Повторить аналогичные вычисления по пп. 10.6.1-10.6.6 для сигналов других СНС согласно таблице 5.

10.6.9 Оценить погрешность воспроизведения имитатором псевдодальности по фазе несущей частоты как утроенное максимальное значение СКО случайной составляющей погрешности измерений НАП псевдодальности по фазе несущей частоты.

10.6.10 Результаты поверки п. 10.6 считать положительными, если для всех литер рабочей частоты всех частотных диапазонов всех систем погрешность воспроизведения беззапросной дальности по фазе несущей частоты не превышает 0,01 м.

10.7 Определение погрешности воспроизведения скорости изменения беззапросной дальности

10.7.1 Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 2, подключив выход имитатора сигналов «rf-out» с помощью радиочастотного кабеля ко входу анализатора сигналов. Подать сигнал опорной частоты 10 МГц со стандарта частоты из состава рабочего эталона единиц времени, частоты и шкалы времени 3 разряда на вход внешнего источника опорной частоты анализатора сигналов.

10.7.2 Настроить имитатор сигналов на работу в качестве одноканального генератора сигналов (п. 8.6.4.2 РЭ) и сформировать сигнал в диапазоне L1 (литера 0) СНС ГЛОНАСС с отключенной модуляцией сигнала ПСП.

10.7.3 Установить нулевыми значения сдвига частоты сигнала, дальности до НКА.

10.7.4 Изменяя на имитаторе сигналов сдвиг частоты формируемого сигнала в диапазоне 0, 0,5 ... 3 кГц, что соответствует скорости изменения беззапросной дальности от 0 до 571 м/с, измерить анализатором сигналов в режиме измерений маркером частоту воспроизводимого сигнала f_i .

10.7.5 Рассчитать погрешность скорости изменения беззапросной дальности по формуле:

$$\Delta V_i = \left(\frac{f_i^{\text{изм}} - f_0^{\text{изм}}}{f_0^{\text{изм}}} - \frac{f_i^{\text{ном}} - f_0^{\text{ном}}}{f_0^{\text{ном}}} \right) \cdot c, \quad (10)$$

где $f_i^{\text{изм}}$ — измеренное анализатором сигналов значение частоты сигнала при текущей скорости изменения беззапросной дальности;

$f_0^{\text{изм}}$ — измеренное анализатором сигналов значение частоты сигнала при нулевой скорости изменения беззапросной дальности;

$f_i^{\text{ном}}$ — номинальное значение частоты сигнала при текущей скорости изменения беззапросной дальности;

$f_0^{\text{ном}}$ — номинальное значение частоты сигнала при нулевой скорости изменения беззапросной дальности.

10.7.6 Рассчитать СКО случайной составляющей погрешности формирования скорости изменения беззапросной дальности по формуле:

$$\sigma_{\Delta V} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N \left(\Delta V_i - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta V_i \right)^2}, \quad (11)$$

где N — количество измерений

10.7.7 Рассчитать погрешность формирования скорости изменения беззапросной дальности (псевдодальности) по формуле:

$$\Delta \tilde{V} = \left| \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta V_i \right| + 3 \cdot \sigma_{\Delta V}. \quad (12)$$

10.7.8 Провести измерения пп. 10.7.2-10.7.7 для остальных сигналов в соответствии с таблицей 5.

10.7.9 Результаты поверки п. 10.7 считать положительными, если максимальное рассчитанное значение погрешности воспроизведения скорости изменения беззапросной дальности не превышает 0,05 м/с.

10.8 Определение погрешности формирования координат местоположения потребителя ГНСС в системе координат WGS-84

10.8.1 Выполнить п. 10.5.

10.8.2 Рассчитать погрешность формирования координат потребителя ГНСС:

$$\Pi_{\text{coord}} = PDOP \cdot \left| \max \left(\Delta \hat{R}_{m,k,j} \right) \right|. \quad (13)$$

где PDOP — геометрический фактор снижения точности определения местоположения, зависит от формируемого созвездия навигационных космических аппаратов (PDOP = 2);

$\Delta \hat{R}$ — приведенная погрешность воспроизведения псевдодальности по фазе дальномерного кода, м.

10.8.3 Результаты поверки п. 10.8 считать положительными, если значение погрешности формирования координат местоположения потребителя ГНСС не превышает 3 м.

10.9 Определение погрешности формирования скорости потребителя ГНСС

10.9.1 Выполнить п. 10.7.

10.9.2 Рассчитать погрешность формирования скорости потребителя ГНСС по формуле:

$$\Pi_{\text{vel}} = PDOP \cdot \left| \max \left(\Delta \tilde{V}_i \right) \right|. \quad (14)$$

где PDOP — геометрический фактор снижения точности определения местоположения, зависит от формируемого созвездия навигационных космических аппаратов (PDOP = 2);

ΔV — погрешность воспроизведения псевдоскорости, м/с.

10.9.3 Результаты поверки п. 10.9 считать положительными, если значение погрешности формирования скорости потребителя ГНСС не превышает 0,1 м/с.

10.10 Определение среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности синхронизации шкалы времени имитатора (выход сигнала метки времени 1PPS) с меткой времени, передаваемой в навигационном сигнале

10.10.1 Выполнить пп. 10.4.1-10.4.5, настроив НАП на выдачу системной шкалы времени, заданной в имитаторе.

10.10.2 Выбрать значения расхождения шкал времени НАП и имитатора сигналов, полученные в ходе выполнения п. 10.10.1.

10.10.3 Рассчитать среднее квадратическое отклонение измерений временных интервалов между импульсными сигналами времени 1 Гц (1PPS) с выхода имитатора и НАП по формуле:

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\Delta\tau_i - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta\tau_i \right)^2}{N-1}}, \quad (15)$$

где i — номер измерения;

$\Delta\tau$ — измеренный интервал времени между импульсными сигналами 1 Гц (1PPS) с выхода имитатора и НАП.

10.10.4 Результаты поверки п. 10.10 считать положительными, если значения среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности синхронизации шкалы времени имитатора (выход сигнала метки времени 1 PPS) с меткой времени, передаваемой в навигационном сигнале, не превышают 15 нс.

10.11 Определение диапазона скорости при моделировании параметров движения объекта-носителя навигационной аппаратуры потребителя в навигационном поле спутниковых навигационных систем

10.11.1 Выполнить пп. 8.2.1-8.2.4.

10.11.2 Подготовить и запустить сценарий имитации с параметрами, приведенными в таблице 7.

Таблица 7 — Параметры сценария

Наименование характеристики	Значение
Формируемые спутниковые навигационные сигналы	В соответствии с таблицей 5.
Продолжительность сценария	15 мин
Дискретность записи радионавигационных параметров формируемых сигналов	1 с
Количество моделируемых НКА GPS/ГЛОНАСС	Текущая группировка
Параметры среды распространения навигационных сигналов	Модель тропосферы присутствует Модель ионосферы присутствует
Модель движения объекта	1) На неподвижной точке — 5 мин 2) Оставшееся время в сценарии — равноускоренное движение до 515 м/с и равномерное движение в течении 3 мин по окружности с параметрами: а) координаты центра: - широта 56°00'00" N - долгота 37°00'00" E - высота 1000 м б) радиус 10000 м

10.11.3 Из полученных приемником измерений выбрать измерения скорости на общем интервале времени.

10.11.4 Результаты поверки п. 10.11 считать положительными, если НАП определяет скорость в диапазоне 0 до 500 м/с.

11 Оформление результатов поверки

11.1 Результаты поверки имитатора сигналов подтверждаются сведениями о результатах поверки средств измерений, включенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Сведения о соответствии средства измерений обязательным требованиям к эталонам занести в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

11.2 При положительных результатах поверки по заявлению владельца имитатора сигналов или лица, представившего его на поверку, на средство измерений выдается свидетельство о поверке имитатора сигналов.

11.3 Протокол поверки выдается по заявлению заказчика и приводится на оборотной стороне свидетельства о поверке или оформляется в виде приложения к свидетельству.

11.4 В случае отрицательных результатов поверки поверяемый имитатор сигналов к дальнейшему применению не допускается, на него выдается извещение о непригодности к дальнейшей эксплуатации с указанием причин забракования.

Заместитель начальника отделения
ФГУП «ВНИИФТРИ»

Начальник отдела
ФГУП «ВНИИФТРИ»

Инженер-программист
ФГУП «ВНИИФТРИ»



Д.С. Печерица

С.Ю. Бурцев



А.С. Мальцев

Перечень сокращений

GPS	— global positioning system (United states of America) (рус., глобальная навигационная система навигации (Соединенные штаты Америки))
PDOP	— position (3D) dilution of precision (рус., показатель снижения точности определения положения в пространстве)
PPS	— pulse per second (рус., импульс в секунду)
REF	— reference (рус., опорный сигнал)
RINEX	— receiver independent exchange format (рус., независимый от приемника формат обмена)
SBAS	— satellite-based augmentation systems (рус., системы дифференциальной коррекции)
USA	— The United States of America (рус., Соединенные Штаты Америки)
ВНИИФТРИ	— Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений
ГЛОНАСС	— глобальная навигационная спутниковая система (Российская Федерация)
ГНСС	— глобальная навигационная спутниковая система
ГЭТ	— Государственный эталон
МП	— методика поверки
НАП	— навигационная аппаратура потребителей
НИО	— научное исследовательское отделение
НКА	— навигационный космический аппарат
ПО	— программное обеспечение
ПСП	— псевдослучайная последовательность
ПЭВМ	— персональная электронно-вычислительная машина
РШВ	— расхождение шкал времени
РЭ	— руководство по эксплуатации
СИ	— средство измерений
СК	— система координат
СКО	— среднее квадратическое отклонение
СНС	— спутниковая навигационная система
СПО	— специальное программное обеспечение
ШДПС	— широкозонная дифференциальная подсистема
ЭФИР	— комплекс эталонный формирования и измерения радионавигационных параметров